

Samuli Korpi

**ITSEOHJAUTUVIEN AUTOJEN TUOMIA HYÖTYJÄ
LIIKENTEESSÄ**



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO
INFORMAATIOTEKNOLOGIAN TIEDEKUNTA
2021

TIIVISTELMÄ

Korpi, Samuli

Itseohjautuvien autojen tuomia hyötyjä liikenteessä

Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, 2021, 29 s.

Tietojärjestelmätiede, kandidaatintutkielma

Ohjaaja: Halttunen, Veikko

Tämän tutkielman tarkoituksena on tutkia itseohjautuvia autoja ja niiden hyötyjä liikenteessä ihmiskuljettajiin verrattuna. Itseohjautuvien autojen hyötyjä tarkastellaan ensisijaisesti liikenneturvallisuuden ja niiden taloudellisuuden näkökulmasta. Itseohjautuville autoille ja ihmiskuljettajien käyttäytymiselle liikenteessä on omat sisältöluokkansa. Lisäksi viimeinen sisältöluokka vertailee itseohjautuvien autojen ja ihmiskuljettajien suorituskykyä liikenteessä sekä esittelee itseohjautuvien autojen eettisiä ongelmia. Tutkielmassa määritellään lähdekirjallisuuden avulla itseohjautuvien autojen automatisaation erilaiset tasot, mitä ne pitävät sisällään ja miten ne eroavat toisistaan. Tutkielmassa käydään myös läpi itseohjautuvien autojen tulevaisuuden ennusteita sekä niiden erilaisia muotoja. Itseohjautuvien autojen tuomien mahdollisuuksien lisäksi tutkielmassa käydään läpi niiden aiheuttamia eettisiä ongelmia. Tuloksina havaittiin itseohjautuvien autojen parantavan huomattavasti liikenneturvallisuutta, mikä näkyi myös osana taloudellisia hyötyjä. Liikenneturvallisuuden ja taloudellisten hyötyjen lisäksi havaittiin itseohjautuvien autojen vähentävän huomattavasti kasvihuonepäästöjä tulevaisuudessa.

Asiasanat: Itseohjautuvat autot, liikenne, liikenneturvallisuus

ABSTRACT

Korpi, Samuli

The benefits of self-driving cars in transportation

Jyväskylä: University of Jyväskylä, 2021, 29 pp.

Information Systems Science, Bachelor's degree

Supervisor: Halttunen, Veikko

The purpose of this thesis is to study self-driving cars and their benefits in transportation compared to human drivers. The benefits of self-driving cars are primarily considered from the perspective of road safety and their economy. Self-driving cars and the behavior of human drivers in transportation have their own content figures. In addition, the last content chapter compares the performance of self-driving cars and human drivers in transportation and presents the ethical problems of self-driving cars. This thesis defines the different levels in automation of self-driving cars, what they contain and how they differ from each other with the help of source literature. The thesis also reviews the future predictions of self-driving cars and their various forms. In addition to the possibilities offered by self-driving cars, this thesis examines the ethical problems they cause. As a result, self-driving cars were found to significantly improve road safety, which was also reflected in the economic benefits. In addition to transportation safety and economic benefits, self-driving cars were found to significantly reduce greenhouse gas emissions in the future.

Keywords: self-driving cars, transportation, road safety

TAULUKOT

TAULUKKO 1 Autojen automaatiotasot mukailen SAE Internationalin standardia J3016 (2018)	7
---	---

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
TAULUKOT	4
SISÄLLYS.....	5
1 JOHDANTO.....	6
2 ITSEOHJAUTUVAT AUTOT	8
2.1 Itseohjautuvat autot yleisesti	8
2.2 Itseohjautuvien autojen historia	9
2.3 Itseohjautuvien autojen tulevaisuuden näkymät.....	11
2.4 Itseohjautuvien autojen eettisiä ongelmia.....	12
3 NYKYPÄIVÄN LIIKENNE	15
3.1 Autojen omistussuhteet nykypäivänä	15
3.2 Ihmiskuljettajien tekemät virheet liikenteessä	16
4 ITSEOHJAUTUVIEN AUTOJEN ETUJA LIIKENTEESSÄ.....	18
4.1 Itseohjautuvien autojen etuja liikenneturvallisuuden kannalta	18
4.2 Itseohjautuvien autojen taloudellisia ja ekologisia etuja	20
5 YHTEENVETO	23
LÄHTEET	25

1 JOHDANTO

Itseohjautuvat autot, usein myös automatisoidut autot tai robottiautot ovat yksi tämän päivän puhutuimmista teknologioista. Itseohjautuva auto viittaa tietokoneohjattuun autoon, joka pystyy ohjaamaan itseään, tutustumaan itsenäisesti ympäristöönsä, tekemään päätöksiä ja toimimaan täysin ilman ihmisen vuorovaikutusta (Hussain & Zeadally, 2019). Itseohjautuvilla autoilla on potentiaalia muuttaa perinteistä tieliikennettä ja samalla parantaa ihmisten elämänlaatua. Itseohjautuvien autojen odotetaan vähentävän inhimillisten virheiden aiheuttamia liikenneonnettomuuksia, liikenneuhkien määrää sekä lisäävän matkustamisen mukavuutta antamalla kuljettajille mahdollisuuden suorittaa vaihtoehtoisia tehtäviä ajamisen sijaan. (Cohen & Hopkins, 2019.) Itseohjautuvien autojen tuoma muutos tulee luomaan mahdollisuuden itsenäisiin kuljetuksiin myös henkilöille, jotka eivät kykene normaalia ajoneuvoa ajamaan, kuten liikuntarajoitteiset tai vanhukset. Väestörakenteen muutoksen takia vanhusten osuus liikenteessä tulee nousemaan tulevaisuudessa, mikä aiheuttaa merkittäviä ongelmia turvallisuuden, liikkuvuuden ja kestävyuden suhteen liikenteessä. (Haboucha, Ishaq & Shifan, 2017; Chan, 2017.) Itseohjautuvat autot on suunniteltu kulkemaan kohteisiinsa tavoilla, jotka ovat optimaalisesti turvallisia, polttoainetehokkaita ja huomioivat matkustusaikaa. Matkustusajan huomioinnissa itseohjautuvat autot pystyvät valitsemaan tietokoneidensa avulla optimaalisen reitin paremmin kuin ihmishenkilö, minkä avulla voidaan välttyä liikenneuhkilta. (Kyriakidis ym., 2019; Nyholm & Smids, 2018.)

Tutkielma pyrkii antamaan yleiskuvaa itseohjautuvien autojen tuomista hyödyistä liikenteessä, niin nykypäivänä kuin tulevaisuudessa. Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää ovatko itseohjautuvat autot turvallisempia tai taloudellisempia kuin perinteiset ihmiskuljettajien ohjaamat autot liikenteessä. Tutkimuksen tavoitteeseen pyritään pääsemään vastaamalla tutkimuksen tutkimuskysymyksiin. Kysymyksiin pyritään vastaamaan lähdekirjallisuuden pohjalta käymällä läpi tutkimuksia ihmisten aiheuttamista liikenneonnettomuuksista ja vertailemalla niitä itseohjautuvien autojen ominaisuuksiin. Tutkimuskysymykset ovat seuraavat:

1. Ovatko itseohjautuvat autot turvallisempia kuin ihmiskuljettajat liikenteessä?
2. Onko itseohjautuva auto taloudellisempi kuin ihmisen kuljettama auto?

Tutkielma toteutettiin itsenäisenä kirjallisuuskatsauksena. Lähdekirjallisuuden etsimiseen käytettyjä pääasiallisia hakusanoja olivat "autonomous vehicles", "automated driving", "benefits", "car crash" ja näiden erilaisia yhdistelmiä. Tutkielman edetessä huomasin itseohjautuvien autojen eettisten ongelmien olevan oleellinen osa tutkielmaani ja laajensin hakusanoihin "ethics" -termejä. Lähdekirjallisuutta rajattiin artikkelien otsikoiden perusteella, minkä jälkeen rajausta jatkettiin lukemalla artikkelien tiivistelmiä. Tiivistelmien perusteella valitut artikkelit silmäiltiin läpi, jonka jälkeen niitä rajattiin Julkaisuforumin julkaisutason perusteella. Artikkelit, jotka eivät saaneet vähintään Julkaisuforumin julkaisutasoa 1, hyväksyttiin Google Scholarissa olevien viittausten määrän perusteella. Lähteen saamia viittauksia verrattiin myös lähteen ikään, jolloin vanhemman artikkelin on täytynyt kerätä enemmän lainauksia kuin vastajulkaistun artikkelin. Viittausten käyttöä tarkastelemalla saatiin myös pois suljettua lähteet, joihin viitattiin niiden epäolennaisuuksien mukaan. Lähdeaineistoa kerättiin pääasiassa JYKDOK- ja Google Scholar-hakupalveluiden kautta.

