

Aalto-yliopisto
Insinööritieteiden korkeakoulu
Rakennettu ympäristö

Kandidaatintyö

Automaattisten autojen vaikutus liikenteeseen ja niiden
huomioiminen kaupunkiliikenteen suunnittelussa

3.12.2017

Tuomas Leinonen

Tekijä Tuomas Leinonen

Työn nimi Automaattisten autojen vaikutus liikenteeseen ja niiden huomioiminen kaupunkiliikenteen suunnittelussa

Koulutusohjelma Insinööritieteiden kandidaattiohjelma

Pääaine Rakennettu ympäristö**Pääaineen koodi** ENG3044

Vastuopettaja Hanna Mattila

Työn ohjaaja(t) Jouni Ojala

Päivämäärä 3.12.2017**Sivumäärä** 23**Kieli** Suomi

Tiivistelmä

Automaattisten ajoneuvojen kehitys on ollut nopeaa viime vuosina. Useat toimijat ovat tuomassa lähiaikoina markkinoille entistä kehittyneemmällä automaattisilla ajojärjestelmillä varustettuja autoja. Arviot automaation etenemisestä tulevaisuudessa vaihtelevat, mutta selvää on, että tieliikenne muuttuu sen seurauksena voimakkaasti tulevina vuosikymmeninä.

Automaattiautojen teknistä puolta on tutkittu ja kehitetty paljon, ja niiden mahdollisia liikenteellisiä vaikutuksia on myös alettu tutkia viime aikoina. Toisaalta liikennesuunnittelun kannalta niitä ei ole tutkittu lähes ollenkaan. Vaikuttaa myös siltä, että liikennesuunnitteluorganisaatiot eivät juurikaan huomioi automaattiautoja konkreettisesti. Tähän vaikuttaa muun muassa edellä mainittu tutkimustiedon puute. Tilannetta voidaan pitää huolestuttavana, sillä tänään tehtävien suunnitelmien ja päätösten vaikutus ulottuu useiden kymmenien vuosien päähän.

Tässä työssä kootaan yhteen olemassa olevaa tietoa ja pyritään muodostamaan kuva automaattiautojen vaikutuksista kaupunkiliikenteeseen. Vaikutukset ulottuvat ajoneuvojen määrän ja pysäköintipaikkojen tarpeen vähenemisestä väylien kapasiteetin kasvuun, liikenneturvallisuuden paranemiseen, negatiivisten ympäristövaikutusten pienemiseen, julkisen liikenteen edellytysten muuttamiseen ja autoilun sosioekonomisen eriarvoisuuden vähenemiseen.

Tämän lisäksi näitä vaikutuksia pohditaan liikennesuunnittelun näkökulmasta. Sen keinoin voidaan joko hidastaa tai tukea automaatiokehitystä. Automaattiautojen mahdollisia negatiivisia vaikutuksia, kuten yhdyskuntarakenteen hajauttamista voidaan hillitä esimerkiksi raideliikennettä kehittämällä. Toisaalta automaattiautot helpottavat liityntäliikennettä ja voivat näin lisäivät raideliikenteen kysyntää. Positiivisia vaikutuksia voidaan vahvistaa ja hyödyntää muun muassa ottamalla pysäköinnistä ja väyliltä vapautuvaa tilaa muuhun soveltuvaan käyttöön, tarjoamalla oikeanlaisia terminaali-alueita sekä kehittämällä liikenteenohjausta. Tärkeintä on kuitenkin panostaa suunnitelmien joustavuuteen nopeasti muuttuvassa maailmassa.

Avainsanat automaattinen ajoneuvo; automaattiauto; liikennejärjestelmä; liikennesuunnittelu; kaupunkiliikenne

Sisällysluettelo

1 Johdanto.....	1
1.1 Työn taustaa.....	1
1.2 Terminologia ja keskeiset käsitteet.....	1
1.3 Tutkimusongelma ja työn rajaus	2
1.4 Työn rakenne	3
2 Automaattiset autot.....	4
2.1 Automaattiotasot.....	4
2.2 Nykytilanne	5
2.3 Automatisoitumisen aikataulu	7
3 Vaikutukset liikenteeseen ja niiden huomiointi suunnittelussa.....	8
3.1 Autoliikenteen muutos.....	8
3.2 Kaikkien käytettävissä.....	8
3.3 Autoilun määrä	9
3.4 Vaikutus joukkoliikenteeseen.....	9
3.5 Ajoneuvojen määrä.....	10
3.6 Pysäköinti	10
3.7 Väylien kapasiteetti ja tilankäyttö	12
3.7.1 Kaista-ajo.....	12
3.7.2 Risteysajo.....	13
3.8 Liikenteenohjaus.....	14
3.9 Turvallisuus	15
3.10 Ympäristövaikutukset.....	16
4 Johtopäätökset ja keskustelu.....	17
4.1 Yhteenvedo ja johtopäätökset	17
4.2 Arvioita työn kattavuudesta ja johtopäätöksistä.....	19
4.3 Jatkotutkimusmahdollisuudet	19
5 Lähteet	20

1 Johdanto

Tässä luvussa tutustutaan ensin työn taustaan. Sitten määritellään keskeiset termit, jonka jälkeen esitellään tutkimusongelma ja työn rajaus. Lopuksi käydään läpi työn rakenne.

1.1 Työn taustaa

Automaattiautot eivät ole enää tieteisfiktiota. Viime vuosien nopea teknologinen kehitys ajoneuvojen automaatioissa on tuonut teknologian lähemmäksi todellisuutta. Monet yritykset, kuten Google ja Tesla, kehittävät omia järjestelmiään. Teknologisia, lainsäädännöllisiä ja muita ratkaistavia ongelmia on vielä paljon, mutta automaattiset ajoneuvot näyttävät toteutuvan lähitulevaisuudessa. (Davidson & Spinoulas 2015.)

Automaattisia ajoneuvoja on kehitetty ja tutkittu paljon. Niiden vaikutuksista liikennejärjestelmään on jonkin verran tutkimustietoa. Liikennesuunnittelun näkökulmasta niitä sen sijaan ei sen sijaan ole tutkittu juuri olleenkaan. (Begg 2014.)

Liikennejärjestelmiä suunniteltaessa puhutaan vuosikymmenten aikaskaalasta, ja vaikutukset ulottuvat jopa satojen vuosien päähän. Guerra (2016) on tutkinut, otetaanko ajoneuvoliikenteen automatisoituminen mitenkään huomioon yhdysvaltalaisissa kaupunkisuunnitteluorganisaatioissa (Metropolitan Planning Organization). 25:stä tutkitusta organisaatiosta yksikään ei huomionnut niitä mitenkään konkreettisesti. Kaikissa oltiin kyllä hyvin tietoisia uudesta teknologiasta. Suurimmaksi syyksi paljastui epävarmuus automaattisten autojen yleistymisen aikataulusta ja niiden vaikutuksista liikennejärjestelmään. (Guerra 2016.)

Helsingin vuoden 2016 yleiskaavassa automaattisia ajoneuvoja ei ole huomioitu mitenkään. Kaavan selostuksessa automaatio mainitaan kerran. Siinä todetaan, että niiden vaikutusta liikenteelle ja maankäytölle on mahdoton mallintaa nykylähtökohdista. (Helsingin kaupunki 2016.)

Liikenteelliset vaikutukset tulevat olemaan huomattavat. Ajoneuvoliikenteen automatisoituminen vaikuttaa esimerkiksi pysäköintiin, turvallisuuteen, liikenteen ympäristövaikutuksiin, ajoneuvojen määrään ja väylien kapasiteettiin.

1.2 Terminologia ja keskeiset käsitteet

Automaattisista ajoneuvoista julkisuudessa puhuttaessa eri termejä käytetään usein synonyymeinä. Tämä aiheuttaa sekaannuksia ja väärinkäsityksiä (Pilli-Sihvola, Miettinen, Toivonen, Sarlin, Kiiski & Kulmala 2014). Termien määrittelyssä tukeudutaan yhdysvaltalaisen autoalan standardointijärjestön SAE Internationalin, Liikenne- ja viestintäministeriön (LVM) sekä Liikenteen turvallisuusviraston (Trafi) suositteluihin määritelmiin.