Tutkielma sisältää johdannon lisäksi kolme sisältölukua sekä yhteenvedon. Ensimmäisessä sisältöluvussa käydään läpi itseohjautuvien autojen määritelmää, niiden historiaa ja käyttöönottoa tulevaisuudessa. Lisäksi luvun lopussa käydään läpi itseohjautuvien autojen aiheuttamia eettisiä ongelmia. Toinen sisältöluke käsittelee autojen omistussuhteita nykypäivänä sekä ihmiskuljettajien tekemiä virheitä. Toisessa luvussa käydään myös läpi syitä ihmiskuljettajien tekemiin virheisiin liikenteessä sekä niiden aiheuttamia liikenneonnettomuuksia. Kolmannessa sisältöluvussa vastaan tutkielman tutkimuskysymyksiin eli esittelen itseohjautuvien autojen etuja sekä liikenneturvallisuuden että taloudellisuuden kannalta. Luvussa käytetään toisen sisältöluvun tilastoja ihmisten aiheuttamista kolareista sekä muita tutkimuksia itseohjautuvien autojen suoritus- tuisista liikenteessä tutkimustuloksen saamiseksi. Luvussa esitetään itseohjautuvien autojen taloudellisia etuja niin yksilön kuin yhteiskunnan näkökulmasta. Yhteenvedossa kokoan tutkielman pääkohdat ja tehdyt havainnot. Lisäksi pohdin yhteenvedossa, kuinka hyvin onnistuin vastaamaan tutkielman tutkimuskysymyksiin.

2 ITSEOHJAUTUVAT AUTOT

Tässä luvussa esittelen itseohjautuvia autoja yleisesti. Avaan aluksi itseohjautuvien autojen määritelmää yleisesti sekä niiden kehityksen kulkua nykypäivään. Itseohjautuvien autojen määritelmän ja sen automatisaation erilaisten tasojen esitleminen alussa helpottaa lukijaa ymmärtämään myöhemmin esiteltyjä tutkimuksia. Nykypäivän itseohjautuvien autojen tilanteen jälkeen esittelen itseohjautuvien autojen käyttöönottoa tulevaisuudessa. Luvun lopussa tuon esille itseohjautuvien autojen aiheuttamia eettisiä ongelmia.

2.1 Itseohjautuvat autot yleisesti

Itseohjautuvien autojen määritelmä perustuu useimmiten erilaisten automatisaation tasojen mukaan. Automatisaation tasojen luokitteluna toimii yleisesti SAE Internationalin standardi J3016, jossa automaation tasot ovat määritelty kuuteen erilaiseen tasoon. Automatisaation tasot lähtevät tasolta 0, jolloin autolla ei ole minkäänlaista automatisaatiota ja loppuvat täysin automatisoituun autoon tasolla 5. Esittelen kaikki automatisaation tasot taulukossa 1.

SAE Internationalin standardin määritelmän mukaisessa ensimmäisessä ja toisessa tasossa kuljettajaa avustavilla järjestelmillä tarkoitetaan muun muassa nykyaikaisia adaptiivisia vakionopeudensäätimä, hätäjarrutusjärjestelmää tai automaattista pysäköintitoimintoa. Toisen tason automatisaation ero ensimmäiseen tasoon on toisen tason automatisoitujen järjestelmien pystyessä suorittamaan useampaa kuin yhtä dynaamista ajotehtävää, kuten auton ohjaamista ja kiihdyttämistä. Kolmannen tason automaatiossa auton automaattijärjestelmä suorittaa kuitenkin kaikki dynaamiset ajotehtävät tietyissä olosuhteissa, mutta ihmiskuljettajan täytyy olla kuitenkin valmiina ottamaan auto hallintaansa pyydettyäessä. Neljännen tason automaatiossa ihmiskuljettajan ei ole välttämättä ottaa autoa hallintaansa, sillä automatisoitu järjestelmä pystyy ohjaamaan auton hallitusti tien sivuun ilman ihmisen kontrollia. Neljännen tason automatisoitujen autojen automaatio kattaa suurimman osan ajotilanteista, kun taas

viidennen tason täysin automatisoitujen autojen järjestelmät kattavat kaikki ajotilanteet. (SAE International, 2018.)

TAULUKKO 1. Autojen automaatiotasot mukailien SAE Internationalin standardia J3016 (2018).

Ihmiskuljettaja suorittaa osittain tai kaikki dynaamiset ajotehtävät sekä ympäristön havainnoimisen	
Taso 0 - ei automaatiota	Ihmiskuljettaja suorittaa kaikki dynaamiset ajotehtävät.
Taso 1 - kuljettajaa avustava järjestelmä	Ihmiskuljettajaa avustava järjestelmä hoitaa joko ohjaamisen tai kaasuttamisen/jarruttamisen, mutta ei molempia samanaikaisesti. Ihmiskuljettaja suorittaa loput dynaamiset ajotehtävät.
Taso 2 - Osittainen automaatio	Järjestelmä voi suorittaa ohjaamisen sekä kaasuttamisen/jarruttamisen ajoympäristöstä ja olosuhteista riippuen. Ihmiskuljettaja suorittaa loput dynaamiset ajotehtävät.
Automatisoitu ohjausjärjestelmä suorittaa kaikki dynaamiset ajotehtävät sekä ympäristön havainnoimisen	
Taso 3 - Ehdollinen automaatio	Automatisoitu järjestelmä suorittaa kaikki dynaamiset ajotehtävät. Ihmiskuljettajan on kuitenkin jatkuvasti oltava valmis ottamaan ohjaus hallintaansa tarvittaessa.
Taso 4 - Korkea automaatio	Automatisoitu järjestelmä suorittaa kaikki dynaamiset ajotehtävät, vaikka ihmiskuljettaja ei reagoisi ohjauspyyntöön.
Taso 5 - Täysi automaatio	Automatisoitu järjestelmä suorittaa kaikki dynaamiset ajotehtävät

2.2 Itseohjautuvien autojen historia

Ensimmäinen askel kohti itseohjautuvia autoja oli Linriccan Wonder niminen radio-ohjattava auto, joka rakennettiin vuonna 1926. Linriccan Wonder oli käytännössä vuoden 1926 Chandler, jonka takaosaan oli rakennettu antenni ohjaamista varten. Linriccania ohjattiin lähettämällä radioimpulsseja sen antenniin,

jonka avulla antennin pienet elektroniset moottorit pystyivät muuttamaan auton kulkusuuntaa. Linriccan Wonder oli varsin primitiivinen versio itseohjautuvista autoista. (Bimbrow, 2015.)

Ensimmäinen itseohjautuva ajoneuvo rakennettiin vuonna 1977 Japanissa. Tsukuban mekaanisen suunnittelun laboratoriossa onnistuttiin suunnittelemaan itseohjautuva auto, jonka ohjautuvuus perustui valkoisten katumerkkien seuraamiseen. Tsukubassa suunniteltu auto pystyi saavuttamaan jopa 30 kilometrin tuntivauhdin sille tarkoitetulla testiradalla. (Forrest & Konca, 2007.)

1980-luvun lopulla DARPA:n (Defence Advanced Research Projects Agency) rahoittamassa autonomisen ajoneuvon projektissa kehiteltiin autonomiselle maassa ajettavalle ajoneuvolle uusia teknologioita Carnegie Mellon yliopiston ja Michiganin ympäristötutkimuslaitoksen toimesta. Autonomisen ajoneuvon projekti oli ensimmäinen, jossa onnistuttiin rakentamaan tietä seuraava ajoneuvo, mitä ohjattiin valotutkan, tietokonenäön ja itsenäisellä robottiohjauksen avulla. Ajoneuvo pystyi kulkemaan jopa 30 kilometriä tunnissa. Carnegie Mellonin yliopisto oli 1980-luvun lopussa saanut alulle neuroverkkojen käytön autonomisten autojen ohjaamiseksi. Neuroverkkojen avulla autonomia autoja pystyttiin kontrolloimaan entistä paremmin ja niiden pohjalta on rakennettu nykyaikaiset itseohjautuvien autojen ohjausstrategiat. (Pomerleau, 2018.)

2000-luvun alusta alkaen DARPA on järjestänyt automatisoitujen autojen palkintokilpailuja, Grand Challengeja. Grand Challenge luotiin kannustamaan sellaisten teknologioiden kehittämistä, jonka avulla voitaisiin rakentaa ensimmäinen täysin itseohjautuva maantieajoneuvo. Grand Challenge oli avoinna joukkueille ja organisaatioille ympäri maailmaa, kunhan joukkueessa oli vähintään yksi yhdysvaltalainen jäsen. Joukkueita ilmoittautui yli 100 ensimmäiseen kisaan, joista suurin osa oli organisaatioita ja yliopistoja. Ensimmäisessä Grand Challengeessa itseohjautuvan ajoneuvon tuli suoriutua 142 mailin hiekkaradasta Mojova aavikolla. DARPA tarjosi 2 miljoonan dollarin palkinnon sille joukkueelle, joka onnistuisi ajamaan radan 10 tunnin aikana. Vaikka hiekkaradalla oli kunnolliset ajopolut autoille, kaikki kisaan osallistuneet robotit epäonnistuivat ensimmäisten mailien aikana. DARPA uusi Grand Challengeen vuonna 2005 hieman lyhyemmällä ja erilaisella radalla, johon kutsuttiin 23 kisaajaa. Neljä itseohjautuvaa autoa selvisi aikarajoituksen puitteissa radasta, mikä oli osoitus merkittävästä edistyksestä itseohjautuvien autojen kehityksessä. (Thrun, 2010.) Vuonna 2007 DARPA järjesti Urban Challengeen, jossa useat itsenäiset autot onnistuivat ajamaan itsenäisesti yhdessä ihmiskuljettajien ajamien autojen kanssa kaupunkiliikenteessä ja noudattamaan paikallisia liikennesääntöjä. Urban Challenge oli huomattava tilaisuus näyttää itseohjautuvien autojen kyvyistä, niiden pystyessä tekemään älykkäitä päätöksiä ollessa vuorovaikutuksessa muiden autojen kanssa. (Luettel, Himmelsbach & Wuensche, 2012.)

Vuonna 2015 Tesla julkaisi heidän kaupallisen Model S autonsa kaksi edistynyttä kuljettajan avustusjärjestelmäänsä Autopilotin ja Summonin. Teslan Autopilot on yhdistelmä kaistanohjausjärjestelmää ja mukautuvaa vakionopeudensäädintä, joka sallii kuljettajan irrottamaan kätensä ratista tietyissä olosuhteissa. Summon avustusjärjestelmä on automaattinen pysäköintijärjes-

telmä, joka mahdollistaa ajoneuvon itsenäisen parkkeeraamisen autotalliin ja sieltä lähtemisen älypuhelinsovelluksen avulla. (Dikmen & Burns, 2017.)

Tällä hetkellä suurin osa itseohjautuvista autoista on tason 2 ja 3 itseohjautuvuuden välillä, kuten Tesla Model S. Honda kuitenkin julkaisi 5. maaliskuuta 2021 aloittavansa myymään uutta sedaniaan, jonka SENSING Elite automatisoitu ajojärjestelmä on saanut tason 3 automaation sertifikaatin Japanin hallitukselta. Hondan uusi sedan antaa Japanissa kuljettajalle laillisesti luvan irrottaa katseensa liikenteestä automatisoidun ohjausjärjestelmän suorittaessa dynaamiset ajotehtävät tietyissä olosuhteissa. (Honda, 2021.) Honda on ensimmäinen, joka on saanut julkaistua tason 3 automatisoidun auton kaupalliseen käyttöön nykypäivänä.

2.3 Itseohjautuvien autojen tulevaisuuden näkymät

Itseohjautuvien autojen teknologioiden kehitys on kiihtynyt lähivuosina kovaa vauhtia ja ennusteita niiden yleistymisestä nykypäivän liikenteessä on tehty jo vuosia. Litmanin (2017) mukaan optimistisimmat ennustajat uskoivat vuonna 2017 itseohjautuvien autojen teknologioiden kehittyvän ja yleistyvän tarpeeksi vuoteen 2030 mennessä siten, että ne pystyisivät korvaamaan suurimman osan ihmisten kuljettamista autoista liikenteessä. Monien haastattelujen, seminaarien ja konferenssien perusteella Japani ja Länsi-Eurooppa ovat erittäin potentiaalisia aikaiselle itseohjautuvan liikenteen käyttöönotolle. Yhdysvaltojen tiukempien määräyksien takia se tulee todennäköisesti hieman Japania ja Länsi-Eurooppaa jäljessä. (Bisht, Abbott & Gaffar, 2017.) Itseohjautuvien autojen tulee kuitenkin tarjota äärimmäistä tarkkuutta, turvallisuutta ja luotettavuutta, jotta ihmiset voivat luottaa henkensä niiden toimivuuteen. (Hussain & Zeadally, 2019.) Liikenteen muuttaminen täysin itsenäiseksi ei kuitenkaan ole riippuvainen ainoastaan autojen teknologian kehityksestä. Autojen automatisaation lisäksi on erittäin tärkeää huomioida infrastruktuurin suunnittelua tulevaisuudessa, jotta se pystyisi mahdollistamaan autonomisempaa liikennettä. Autonomisemman liikenteen ja sitä suosivan infrastruktuurin avulla voitaisiin mahdollisesti ehkäistä kuljetuksen ja liikenteen ongelmia, vähentää parkkipaikkojen tarvetta sekä ajoneuvoilla ajettuja kilometrejä. Ajoneuvoilla ajettujen kilometrien vähentyessä laskisivat myös kasvihuonekaasupäästöt. (Lu, Du, Dunham-Jones, Park & Crittenden, 2017.)

Itseohjautuvaa liikennettä varten saatetaan tarvita joitakin lakimuutoksia itseohjautuvien autojen vastuiden suhteen. Yhdysvalloissa autonvalmistajien vastuu autojen aiheuttamista vahingoista on täysin osavaltiosta riippuvainen, kun taas Euroopan Unioni on määritellyt yhteisiä linjauksia jäsenmailleen itseohjautuvien autojen käyttöönoton suhteen. (National Conference of State Legislatures, 2020; European Commission, 2019.) Davidson ja Spinoulas (2015) ovat esitelleet kolme tasoa itseohjautuvaan liikenteeseen. Suomennettuna nämä kolme itseohjautuvuuden tasoa menevät seuraavasti:

1. Sekalainen liikenne
2. Monipuolinen liikenne
3. Täysin itsenäinen liikenne

Ensimmäisessä tasossa itseohjautuvat autot ovat tason 3 tai 4 autonomisia autoja, joiden kuskit ovat vastuussa olevia ajokortillisia kuljettajia. Sekalainen liikenne sisältää osittain itsenäisiä autoja ja kuljettajan ohjaamia ajoneuvoja jakamassa liikenteen. Vain osa liikenteestä on itseohjautuvaa tasolla 1, eikä automaattinen kuljettaminen tai jaetut ajoneuvot ole saatavilla. Toisella tasolla suurempi osuus liikenteestä on itsenäistä ensimmäiseen verrattuna sekä suurin eroavaisuus on autojen kulkeminen ilman kuljettajaa. Kuskiton auto mahdollistaa kuljettamisen henkilöille, jotka eivät ole ajokykuisiä sekä jaettujen autojen toiminnan. Kolmannen tason täysin itsenäinen liikenne vaatisi uudenlaista lainsäädäntöä mahdollistamaan täysin itsenäisen liikenteen. Täysin itsenäinen liikenne kieltäisi ihmiskuljettajia toimimasta ajoneuvojen kuljettajina liikenteessä. (Davidson & Spinoulas, 2015.)

Chanin (2017) mukaan automatisoitujen ajojärjestelmien markkinoille tuomiselle on kaksi vastakkaista näkemystä. Ensimmäinen näkemys kannattaa evoluutiopolkua, missä tulevaisuuden autoihin lisätään jatkuvasti enemmän automaatiota teknologian kehittyessä. Evoluutiopolkua kehittää matalammista automaatiotasoina, kuten kuljettajan osittaisista ajojärjestelmistä aina korkeammille automatisaation tasoille asti. Evoluutiopolun suosijat uskovat myöskin ihmiskuljettajan suosivan mahdollisuutta hallita ajoneuvoa, vaikka automaatio olisikin saatavilla. (Chan, 2017.)

Toisen näkemyksen mukaan itseohjautuvien autojen on käytännössä mahdotonta pyytää ihmiskuljettajaa ohjaamaan pitkässä juoksussa, ihmiskuljettajan tottuessa itseohjautuvuuteen. Esimerkiksi kolmannen tason itseohjautuvassa autossa ihmiskuljettajan pitäisi olla jatkuvasti valmiudessa ottamaan auton ohjat haltuunsa, mikä voi koitua ongelmalliseksi haasteeksi kuskille. Ihmiskuljettaja saattaa olla tarkkaamaton liikenteen suhteen tottuessaan itseohjautuvaan ajojärjestelmään, eikä välttämättä ole kykeneväinen suorittamaan vaadittua äkillistä ajoneuvon haltuunottoa. Joitakin väärinkäytöksiä on jo nykypäivänä todettukin toisen tason kaupallisten itseohjautuvien autojen käyttäjissä. Väärinkäyttäjät eivät ole olleet valmiita reagoimaan auton ohjauspyyntöön heidän tehdessä jotain muuta, kuten nukkuessaan ratissa ja ovat siten saattaneet itsensä ja muut kuskit vaaraan. Toisen näkemyksen kannattajat suosittelivatkin osittain automatisaation poistamista ja siirtymistä suoraan täysin itsenäisiin autoihin, joista on poistettu kuljettajan mahdollisuus kontrolloida autoa. (Chan, 2017.)