SAE suosittelee erottamaan ajoneuvon ja järjestelmän kokonaan toisistaan ja käyttämään termiä *automaattinen ajojärjestelmä* (driving automation system) (SAE International 2016). Termiä käytetään tässä työssä soveltuvilta osin, mutta työn aiheesta johtuen on useimmissa yhteyksissä mielekkäämpää puhua ajoneuvosta ja ajojärjestelmästä yhtenä kokonaisuutena.

Automaattinen ajoneuvo (automated vehicle)

LVM:n ja Trafín mukaan ajoneuvo on automaattinen, jos se kykenee suoriutumaan itsenäisesti ainakin jostakin osasta ajotehtävää (Pilli-Sihvola ym. 2014; Innamaa, Kanner, Rämä & Virtanen 2015). SAE suosittelee mieluummin käyttämään termiä *automaattisella ajojärjestelmällä varustettu ajoneuvo* (driving automation system-equipped vehicle) (SAE International 2016).

Tässä työssä *automaattinen ajoneuvo* ja *automattiauto* ovat pääasiallisesti käytettävät termit. Niillä viitataan SAE:n suositusten mukaisesti ajoneuvojen automaatiotasoihin 3-5 (SAE International 2016). Automaatiotasosta kerrotaan tarkemmin työn luvussa 2.

Autonominen ajoneuvo (autonomous vehicle)

Kun ajoneuvo on täysin automaattinen (taso 5), eli se kykenee suoriutumaan kaikista ajotehtävistä täysin itsenäisesti, voidaan puhua autonomisesta ajoneuvosta (Pilli-Sihvola ym. 2014; Innamaa ym. 2015).

Robottiauto, itseajava ajoneuvo (robot car, self-driving vehicle)

Näitä termejä käytetään usein synonyyminä automaattisille ajoneuvoille. SAE kehottaa olemaan käyttämättä niitä niiden epämääräisyyden takia. (SAE International 2016.) Niille ei myöskään anneta määritelmää LVM:n ja Trafín selvityksissä (Pilli-Sihvola ym. 2014; Innamaa ym. 2015). Siksi näitä termejä ei käytetä tässä työssä.

Verkottunut ajoneuvo (connected vehicle)

Tämä tarkoittaa ajoneuvoa, joka on langattomasti yhteydessä toisiin ajoneuvoihin (V2V, vehicle-to-vehicle) ja infrastruktuuriin (V2I, vehicle-to-infrastructure) (Innamaa ym. 2015). Tällä teknologialla saavutetaan useita etuja. Turvallisuus paranee, kun ajoneuvot viestivät aikeistaan (Innamaa ym. 2015; Harding ym. 2014). Risteyssajo tehostuu, kun ajoneuvot voivat synkronoida liikkeensä (Guler, Menendez & Meier 2014). Infrastruktuuri puolestaan voi välittää ajoneuvoille hyödyllistä tietoa esimerkiksi säästä ja liikennesäänöistä (Harding ym. 2014). Verkottuneisuus on oleellinen osa automaattisia ajojärjestelmiä (Innamaa ym. 2015, Shladover 2014).

1.3 Tutkimusongelma ja työn rajaus

Työn tavoitteena on tunnistaa joitain tärkeimpiä vaikutuksia, joita automaattiautoilla on liikenteeseen, sekä pohtia, kuinka nämä vaikutukset voidaan ottaa huomioon kaupunkiliikenteen suunnittelussa. Kaksiosainen tutkimuskysymys muodostuu siten seuraavasti:

- Kuinka automaattiset autot voivat tulevaisuudessa vaikuttaa kaupunkiliikenteeseen?
- Kuinka vaikutukset voidaan huomioida kaupunkiliikenteen suunnittelussa?

Tässä työssä ei käsitellä automaattista joukko-, tavara- eikä huoltoliikennettä. Myös ajoneuvojen tekninen toiminta ja mahdolliset eettiset ja lainsäädännölliset ongelmat jäävät aiheen ulkopuolelle. Työssä ei myöskään oteta laajemmin kantaa autoilun ongelmiin eikä siihen, pitäisikö sitä yrittää vähentää. Sen syvempi tarkastelu, ottavatko eri liikennesuunnitteluorganisaatiot tulevaa muutosta huomioon, jää pois. Tämä johtuu siitä, että tutkimuksia aiheesta ei juuri ole, eikä sellaista ole mahdollista tämän työn puitteissa toteuttaa.