2.4 Itseohjautuvien autojen eettisiä ongelmia

Tyypillinen itseohjautuvan auton eettinen ongelma kohdistuu klassiseen ”trolley problem”-iin. Filosofi Philippa Foot esitteli vuonna 1967 ”trolley problem”-in ajatuskokeena. Ajatuskokeessa on tilanne, jossa raitiovaunu on syök-

symässä viittä henkilöä kohti, jotka eivät kykene väistämään raitiovaunua. Raitiovaunun radalla on kuitenkin sivuraide, jonka tiellä on yksi henkilö. Koehenkilön lähellä on vipu, jota vetämällä raitiovaunu vaihtaisi raidetta raiteelle mikä johtaisi yhden henkilön kuolemaan viiden sijaan. Kysymykseksi muodostuu; Miksi meidän pitäisi sanoa epäröimättä, että kuljettajan täytyisi ohjata vaunu kohti vähemmän miehitettyä raidetta? Philippan mukaan on eri ohjata vaunu jotakuta kohti, kun olet tietoisesti tappamassa hänet kuin antaa ennakoitun tapaturman tapahtua. (Foot, 1967.)

Itseohjautuvien autojen suunnitteluvaiheessa ohjelmoijat tulevat törmäämään ”trolley problem”:iin, etenkin miten he aikovat ratkaista sen. Tuleeko auton valita skenaario missä on vähiten kuolemia? Entä osaisiko auto valita henkilöiden välillä, jos kyseessä olisi lapsi tai vanhus? Asiakkaan näkökulmasta itseohjautuvan auton hankinta saattaisi jäädä harkitsemisvaiheeseen, jos hän tietäisi auton pelastavan väistämättömän törmäyksen tilanteessa joukon lapsia oman henkensä sijaan, vaikka kyseinen tilanne olisikin täysin lapsien vika. Vaikka itseohjautuva auto vähentäisikin omistajan todennäköisyyttä joutua liikenneonnettomuuteen, saattaa hän silti jättää auton ostamatta, jos hän ei hyväksyisi itsensä uhraamista sen ollessa vähiten kuolemia aiheuttava skenaario. Bartneck, Lütge, Wagner ja Welsh (2021) mukaan ongelma voitaisiin ratkaista itseohjautuvan auton suunnitteluvaiheessa välttämällä sellaisia algoritmeja, jotka valikoivat kolarissa menehtyviä henkilöitä jonkin henkilökohtaisen ominaisuuden perusteella. Toinen vaihtoehto olisi siirtää ohjaus ihmiskuljettajalle, jolloin vastuu päätöksestä olisi ihmisellä. Ohjauksen siirto ihmiskuljettajalle on kuitenkin myös ongelmallista, jos ihmiskuljettaja ei ole kykeneväinen reagoimaan riittävän nopeasti, eikä siten pystyisi toimimaan riittävän hyvin kyseisessä tilanteessa (Nyholm & Smids, 2018).

Väistämättömien törmäyksien lisäksi itseohjautuvien autojen eettisissä ongelmassa nousee niiden aiheuttamien kolareiden vastuu. Onko itseohjautuvan auton omistaja vai auton valmistaja vastuussa tapahtuneesta kolarista? Auton valmistaja on voinut luoda auton tekemään ratkaisevat ohjaukseen liittyvät päätökset ihmiskuljettajan puolesta, mikä ei välttämättä ole kuitenkaan siirtänyt kolaritilanteen vastuuta ihmiskuljettajalta auton valmistajalle. Ihmiskuljettajan on täytynyt hyväksyä edellä mainitut käytänteet auton sopimusehdoissa, mikä varmistaa kolaritilanteen vastuun olevan ihmiskuljettajalla. Tämän päivän itseohjautuvien autojen ollessa kuitenkin vielä automatisaation tasolla 2, jossa ihmiskuljettaja toimii pääsääntöisenä kuljettajana, ei vastuusta tarvitse kiistellä.

Borenstein, Herkert ja Miller (2017) mukaan autonvalmistajien tulisi olla vastuussa loppukädessä autojensa toiminnasta heidän hoitaessaan autojen kehittämisen ja turvallisuuden kannalta kriittisten järjestelmien testaamisen. Lailisen vastuun siirtyminen ihmiskuljettajalta autonvalmistajalle varmistaisi kuitenkin autojen kunnollisen testaamisen. Ihmiskuljettajan vastuuta ei voida kuitenkaan siirtää autonvalmistajille ennen kuin markkinoilla on vähintään tason 3 itseohjautuvia autoja. Hevelke ja Nida-Rümelin (2015) mukaan taas tilanne on riippuvainen ihmisen realistisesta kyvystä ennakoita ja estää kolari alun perin. Jos keskiverto kuskilla ei koskaan ollutkaan realistista mahdollisuutta kolarin

estämiseksi, ei häntä pitäisi pitää kolarista vastuullisena. Edellä esitelty vaihtoehto vaikuttaisi parhaimmalta ennen kuin itseohjautuvien autojen kehitys on siinä pisteessä, että ne korvaavat ihmiskuljettajien ohjaustehtävät kokonaan.

3 NYKYPÄIVÄN LIIKENNE

Esittelen luvun alussa lyhyesti autojen omistamisen muotoja nykypäivänä, jonka jälkeen käyn läpi ihmisten tekemiä virheitä liikenteessä. Lisäksi luvussa selvitetään nuorten kuljettajien osuutta vuosittain tapahtuviin kymmeneen miljooniin liikenneonnettomuuksiin (World Health Organization, 2018.) Tutkimustuloksia käyttäen esittelen erilaisia kolari- ja liikenneonnettomuustilastoja, mitä käytän pohjana seuraavassa luvussa itseohjautuvia autoja verrattaessa ihmiskuljettajien tekemiin virheisiin.

3.1 Autojen omistussuhteet nykypäivänä

Suurin osa nykypäivän liikenteen autoista on yksityishenkilöiden omistamia yksityisiä autoja. Yhä useampi kuluttaja kuitenkin mielummin jakaa, lainaa tai vuokraa tuotteen saadakseen tilapäisen käyttöoikeuden sen sijaan että ostaisi tuotteen omakseen (Matzler, Veider & Kathan, 2015). Autoilu on siirtynyt perinteisestä yksityisomistajuudesta monimuotoisempaan omistajuuteen, missä yksityishenkilöt saattavat käyttää yhteiskäyttöautoja tai autonvuokrauspalveluita yksityisomistajuuden sijaan. Samalla monet väliaikaisen omistajuuden tarjoavat palvelut, kuten yhteiskäyttöautoja tarjoavat palvelut, ovat tarjonneet kuluttajille mahdollisuuden yksinkertaisempaan tapaan kuluttaa kuin perinteinen omistaminen tai jakaminen (Bardhi & Eckhardt, 2012). Autojen leasingsopimusten avulla yhä useampi kuluttaja on pystynyt omistamaan oman autonsa. Leasingsopimuksilla hankitut autot ovat myös yleisesti uudempia kuin perinteisesti ostamalla hankitut autot. (Desai & Purohit, 1998.)

Yhä useampi kaupungissa asuva nuori aikuinen ei hanki ajokorttia nykypäivänä, kuten vanhemmat sukupolvet. Julkisen liikenteen lisääntyessä nuoret eivät välttämättä koe ajokorttia enää niin tarpeelliseksi kuin se on saattanut olla aikaisemmin. Kaupunkialueiden ulkopuolella julkisen liikenteen puuttuessa ajokortin hankinta voi olla kuitenkin välttämätöntä monelle nuorelle. (Yle, 2013)

3.2 Ihmiskuljettajien tekemät virheet liikenteessä

Ihmiskuljettajat tekevät vuosittain useita virheitä ajaessaan liikenteessä, kuitenkin vain osa ihmisten tekemistä virheistä johtaa liikenneonnettomuuksiin. Liikenneonnettomuustilastojen mukaan yli 90 % liikenteessä tapahtuneista onnettomuuksista johtuu pelkästään ihmiskuljettajien tekemistä virheistä. Yleisimpiä syitä ihmisten tekemiin virheisiin ovat kuljettajan huolimaton käyttäytyminen, jonkinlainen häiriötekijä tai uupumus (Xing, Lv & Cao, 2020; Tian, Li, Chen, Chen & Witt, 2013). Ihmiskuljettajien tekemät virheet liikenteessä maksavat valtioille vuosittain noin 3 % niiden bruttokansantuotteesta. (World Health Organization, 2015.) Liikenteessä tapahtuneet onnettomuudet ovat kuitenkin nousseet viime vuosina tappaen melkein 1,5 miljoonaa ja vahingoittaen noin 50 miljoonaa henkilöä vuosittain (World Health Organization, 2018). Moottoritiellä tapahtuneet onnettomuudet ovat vuosittain suurin syy 15–29-vuotiaiden kuolleisuuteen. Vaikka ajoneuvojen kehittynyt turvallisuus ja moottoriteiden huolellisemmat suunnittelut ovat parantaneet niiden turvallisuutta, ne eivät ole onnistuneet laskemaan rajusti moottoriteillä tapahtuvia kuolemia. (Mannering, Shankar & Bhat, 2016.)