Kuten kohdassa 1.1 on todettu, automaattiautoja ei ole juurikaan tutkittu liikennesuunnittelun näkökulmasta. Tästä johtuen tukeudun niiden suhteen pääasiassa omiin pohdintoihini.

Työssä oletetaan, että automaattiautot ovat sähkötoimisia. Se ei ole teoriassa välttämättöntä, mutta vaikuttaa realistiselta ottaen huomioon sähköautojen nopean kehityksen. Sama oletamus on tehty useassa käyttämässäni lähteessä. Sähkömoottorin tuomia etuja ei tietenkään lasketa automaation tuomiksi eduiksi, koska nämä ominaisuudet ovat toisistaan riippumattomat.

Työtä ei ole suunnattu erityisesti kenellekään. Näkisin kuitenkin, että se voi toimia tiedonlähteenä muille opiskelijoille. Aihetta on käsitelty kirjallisuudessa hyvin vähän, varsinkin suomeksi. Lisäksi tässä työssä lähdemateriaalien ydinasiat on koottu varsin tiiviiksi kokonaisuudeksi. Se on hyvä sellaiselle, joka haluaa tutustua hieman aiheeseen, mutta ei ehdi lukea satoja sivuja tutkimuksia ja raportteja.

1.4 Työn rakenne

Työn toisessa luvussa esitellään automaattisten ajoneuvojen tasoluokitus ja tehdään katsaus teknologian nykytilaan ja ennusteisiin sen tulevasta kehityksestä. Kolmannessa luvussa käydään läpi automaattiautojen eri liikenteellisiä vaikutuksia ja jokaisen yhteydessä pohditaan mahdollisia keinoja kyseisten vaikutusten huomiointiin liikennesuunnittelussa. Neljännessä luvussa tehdään johtopäätökset, arvioidaan niitä ja työn kattavuutta sekä pohditaan jatkotutkimusmahdollisuuksia.

2 Automaattiset autot

Tässä luvussa esitellään automaatiotasot, teknologian nykytila sekä arvioita sen tulevasta kehityksestä ja automaattiautojen yleistymisestä.

2.1 Automaatiotasot

SAE International on kehittänyt kuusiportaisen järjestelmän automaatiota hyödyntävien tieliikenteen ajoneuvojen luokitteluun. Se on kehitetty selventämään ihmisten ja organisaatioiden välistä automaattisiin ajoneuvoihin liittyvää viestintää väärinymmärrysten ehkäisemiseksi (SAE International 2016). Trafi on suomentanut järjestelmän (Innamaa ym. 2015).

Taulukko 1. Tieliikenteen automaation eri tasot (SAE International 2014; Innamaa ym. 2015).

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

Tasolla 0 ajoneuvossa ei ole mitään automaattisia järjestelmiä. Tasoilla 1-2 ajoneuvossa on kuljettajaa tukevia automaattisia järjestelmiä, mutta ajoneuvo toimii vielä pääasiassa kuljettajan hallinnassa. (SAE International 2014; Innamaa ym. 2015.)

Tasosta 3 eteenpäin järjestelmällä on päävastuu ympäristön tarkkailusta, ja se suorittaa merkittävän osan ajotilanteista. Tason 5 ajoneuvo on täysin automaattinen, eli se toimii täysin itsenäisesti kaikissa tilanteissa. (SAE International 2014; Innamaa ym. 2015.) Kuten työn kohdassa 1.2 on todettu, tasoilla 3-5 puhutaan automaattisista ajoneuvoista. Lisäksi tason 5 ajoneuvoihin voidaan viitata termillä autonominen ajoneuvo.

2.2 Nykytilanne

Vuonna 2007 järjestettiin DARPA Urban Challenge Yhdysvaltain asevoimien tutkimusorganisaation toimesta. Ympäri maailmaa tulleiden joukkueiden tuli rakentaa automaattinen auto, joka kykenisi suoriutumaan täysin itsenäisesti kaupunkiympäristössä kulkevasta radasta. Ajoneuvoissa ei ollut kuljettajaa eikä niitä kauko-ohjattu. Loppukilpailuun osallistui 11 joukkuetta, joista kuusi suoriutui tehtävästä. Kilpailu osoitti, että automaattisuus on mahdollista toteuttaa käytännössä. (Darpa 2007.)



Kuva 1. Urban Challengeen voittaja-auto "Boss" (DARPA 2007).

Googlen automaattisten autojen kehityshanke (self-driving car project) alkoi vuonna 2009. Hanke kulkee nykyään nimellä *Waymo*. (Waymo 2017.) Googlen autot ovat ajaneet jo yli 3 miljoonaa kilometriä yleisillä teillä Yhdysvalloissa (O’Kane 2017; Ohnsman 2017). Googlen ajoneuvot operoivat tasoilla 3 ja 4. Ne toimivat pääosin itsenäisesti, mutta kuljettajaa tarvitaan välillä. (Blain 2017; Godsmark 2017.)



Kuva 2. Waymon Firefly (Waymo 2017).

Toinen paljon julkisuudessa ollut toimija on Tesla. Teslan *Autopilot* on ollut markkinoilla vuodesta 2015 (Ingram 2015). Tällä hetkellä sen on sanottu edustavan tason 2 automaatiota. Se tarkkailee ympäristöään ja kykenee tiettyihin toimintoihin, kuten moottoritieajoon, itsenäisesti, mutta päävastuu ajotilanteen seuraamisesta on kuljettajalla. Autopilotti luovuttaa ajoneuvon hallinnan kuljettajalle, jos ei kykene suoriutumaan tilanteesta. (Godsmark 2017.) Tähän mennessä Teslan autopilotilla on takanaan yli 200 miljoonaa kilometriä (Hull 2016).



Kuva 3. Tesla Model S (Tesla 2017).

Vuonna 2016 sattui ensimmäinen kuolemaan johtanut automaattisesti ajavan ajoneuvon kolari. Teslan autopilotti päätyi kuorma-auton perävaunun alle. Kuljettaja menehtyi. Autopilotti oli pyytänyt kuljettajaa ottamaan ohjat ennen onnettomuutta. (CNN 2017; A Tragic Loss 2016.) Automaatiota hyödyntävien ajoneuvojen turvallisuuteen palataan työn osiossa 3.9.

Taulukossa 2 on listattu joitakin tämänhetkisiä automaattiautojen kehityshankkeita. Eri yritysten hankkeiden vertailu on vaikeaa, koska ne eivät yleensä kerro julkisuuteen kovin tarkkoja tietoja hankkeistaan. Kilpajuoksu on kovaa, eikä oman projektin edistymistä tai teknisiä tietoja haluta paljastaa kilpailijoille. Siksi on vaikea sanoa, mitä automaation ta-soa hankkeet tarkalleen edustavat.

Taulukko 2. Suurten yritysten hankkeita automaattisesti ajavista autoista (Rahman, Begum & Ahmed 2015).

Yritys	Projektin nimi	Tavoitevuosi
ABI research	Self-driving	2020
Audi	Self-driving car	2020
BMW	Self-driving	2020
General Motors	Self-driving	2020
GM	Hands-free and foot-free driving	2017
Google	Self-driving	2020
Jaguar	Driverless car	2020
Mercedes-Benz	Autobahn Pilot	2016
Mobileye	Hands-free driving	2018
Nissan	Self-driving car	2018
Tesla	Autopilot	2018
Volvo	Autonomous car	2020

2.3 Automatoitumisen aikataulu

Ajoneuvoliikenteen automatoitumisen aikataulun arvioiminen on hyvin vaikeaa, koska siihen vaikuttavia epävarmuustekijöitä on niin paljon. Näitä ovat ainakin teknologian kehitysnopeus, poliittiset, lainsäädännölliset, taloudelliset ja ympäristötekijät sekä kuluttajien suhtautuminen uuteen teknologiaan. (Milakis, Snelder, Van Arem, Van Wee & Correia 2016).

Milakis ym. (2015) tekivät tutkimuksen, jolla he koettivat arvioida aikataulua Alankomaissa. He kehittivät neljä mahdollista skenaariota teknologian kehitysnopeuden ja yhteiskunnan suhtautumisen perusteella, ja pyysivät 15 eri alojen huippuasiantuntijaa arvioimaan niiden todennäköisyyttä. Epätodennäköisimpänä pidettiin hitaan kehityksen ja rajoittavan politiikan vaihtoehtoa. Skenaario, jossa kehitys on nopeaa ja yhteiskunta tukee automatoitumista, arvioitiin puolestaan kaikkein todennäköisimmäksi. Tämä tarkoittaisi, että automaattisten ajoneuvojen osuus olisi 23% vuonna 2030 ja 71% vuonna 2050. Asiantuntijat olivat melko luottavaisia arvioihinsa. (Milakis ym. 2015.)