Liikenneerikkomusten avulla voidaan arvioida hyvin kuljettajien riskinottoa liikenteessä, minkä takia monet vakuutusyhtiötkin käyttävät liikenneerikkomusten määrää arvioimaan kuljettajan autovakuutuksen hintaa. Tanskan liikenneerikkomustilastojen pohjalta tehdyssä tutkimuksessa paljastui, että henkilöiden riskinottaminen liikenteessä on huomattavasti verrattavissa taloudelliseen riskinottoon sekä työmarkkinoiden mieltymyksiin. (Abay & Mannering, 2016.) Watson-Brown, Senserrick, Freeman, Davey & Scott-Parker (2021) tutkimuksen mukaan nuorten kuskien riskinottoa liikenteessä voitaisiin vähentää keskittymällä siihen kuljettajan opetusvaiheessa. Nuorten oppiessa huolellisesti turvalliset ajokäytännöt voitaisiin vähentää heidän riskinottoaan, minkä avulla voitaisiin vähentää nuorten tekemiä virheitä ja liikenneonnettomuuksia. (Watson-Brown, Senserrick, Freeman, Davey & Scott-Parker, 2021; Adanu & Jones, 2017.)

Queensland, Australiassa tehdyssä tutkimuksessa todettiin riskialttiin ajamisen olevan yhteydessä yli 40 % kaikista kolareista vuosina 2014–2018. Joka kymmenes 17–20-vuotiaista oli osallisena kolarissa Queenslandissa, vaikka he edustivat vain reilua 5 prosenttia kaikista ajokortillisista. Nuorten kuljettajien riskialtis ajaminen kasvoi huomattavasti heidän saadessaan itsenäisen ajokortin. Suurimmat riskitekijät nuorilla kuljettajilla, etenkin nuorilla miehillä, olivat liian lyhyet etäisyydet edessä oleviin autoihin ja vaarallinen ohittaminen. (Watson-Brown, Senserrick, Freeman, Davey & Scott-Parker, 2021.)

Kaupunkialueilla asuminen voi tarjota parempaa ajoturvallisuutta maaseutuun verrattuna. Espanjassa tehdyn tutkimuksen mukaan risteykset, joissa maaseutujen pienempi tie liittyy isoimpiin kaupunkien välisiin reitteihin, ovat huomattavasti vaarallisempia risteyksiä kuin normaalit risteykset. Kyseisten risteyksien vaarallisuus näkyy onnettomuustilastoissa sekä onnettomuuksien vakavuuksissa. (Casado-Sanz, Guirao & Attard, 2020.) Maaseutujen vaaralli-

suus näkyy myös Yhdysvalloissa, missä vuonna 2014 tapahtuneista kuolonkolareista 51 % tapahtui maaseutujen teillä. Maaseutujen teillä tapahtuneissa kolareissa merkittävin yhdistävä tekijä oli ylinopeuden ajaminen. Ylinopeuden aiheuttamat onnettomuudet olivat todistetusti 17-kertaisia ajoneuvojen mekaanisten vikojen aiheuttamiin onnettomuuksiin. Vuosien 2002–2010 aikana tapahtuneissa kolareissa maaseutujen valtateillä pystyttiin toteamaan suurimman osan kolareista tapahtuneen suotuisissa ajo-olosuhteissa. Suotuisaksi ajo-olosuhteeksi luokiteltiin mm. kuiva ajotie tai kirkas sää. (Shrestha & Shrestha, 2017.)

4 ITSEOHJAUTUVIEN AUTOJEN ETUJA LIIKENTEESSÄ

Tässä luvussa käydään läpi itse tutkimuskysymystä eli mitä mahdollisia etuja itseohjautuvilla autoilla on liikenneturvallisuuden ja taloudellisuuden kannalta. Luvun alussa käyn läpi itseohjautuvien autojen vaikutusta liikenneturvallisuuden kannalta, jonka jälkeen käyn läpi niiden taloudellisia ja ekologisia etuja.

4.1 Itseohjautuvien autojen etuja liikenneturvallisuuden kannalta

Edellisessä luvussa esiteltyjen ihmiskuljettajien tekemiä virheitä voitaisiin estää automatisoitujen ajojärjestelmien avulla, mikä nostaisi yleistä liikenneturvallisuutta. Liikennekolareista yli 90 prosenttia on ihmisten tekemien virheiden aiheuttamia, tapahtuneista kuolonkolareista 40 prosenttia on johtunut kuljettajan päihtymisestä, väsymyksestä tai häiriötekijästä. Kolaritilastot paljastavat inhimillisten tekijöiden haavoittuvuuksia, mitkä voitaisiin korvata automatisaatiolla ja siten parantaa huomattavasti liikenneturvallisuutta. Fagnant ja Kockelman (2015) arvion mukaan voidaan olettaa itseohjautuvien autojen laskevan kolari- ja onnettomuusmääriä jopa 50 prosenttia kymmenen prosentin markkinaosuudella, verrattaessa perinteisiin autoihin. Jos itseohjautuvien autojen markkinaosuus saataisiin nostettua 90 prosenttiin ne estäisivät Fagnant ja Kockelman (2015) mukaan 90 prosenttia nykypäivänä tapahtuneista kolareista. Itseohjautuvat autot vähentäisivät huomattavan määrän tapahtuvista kolareista poistamalla inhimillisiä tekijöitä, jotka ovat suurin syy liikenteessä tapahtuneisiin kolareihin.

Vuonna 2010 Yhdysvalloissa ajetuissa kolareissa kuoli 33 000 ihmistä, 3.9 miljoonaa loukkaantui ja 24 miljoonaa kulkuneuvoa vaurioitui aiheuttaen 277 miljardin dollarin aineelliset ja aineettomat kustannukset (Blincoe, Miller, Zaloshnja & Lawrence, 2015). Kustannukset heijastuvat kuitenkin myös mm. ihmisten tuottavuuteen, lääketieteellisiin kustannuksiin, oikeudellisiin ja oi-

keudenkäyntikuluihin, työpaikkojen menetyksiin, hätäpalvelukustannuksiin, ruuhkautumiskuormitukseen sekä omaisuusvahinkoihin. Autokolarien määrä on kuitenkin ollut laskeva autojen uusien teknologioiden käyttöönoton jälkeen. Uudet teknologiat kuten airbagit, lukkiutumattomat jarrut, elektroniset ajonvakautusjärjestelmät ja törmäysvaroitukset ovat parantaneet huomattavasti autojen turvallisuutta. Edellä mainittuja uusia teknologioita löytyy jo tason 0 ja 1 automatisoiduissa autoissa. (Bagloee, Tavana, Asadi & Oliver, 2016.)

Lie, Tingvall, Krafft ja Kullgren (2006) tekemässä tutkimuksessa tarkasteltiin ajonvakautusjärjestelmän tehokkuutta Ruotsissa vuosien 1998–2004 välillä ajettujen kolarien perusteella. Vuonna 1998 julkaistu varhaisen vaiheen ajonvakautusjärjestelmä onnistui estämään noin 10 prosenttia kolaritilanteista sekä 15 prosenttia vakavista tai kuolonkolareista. Ajonhallinnan menettämiseen ajonvakautusjärjestelmä vaikutti kuitenkin huomattavasti enemmän, estäen jopa 50 prosenttia vakavista kolareista märällä tai lumisella tiellä. Tutkimuksen arvion mukaan Ruotsissa tapahtuu vuosittain 500 kolarikuolemaa, joista jopa 80–100 voitaisiin välttää, jos kaikissa autoissa olisi ajonvakautusjärjestelmä. Nykypäivänä ajonvakautusjärjestelmällä on saatu estettyä noin 40 prosenttia kaikista kolareista, joissa kuljettaja on menettänyt auton hallinnan. Ajonvakautusjärjestelmän on huomattu olevan tehokkaampi estämään kuolonkolareita sekä sen myös olevan tehokkaampi katumaastureissa kuin normaaleissa autoissa. (Høye, 2011.)