Begg (2014) on optimistisempi, ja arvioi autonomisten autojen osuuden olevan Lontoossa 75% jo vuonna 2040. Viereckl, Ahlemann, Koster ja Jursch (2015) ennustavat osittain automaattisten ajoneuvojen tulevan markkinoille vuonna 2020 ja autonomisten 2030. Pilli-Sihvola ym. (2015) arvelevat täyden automaation tulevan 2030-luvulla ja yleistyvän laajemmin aikaisintaan vuoteen 2040 mennessä.

3 Vaikutukset liikenteeseen ja niiden huomiointi suunnittelussa

Tässä luvussa tarkastellaan automaattiautojen erilaisia liikenteellisiä vaikutuksia sekä näiden vaatimia ja mahdollistamia toimenpiteitä liikennesuunnittelussa. Jokaisessa kohdassa esitellään ensin jokin vaikutus ja sitten tarkastellaan sitä liikennesuunnittelun näkökulmasta. Tarkastelen myös sitä, milloin, suhteessa automatisoitumisen etenemiseen, vaikutukset näkyvät.

3.1 Autoliikenteen muutos

Tason 5 automaattiauto toimii käytännössä samalla tavalla kuin taksi (Innamaa ym. 2015). Se poimii matkustajan kyytiin sopivasta paikasta, kuljettaa hänet haluttuun kohteeseen ja lähtee sitten suorittamaan seuraavaa ajotehtävää (OECD 2015). Tästä johtuen automaattiautojen odotetaan lisäävän autojen jakamista (carsharing) (Begg 2014). Jo vähän alempien tasojen automaatio alkaa kilpailla nykymuotoisen taksiliikenteen kanssa (OECD 2015).

Automaattiautot sopivat erinomaisesti osaksi *MaaS*-toimintaa (Mobility as a Service, Liikkuminen palveluna). Se voi auttaa nopeuttamaan niihin siirtymistä. (Kirk 2016.)

Automaattiautoissa on potentiaalia myös matkojen jakamisen (ride-sharing) lisäämiseen. Auto voi poimia kyytiin matkustajia, jotka ovat menossa samaan suuntaan, ja jättää kunkin pois eri kohdassa matkan varrella. (Begg 2014.) Jakaminen toimii erityisen hyvin ruuhka-aikaan, kun paljon ihmisiä on liikkeellä. Se auttaa todella tehokkaasti hillitsemään ruuhkaa. (Zachariah, Gao, Kornhauser & Mufti 2013.)

3.2 Kaikkien käytettävissä

Eräs yksityisautoilun ongelmista on se, että kaikki ihmiset eivät voi ajaa autoa. Suomessa ajokortin saadakseen täytyy olla 18-vuotias. Lisäksi esimerkiksi sairaus, liikuntarajoitteisuus, kehitysvammaisuus tai vanhuuden mukanaan tuomat vaivat voivat olla este auton ajamiselle. Ajokortin hankkiminen ja auton ostaminen ja ylläpitäminen myös maksavat paljon. Tästä johtuen vähävaraisilla ei välttämättä ole mahdollisuutta autoilla.

Automaattiautojen kohdalla tilanne on erilainen. Koska tason 5 automaatiolla varustetuissa ajoneuvoissa ei tarvita kuljettajaa, sellaista voi käyttää lähes kuka tahansa. Tasolla 4 voidaan päästä samaan, jos ajoneuvo otetaan etäohjaukseen ongelmatilanteessa. Tämä vaatii, että ongelmatilanteita tulee hyvin harvoin. Alle tason 5 automaatiosta voivat joka tapauksessa hyötyä ainakin vanhukset ja liikuntavammaiset.

Kohdassa 3.1 mainitun autojen jakamisen ansiosta ajoneuvoa ei tarvitse myöskään omistaa. Tämän ansiosta automaattiautot ovat myös vähävaraisten käytettävissä.