Teoh ja Kidd (2017) tekemässä tutkimuksessa verrattiin Googlen kehittämää itseohjautuvia autoja ihmiskuljettajiin vuosien 2009–2015 datan perusteella. Tutkimuksessa selvisi Googlen autojen ajavan vähemmän kolareita kuin ihmiskuljettajien ajamat autot. Googlen kehittämät autot eivät olleet tilastollisesti kuitenkaan merkittävästi parempia kuin ihmiskuljettajat. On hyvä huomioida tutkimuksen datan olevan suhteellisen vanhaa, kun vertaa itseohjautuvien autojen automatisaation kehityksen kulkua. Mielestäni tutkimus kuitenkin osoittaa hyvin kuinka turvallisia itseohjautuvat autot olivat jo kehitysvaiheessaan, verrattuna ihmiskuljettajiin. Tutkimuksessa selvisi myös Googlen itseohjautuvien autojen ajavan erilaisia kolareita kuin ihmiskuljettajien. Googlen autojen yleisimmät kolarit olivat perään ajamisia, mitkä tapahtuivat tilanteissa missä ne olivat pysähtyneet tai liikkuivat niukasti. Peräänajamiset saattoivat johtua autonomisten autojen pysähtyessä odottamattomissa tilanteissa, mutta sitä ei pystytty tutkitusti todistamaan. (Teoh & Kidd, 2017.)

Vanhempien kuskien kuuluessa liikenteessä riskiryhmään heidän heikentyneen näkönsä ja kognitiivisten ominaisuuksien takia, voitaisiin heidän heikkouksiaan korvata itseohjautuvilla autoilla tai niiden ajoa avustavilla järjestelmillä. Esimerkiksi järjestelmä voisi varoittaa vanhempaa henkilöä hänen läheistyessään risteystä tai muista ajoneuvoista. Ongelmaksi voi myös nousta vanhempien henkilöiden heikompi luottamus teknologioita kohtaan kuin nuoremilla tai keski-ikäisillä kuskeilla. Vasta-aloittaneet kuskit taas ajavat kymmenen kertaa todennäköisemmin kolarin ensimmäisen kuukauden aikana kortin myöntämisestä, kun vertaillaan heidän kolaritilastojaan puolen vuoden päähän. Kuitenkin ongelmaksi saattaisi nousta vasta-aloittaneen kuskin taitojen

puuttuminen myöhemmässä vaiheessa elämää, jos nuori ei pääse harjoittamaan ajotaitojaan kortin saamisensa jälkeen, kun itseohjautuva auto on hoitanut ajamisen hänen puolestaan. (Fisher, Lohrenz, Moore, Nadler & Pollard, 2016.)

4.2 Itseohjautuvien autojen taloudellisia ja ekologisia etuja

Itseohjautuvien autojen hyödyt saattavat näkyä ensisijaisesti liikenneturvallisuuden parantumisessa, mikä itsessään vaikuttaa myös itseohjautuvien autojen tuomiin taloudellisiin etuihin. Liikennekolarien vähentyessä itseohjautuvien autojen taloudellinen etu näkyisi muun muassa autojen keskimääräisen käyttöiän kasvaessa sekä yhteiskunnan kannalta infrastruktuurin ylläpitokustannuksissa. Vakavasti vahingoittavien ja kuolonkolarien laskiessa, yhä enemmän työssäkäyvistä ihmisistä pystyisi jatkamaan normaalia elämäänsä sen sijaan, että he tulisivat yhteiskunnan elättämäksi erilaisilla tuilla vahingoittuessaan kolareissa. Itseohjautuvien autojen avulla saataisiin myös vähennettyä liikenneruuhkia, mikä lisäisi tuottavuutta ihmisten kuluttaessa vähemmän aikaa matkustamiseen. Kaiken kaikkiaan itseohjautuvien autojen avulla voitaisiin säästää arvioiden mukaan liikenneonnettomuuksien, matka-ajan lyhentymisen, polttoainetehokkuuden ja parkkipaikkojen vähentymisen avulla jopa 2000 \$ itseohjautuvaa autoa kohden vuodessa. Vuonna 2015 tehtyjen tutkimusten arvioiden mukaan itseohjautuvien autojen vuotuiset taloudelliset hyödyt voisivat olla 27 miljardin dollarin luokkaa pelkästään 10 prosentin markkinaosuudella Yhdysvaltojen markkinoilla. Itseohjautuvilla autoilla olisi kuitenkin potentiaalia säästää 450 miljardia dollaria vuosittain, kun huomioidaan niiden etuja laajemmin, korkeammalla markkinaosuudella. (Fagnant & Kockelman, 2015.)

Fagnant ja Kockelman (2015) mukaan Yhdysvalloissa normaalin auton omistus- ja käyttökustannukset olivat 6000 \$ ja 13000 \$ välillä vuonna 2015, riippuen ajoneuvon mallista ja mittarilukemasta, kun taas vakuutus- ja polttoainekustannukset ovat tuhannen ja jopa kolmen tuhannen dollarin luokkaa. Itseohjautuvien autojen lisääntyneen turvallisuuden ansiosta vakuutuskustannukset voisivat tippua jopa 50 prosenttia sekä polttoainekustannukset voisivat laskea 13 prosentin verran. Kalliiden pysäköintiympäristöjen takia itseohjautuvat autot voisivat myös tuoda huomattavia lisäsäästöjä parkkipaikoista riippumattomuudella. (Fagnant & Kockelman, 2015.) Itseohjautuvan auton ostaminen voitaisiin nähdä myös kannattavana sijoituksena, sen toimiessa kuskina omistajan omien asioiden hoitamiseen sekä tarjotessa kuljetuspalveluita maksaville asiakkaille. Kuljetuspalveluiden ansiosta itseohjautuvaa autoa pystyttäisiin käyttämään entistä enemmän, mikä lisäisi itseohjautuvan auton kannattavuutta ja tekisi siitä houkuttelevamman kohteen kuin perinteisestä autosta. (Bösch, Becker, Becker & Axhausen, 2018.)

Itseohjautuvien autojen muokatessa matkustamisen muotoja ja mahdollistaessa kuljettajan keskittymisen muihin mielekkäämpiin toimintoihin kuin ajamiseen, saattaa ihmisten asuinpaikkojen merkitys vähentyä entisestään. Työ-

matkoihin liittyvän stressin vähentyessä ja mahdollisuus korvata siihen käytetty aika tuottavammin tai mielekkäämmin, tulee kodin ja työpaikan välisestä matkasta vähäpätöisempi tekijä ihmisille. Itseohjautuvien autojen avulla pystyttäisiin myös vähentämään autojen määrää kaupungeissa jaettujen kuljetuksien avulla. Nykypäivänä käytetyt puhelinsovellukset, jotka mahdollistavat jaetut kuljetukset, ovat lisääntyneet monissa maissa. Tämä on jo johtanut autojen määrän vähenemiseen liikenteessä. Tutkijat arvioivat jokaisen nykyisen jaetun auton pystyvän vähentämään noin 10 autoa liikenteessä kuljetukseen käytettävistä (Tachet ym., 2017). Santi ym. (2014) tehdyn tutkimuksen mukaan taksi-matkustajien odottaessa 5 minuuttia, voitaisiin 60 prosenttia matkoista jakaa asiakkaiden kesken, mikä säästäisi yli 20 prosenttia kuljetusajasta New Yorkissa päivittäin. Kuljetukseen käytetty aika lyhenisi autojen määrän vähentyessä ja jaettujen kyytien lisääntyessä kaupungeissa, mikä taas parantaisi matkustamisen tehokkuutta ja vähentäisi sen aiheuttamaa stressiä.

Yhdysvalloissa melkein 95 prosenttia ihmisistä liikkuu autoilla ja parkkipaikat kattavat yhteensä 4400 neliökilometriä koko maassa. Joissakin kaupungeissa parkkipaikat taas kattavat jopa kolmanneksen niiden metropolialueen pinta-alasta. (Ben-Joseph, 2012.) Normaalien autojen ollessa paikallaan käyttämättömänä 96 prosenttia niiden elinajastaan, voitaisiin itseohjautuvien autojen avulla käyttää paikallaanoloaika hyödyksi ja vähentää käytettyjä parkkipaikkoja (Duarte & Ratti, 2018). Huomioiden Tachet ym. (2017) esittelemän jaettujen autojen potentiaalın sekä itseohjautuvien autojen jatkuvan liikkumisen ominaisuuden, saataisiin vähennettyä kaupungeissa tarvittavien parkkipaikkojen määrää, mikä mahdollistaisi esimerkiksi asuntojen rakentamista parkkipaikkojen tilalle. Vaikka jokainen itseohjautuva auto ei vähentäisi suoranaisesti yhden parkkipaikan tarvetta, vähentäisivät itseohjautuvat autot parkkipaikoista koituvia vuosittaisia kustannuksia keskimäärin 250 \$ autoa kohden, mikäli 10 prosenttia itseohjautuvista autoista toimisi julkisena kulkuvälineenä (Fagnant & Kockelman, 2015).

Itseohjautuvien autojen avulla voitaisiin parantaa jaettujen autojen tuomaa liikkuvuutta huomattavasti. Fagnant ja Kockelman (2014) tutkimuksen mukaan itseohjautuvien autojen käyttämän teknologian avulla ne pystyvät uudelleensijoittumaan paremmin normaaleihin ihmiskuljettajiin verrattuna, minkä avulla ne pystyvät vähentämään seuraavien kuljetuksien odotusaikaa. Tutkimuksen mukaan uudelleensijoittaminen lisäsi kokonaista ajettua matkaa kymmenellä prosentilla normaaleihin autoihin verrattuna, mutta vähensi huomattavasti tarvittavien autojen määrää kuljetuksien toteuttamiseksi.