Tänä päivänä autot ja autoilu voidaan mielestäni perustellusti nähdä epätasa-arvoisena. Se on yksi syy suosia muita liikennemuotoja autoilun kustannuksella liikennesuunnittelussa. Ajoneuvoliikenteen automatisoitumisen myötä tilanne kuitenkin muuttuu.

3.3 Autoilun määrä

Automaattiset ajojärjestelmät lisäävät matkustusmukavuutta jo nyt erilaisten ajoa avustavien toimintojen, kuten kaistavahdin ja dynaamisen vakionopeudensäätimen avulla. Tulevaisuudessa ajomukavuus tulee kasvamaan entisestään, kunnes lopulta ajoneuvoa ei tarvitse enää ajaa ollenkaan. Kaikki kyydissä olevat voivat keskittyä muihin aktiviteetteihin. Matkustusmukavuuden lisääntyminen pienentää matkavastusta ja voi johtaa päivittäisten matkojen pitenemiseen ja autoilun kulkutapaosuuden kasvamiseen. (Guerra 2016.)

Edellä mainitut tekijät voivat helposti aiheuttaa yhdyskuntarakenteen hajautumista samalla tapaa kuin henkilöautot 1900-luvulla. Tämä puolestaan johtaa edelleen autoilun lisääntymiseen ja matkojen pitenemiseen. (Guerra 2016.)

Autoilun määrän kasvua ja siitä aiheutuvaa yhdyskuntarakenteen hajautumista voidaan hillitä liikennesuunnittelun keinoin. Hyviä ovat tyypilliset autoilun hillitsemiseen käytetyt keinot, kuten väylien kapasiteetin rajoittaminen, alueiden sulkeminen autoilta sekä kävely- pyöräily ja julkisen liikenteen yhteyksien parantaminen. Yhdyskuntarakenteen hajautumiseen voidaan vaikuttaa myös suoraan kaavoituksella.

3.4 Vaikutus joukkoliikenteeseen

Automaattiautot voivat mukavuutensa, helppoutensa ja taksia muistuttavan toimintansa takia osittain korvata joukkoliikenteen. Tämä alkaa tapahtua tasoilta 3-4 alkaen. Pienemmissä kaupungeissa ne voivat tehdä perinteisestä julkisesta liikenteestä kokonaan tarpeetonta. Suuremmilla kaupunkiseuduilla ne voivat korvata ainakin harvemmillä vuoroväleillä operoivia linjoja. Runkolinjojen korvaaminen ei tule niin helposti kysymykseen. (OECD 2015.)

Erityisen hyvin automaattiautot toimivat nopean ja korkeakapasiteettisen raideliikenteen kanssa. Automaattiautot sopivat erinomaisesti liityntäliikenteeksi, sillä niitä ei tarvitse pystyä pysäköimään aseman tuntumaan. (OECD 2015.) Simuloinneissa onkin havaittu, että korkean tason automaatiolla varustettu autokanta voi lisätä raideliikenteen käyttöä (OECD 2017). Raideliikenne pystyy kilpailemaan nopeudessa ja mukavuudessa autojen kanssa linja-autoja paremmin. Se myös ehkäisee tehokkaasti yhdyskuntarakenteen hajautumista ja vähentää autoilua siellä, missä liikennemäärät ovat suurimmat. Tämä tulee huomioida kaupunkiliikenteen suunnittelussa kehittämällä raideliikennettä.

Toisaalta myös julkinen liikenne automatisoituu. Suomessa ennalta määritettyä reittiä ilman kuljettajaa ajavia automaattibusseja on testattu esimerkiksi sellaisissa hankkeissa kuin LivingLabBus, CityMobil2 ja Sohjoa. (Lumiaho & Malin 2016; Nyberg & Pikkarainen 2017.) Myös kysyntäohjautuvaa automaattista julkista liikennettä pyritään kehittämään (Heljala 2015).

3.5 Ajoneuvojen määrä

Ajoneuvoliikenteen automatisoituminen tulee vähentämään autojen määrää (OECD 2015). Automaattiautot voivat palvella yhden päivän aikana useita käyttäjiä, siinä missä tavallinen auto on yleensä vain yhden henkilön tai perheen käytössä. Lisäksi, kuten kohdassa 3.1 on todettu, automaattiautot helpottavat matkojen jakamista. Tämä vähentää tehokkaasti tarvittua ajoneuvojen määrää ruuhkatunnin aikana.