Itseohjautuvien autojen teknologioiden avulla pystyttäisiin vähentämään autoilun aiheuttamaa saastetta sekä polttoaineen kulutusta. Itseohjautuvat autot pystyvät arvioimaan tarvittavia jarrutuksia ja kiihdytyksiä ihmiskuljettajia paremmin, mikä johtaisi tasaisimpiin jarrutuksiin ja vähentäisi myös auton jarrujen kulumista. (Fagnant & Kockelman, 2015.) Greenblatt ja Saxena (2015) mukaan itseohjautuvien taksien aiheuttamat päästöt vuonna 2030 olisivat 87–94 % alhaisemmat kuin nykyisten ajoneuvojen sekä 63–82 % alemmat kuin vuoden 2030 hybridi autojen. National Research Council (2013) mukaan itseohjautuvat

autot pystyvät vähentämään merkittävästi kasvihuonepäästöjä tulevaisuudessa kolmen synergisen vaikutuksen kautta:

- Sähkön kasvihuonepäästöjen intensiteetin lasku tulevaisuudessa.
- Matkakohtaisten itseohjautuvien taksien valitsemisen johtaminen pienempiin ajoneuvoihin.
- Korkeampien vuotuisten ajoneuvokilometrien lisätessä ajoneuvojen, erityisesti akkukäyttöisten ajoneuvojen kustannustehokkuutta.

5 YHTEENVETO

Tämän kandidaatintutkielman tarkoituksena oli selvittää itseohjautuvien autojen hyötyjä liikenneturvallisuuden ja taloudellisuuden kannalta perinteisiin ihmisten kuljettamiin autoihin verrattuna. Tutkimustavoitteeseen pääsemiseksi avasin ensimmäisessä luvussa itseohjautuvien autojen määritelmää ja historiaa. Esittelin myös tässä luvussa itseohjautuvien autojen käyttöönottoa ja itseohjautuvan liikenteen erilaisia tasoja. Toisessa sisältöluvussa esittelin autojen omistussuhteita nykypäivänä sekä ihmisten tekemiä virheitä liikenteessä. Luvussa esiteltiin nuorten henkilöiden riskinottoa liikenteessä, mikä korreloi liikenneonnettomuuksien kanssa. Neljännessä luvussa esittelin tutkielman kannalta tärkeimpiä tutkimuksia itseohjautuvien autojen eduista ja vastasin siinä tutkimuskysymyksiini: ”Ovatko itseohjautuvat autot turvallisempia kuin ihmiskuljettajat liikenteessä?” ja ”Onko itseohjautuva auto taloudellisempi kuin ihmisen kuljettama auto?”. Itseohjautuvien autojen etuja ja vaikutusta nykypäivän liikenteeseen verrattiin toisen sisältöluvun ihmisten tekemiin virheisiin. Tutkielma toteutettiin kirjallisuuskatsauksena ja tutkielmassa käytettyä lähdekirjallisuutta rajattiin Google Scholarin viittausten määrän ja Julkaisuforumin tason mukaan.

Tutkielman tärkeimmät tulokset ovat neljännessä luvussa esitetyt itseohjautuvien autojen tuomat edut perinteisiin ihmisten kuljettamiin autoihin verrattuna. Käytetyn kirjallisuuden perusteella saatiin selville itseohjautuvien autojen parantavan huomattavasti liikenneturvallisuutta niiden vähentäessä ihmillisiä tekijöitä, jotka ovat suurin syy liikenneonnettomuuksiin. Liikenneturvallisuuden parantuessa pystyttiin toteamaan itseohjautuvien autojen tuovan myös taloudellisia etuja. Lähdekirjallisuuden perusteella voitiin huomata liikenneturvallisuuden tuomien etujen kävelevän käsi kädessä taloudellisten etujen kanssa. Taloudellisia etuja olivat osaksi liikenneturvallisuuden parantumisesta johtuvat, kuten vähentyneet kolarit ja autojen pidempi käyttöikä. Itseohjautuvien autojen tuomia erinäisiä etuja taas oli muun muassa polttoainesäästöt sekä matkustusajan käyttäminen tuottavammin. Monet suorat edut yksityishenkilöille, kuten auton tuoma lisääntynyt tulo, voi näkyä myös yhteiskunnan etuna verotulojen tai lisääntyneen kulutuksen kautta. Itseohjautuvien autojen

tuomat edut riippuvat kuitenkin autojen automatisaation tasosta. Automatisaation ollessa matalaa ja vaatien ihmiskuljettajalta jatkuvaa monitorointia, rajoittaa se itseohjautuvien autojen tuomia hyötyjä kuluttajille sekä kuluttajien halukkuutta ostaa itseohjautuvaa autoa (Kyriakidis, ym. 2019).

On kuitenkin hyvä huomioida itseohjautuvien autojen epäsuoria vaikutuksia ihmisten aiheuttamiin kolareihin niiden muuttaessa liikennettä. Esimerkiksi moottoritiellä ajava itseohjautuva auto kulkisi liikenerajoitusten mukaan, kun taas ihmiskuljettaja saattaa ajaa huomattavasti kovempaa. Tämä saattaisi johtaa itseohjautuvan auton ohittamiseen, joka taas nostaa liikenneonnettomuuden riskiä. Itseohjautuvia autoja ei kuitenkaan voisi syyttää edellä mainitun esimerkin kaltaisista tilanteista ihmiskuljettajan piittaamattomuuden ja liikennesääntöjen laiminlyönnin takia. (Bartneck, Lütge, Wagner & Welsh, 2021.)

Vaikka tutkielman tutkimuskysymykseen onnistuttiin vastaamaan kiitettävästi, on hyvä huomioida sen yksipuolisuutta. Tutkielmassa tuodaan esille itseohjautuvien autojen etuja monelta kannalta, mutta niiden mahdolliset haitat rajautuvat eettisiin ongelmiin. Kaupallisessa käytössä olevat itseohjautuvat autot ovat vielä hyvin aikaisessa vaiheessa, minkä takia niiden tuomat hyödyt ovat rajoittuvaisia niiden käyttöpaikasta ja sääolosuhteista. Itseohjautuvien autojen sensorit eivät toimi yhtä tehokkaasti kovalla vesisateella sekä lumi saattaa heikentää sensorien tehoa ja hämärtää muita lumen peittämiä kuviota (Zang ym., 2019). On kuitenkin selvää, että itseohjautuvien autojen tuomien hyötyjen pitäisi ylittää huomattavasti niistä aiheutuneet haitat jo tässä vaiheessa. Itseohjautuvien autojen kehittyessä todella nopeaa vauhtia, tulevat niiden mahdollistamat hyödytkin paranemaan vuosi vuodelta. Jatkotutkimuksen kannalta voitaisiin vertailla tarkemmin itseohjautuvien autojen hyöty- ja haittasuhdetta. Jatkotutkimuksessa voitaisiin vertailla hyöty- ja haittasuhdetta yksilötasolla sekä yhteiskunnan näkökulmasta. Hyöty- ja haittasuhdetta voitaisiin tarkastella muun muassa niiden taloudellisuuden, liikenneturvallisuuden tai ympäristön vaikutusten näkökulmasta.

LÄHTEET

Abay, K. A. & Mannering, F. L. (2016). An empirical analysis of risk-taking in car driving and other aspects of life. *Accident Analysis & Prevention*, 97, 57-68. doi:<https://doi-org.ezproxy.jyu.fi/10.1016/j.aap.2016.08.022>

Adanu, E. K. & Jones, S. (2017). Effects of human-centered factors on crash injury severities. *Journal of Advanced Transportation*, 2017

Bagloee, S. A., Tavana, M., Asadi, M. & Oliver, T. (2016). Autonomous vehicles: Challenges, opportunities, and future implications for transportation policies. *Journal of Modern Transportation*, 24(4), 284-303.

Bardhi, F. & Eckhardt, G. M. (2012). Access-based consumption: The case of car sharing. *Journal of Consumer Research*, 39(4), 881-898.

Bartneck, C., Lütge, C., Wagner, A. & Welsh, S. (2021). *Autonomous vehicles. An introduction to ethics in robotics and AI* (s. 83-92) Springer.

Ben-Joseph, E. (2012). *ReThinking a lot: The design and culture of parking* MIT press Cambridge, MA.

Bimbrow, K. (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. (s. 191-198)

Bisht, M. Abbott, J. & Gaffar, A. (2017). Social dilemma of autonomous cars a critical analysis. (s. 1-3) doi:10.1109/UIC-ATC.2017.8397601

Blincoe, L., Miller, T. R., Zaloshnja, E. & Lawrence, B. A. (2015). No title. *The Economic and Societal Impact of Motor Vehicle Crashes, 2010 (Revised)*,

Borenstein, J., Herkert, J. & Miller, K. (2017). Self-driving cars: Ethical responsibilities of design engineers. *IEEE Technology and Society Magazine*, 36(2), 67-75.

Bösch, P. M., Becker, F., Becker, H. & Axhausen, K. W. (2018). Cost-based analysis of autonomous mobility services. *Transport Policy*, 64, 76-91. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.09.005>

Casado-Sanz, N., Guirao, B. & Attard, M. (2020). Analysis of the risk factors affecting the severity of traffic accidents on spanish crosstown roads: The driver's perspective. *Sustainability*, 12(6), 2237.

Chan, C. (2017a). Advancements, prospects, and impacts of automated driving systems. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 6(3), 208-216.

Chan, C. (2017b). Advancements, prospects, and impacts of automated driving systems. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 6(3), 208-216. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2017.07.008>

Cohen, S. A. & Hopkins, D. (2019). Autonomous vehicles and the future of urban tourism. *Annals of Tourism Research*, 74, 33-42. doi:<https://doi.org/10.1016/j.annals.2018.10.009>

Davidson, P. & Spinoulas, A. (2015). Autonomous vehicles: What could this mean for the future of transport.

Desai, P. & Purohit, D. (1998). Leasing and selling: Optimal marketing strategies for a durable goods firm. *Management Science*, 44(11-part-2), S19-S34.

Dikmen, M. & Burns, C. (2017). Trust in autonomous vehicles: The case of tesla autopilot and summon. (s. 1093-1098) doi:10.1109/SMC.2017.8122757

Duarte, F. & Ratti, C. (2018). The impact of autonomous vehicles on cities: A review. *Journal of Urban Technology*, 25(4), 3-18.

European Commission. (2019). Guidelines on the exemption procedure for the EU approval of automated vehicles (versio 4.1). Haettu osoitteesta <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/34802>

Fagnant, D. J. & Kockelman, K. M. (2014). The travel and environmental implications of shared autonomous vehicles, using agent-based model scenarios. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 40, 1-13. doi:<https://doi.org/10.1016/j.trc.2013.12.001>

Fagnant, D. J. & Kockelman, K. (2015). Preparing a nation for autonomous vehicles: Opportunities, barriers and policy recommendations. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 77, 167-181.

Fisher, D. L., Lohrenz, M., Moore, D., Nadler, E. D. & Pollard, J. K. (2016). Humans and intelligent vehicles: The hope, the help, and the harm. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 1(1), 56-67.

Foot, P. (1967). The problem of abortion and the doctrine of the double effect.

Forrest, A. & Konca, M. (2007). *Autonomous cars and society*. Worcester Polytechnic Institute,

Greenblatt, J. B. & Saxena, S. (2015). Autonomous taxis could greatly reduce greenhouse-gas emissions of US light-duty vehicles. *Nature Climate Change*, 5(9), 860-863.

Haboucha, C. J., Ishaq, R. & Shiftan, Y. (2017). User preferences regarding autonomous vehicles. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 78, 37-49. doi:<https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.01.010>

Hevelke, A. & Nida-Rümelin, J. (2015). Responsibility for crashes of autonomous vehicles: An ethical analysis. *Science and Engineering Ethics*, 21(3), 619-630.

Honda. (4.3.2021) Haettu osoitteesta

<https://global.honda/newsroom/news/2021/4210304eng-legend.html>

Høye, A. (2011). The effects of electronic stability control (ESC) on crashes – An update. *Accident Analysis & Prevention*, 43(3), 1148-1159. doi:<https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.12.025>

Hussain, R. & Zeadally, S. (2019). Autonomous cars: Research results, issues, and future challenges doi:10.1109/COMST.2018.2869360

Kato, S., Takeuchi, E., Ishiguro, Y., Ninomiya, Y., Takeda, K., & Hamada, T. (2015). An open approach to autonomous vehicles. *IEEE Micro*, 35(6), 60-68.

Kyriakidis, M., de Winter, J. C., Stanton, N., Bellet, T., van Arem, B., Brookhuis, K., . . . Merat, N. (2019). A human factors perspective on automated driving. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 20(3), 223-249.

Lie, A., Tingvall, C., Krafft, M. & Kullgren, A. (2006). The effectiveness of electronic stability control (ESC) in reducing real life crashes and injuries. *Traffic Injury Prevention*, 7(1), 38-43.

Litman, T. (2017). *Autonomous vehicle implementation predictions* Victoria Transport Policy Institute Victoria, Canada.

Lu, Z., Du, R., Dunham-Jones, E., Park, H. & Crittenden, J. (2017). Data-enabled public preferences inform integration of autonomous vehicles with transit-oriented development in atlanta. *Cities*, 63, 118-127. doi:<https://doi.org.ezproxy.jyu.fi/10.1016/j.cities.2017.01.004>

Luettel, T., Himmelsbach, M., & Wuensche, H. J. (2012). Autonomous ground vehicles—Concepts and a path to the future. *Proceedings of the IEEE*, 100(Special Centennial Issue), 1831-1839.

Mannering, F. L., Shankar, V. & Bhat, C. R. (2016). Unobserved heterogeneity and the statistical analysis of highway accident data. *Analytic Methods in Accident Research*, 11, 1-16. doi:<https://doi-org.ezproxy.jyu.fi/10.1016/j.amar.2016.04.001>

Matzler, K., Veider, V. & Kathan, W. (2015). Adapting to the sharing economy. *MIT Sloan Management Review*, 56(2), 71.

National Conference of State Legislatures. (2020). Autonomous vehicles | selfdriving vehicles enacted legislation. Haettu osoitteesta <https://www.ncsl.org/research/transportation/autonomous-vehiclesself-driving-vehicles-enacted-legislation.aspx>

National Research Council. (2013). *Transitions to alternative vehicles and fuels*. National Academies Press.

Nyholm, S. & Smids, J. (2018). Automated cars meet human drivers: Responsible human-robot coordination and the ethics of mixed traffic. *Ethics and Information Technology*, , 1-10.

Pomerleau, Dean A. (2018). ALVINN, an autonomous land vehicle in a neural network. Carnegie Mellon University. Journal contribution. <https://doi.org/10.1184/R1/6603146.v1>

SAE International. (2018). *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles (Standard J3016)*. Haettu osoitteesta https://saemobilus.sae.org/content/j3016_201806

Santi, P., Resta, G., Szell, M., Sobolevsky, S., Strogatz, S. H. & Ratti, C. (2014). Quantifying the benefits of vehicle pooling with shareability networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(37), 13290-13294.

Shrestha, P. P. & Shrestha, K. J. (2017). Factors associated with crash severities in built-up areas along rural highways of Nevada: A case study of 11 towns. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 4(1), 96-102. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jtte.2016.08.003>

Tachet, R., Sagarra, O., Santi, P., Resta, G., Szell, M., Strogatz, S. H. & Ratti, C. (2017). Scaling law of urban ride sharing. *Scientific Reports*, 7(1), 1-6.

Takala, P. (1.7.2013) Enää kolmannes helsinkiläisnuorista hankkii ajokortin 18-vuotiaina. *Yle*, <https://yle.fi/uutiset/3-6713092>

Teoh, E. R. & Kidd, D. G. (2017). Rage against the machine? google's self-driving cars versus human drivers. *Journal of Safety Research*, 63, 57-60. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jsr.2017.08.008>

Thrun, S. (2010). Toward robotic cars. *Communications of the ACM*, 53(4), 99-106.

Tian, R., Li, L., Chen, M., Chen, Y., & Witt, G. J. (2013). Studying the effects of driver distraction and traffic density on the probability of crash and near-crash events in naturalistic driving environment. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 14(3), 1547-1555.

Watson-Brown, N., Senserrick, T., Freeman, J., Davey, J. & Scott-Parker, B. (2021). Self-regulation differences across learner and probationary drivers: The impact on risky driving behaviours. *Accident Analysis & Prevention*, 154, 106064. doi:<https://doi-org.ezproxy.jyu.fi/10.1016/j.aap.2021.106064>

World Health Organization. (2015). Global status report on road safety 2015 World Health Organization.

World Health Organization. (2018). No title. Global Status Report on Road Safety 2018: Summary,

Xing, Y., Lv, C. & Cao, D. (2020). Chapter 1 - introduction. Teoksessa Y. Xing, C. Lv & D. Cao (toim.), *Advanced driver intention inference* (s. 1-20) Elsevier. doi:<https://doi-org.ezproxy.jyu.fi/10.1016/B978-0-12-819113-2.00001-4>

Zang, S., Ding, M., Smith, D., Tyler, P., Rakotoarivelo, T. & Kaafar, M. A. (2019). The impact of adverse weather conditions on autonomous vehicles: How rain, snow, fog, and hail affect the performance of a self-driving car. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 14(2), 103-111.