Tätä ilmiötä tasoittaa jonkin verran kohdassa 3.3 mainittu autoilun määrän lisääntyminen.

Jos kaupungissa on tarjolla korkean kapasiteetin joukkoliikennettä, laskee tarvittava ajoneuvojen määrä kaikkein eniten (OECD 2015). Uskon, että pääkaupunkiseutu voidaan katsoa tällaiseksi kaupungiksi, tai ainakin sitä voidaan kehittää siihen suuntaan.

Toinen keskeinen tekijä on matkojen jakaminen. Jos matkojen jakamisesta tulee yleistä, autojen määrä laskee entisestään. (OECD 2015.) Kuten kohdassa 3.1 on todettu, automaattiautot helpottavat matkojen jakamista. Siksi on mielestäni perusteltua olettaa, että matkojen jakaminen yleistyy automatisaation myötä.

Tärkein tekijä on automaattisten autojen osuus liikenteessä. Tilanteessa, jossa puolet autoilla tehdyistä matkoista tehdään automaattiautoilla, autojen määrä vähenee noin viidenneksen. Tällöin automaattisten autojen osuus kaikista autoista olisi alle 10%. Jos tarjolla ei ole korkean kapasiteetin joukkoliikennettä, autojen kokonaismäärä voi hieman nousta. (OECD 2015.)

Tilanteessa, jossa kaikki autot olisivat automaattisia, autojen määrä laskee kymmenesosaan nykyisestä. Ilman korkean kapasiteetin joukkoliikennettä määrä vähenee kahdeksasosaan. (OECD 2015.)

3.6 Pysäköinti

Kuten kohdassa 3.5 todettiin, autojen määrä tulee vähenemään murto-osaan nykyisestä. Tämä johtaa vähentyneeseen pysäköintipaikkojen tarpeeseen.

Automaatiota hyödyntävissä ajoneuvoissa on eri tasoilla erilaisia pysäköintiä helpottavia toimintoja. Tasoilla 0-2 nämä ovat melko yksinkertaisia pysäköintiavustimia. Tasoilla 3-4 ajoneuvo osaa pysäköidä itsensä melko itsenäisesti. Tasolla 5 ajoneuvo suoriutuu pysäköinnistä täysin itsenäisesti kaikissa tilanteissa. Tasojen 0-2 automaatiolla ei tässä yhteydessä ole juurikaan merkitystä liikennejärjestelmän kannalta. (Innamaa ym. 2015.)

Jopa 30% keskusta-alueiden liikenteestä aiheutuu siitä, kun ihmiset etsivät pysäköintipaikkaa. Automaation ja V2I-teknologian myötä tämä määrä tulee vähenemään merkittävästi. (Begg 2014.)

Automaattiauton pysäköinti toimisi seuraavalla tavalla. Auto jättää matkustajat pois sopivassa paikassa. Sen jälkeen se ajaa itsensä varsinaiselle pysäköintipaikalle. Näin matkustajat säästävät nykyisin pysäköintipaikan etsimiseen ja pysäköintiin kuluvan ajan. (Begg 2014.) Pysäköinti voi olla järjestettynä automatisoituihin laitoksiin, joissa autot nostetaan hyllyille säilöön. Tämä säästää todella paljon tilaa. (Begg 2014; Malmborg 2002.) Auto voi myös pysäköidä itsensä johonkin toiseen sijaintiin esimerkiksi edullisemman pysäköinnin perässä. Vaihtoehtoisesti se voi, mahdollistaakseen mahdollisimman nopean asiakkaiden palvelun, asemoida itsensä uudelleen esimerkiksi suhteessa siihen, missä ja miten paljon on muita autoja. Toisaalta auto voi usein pysäköimisen sijaan vastaanottaa heti uuden ajotehtävän. (OECD 2015.)

Pysäköintipaikkojen tarve alkaa laskea heti, kun korkean automaattiotason autoja alkaa tulla liikenteeseen. Yksi automaattiauto poistaa tarpeen jopa kymmenelle pysäköintipaikalle. Tilanteessa, jossa kaikki autot ovat automaattisia, jopa alle 10% nykyisestä pysäköintipaikkojen määrästä voi riittää.

Korkean tason automaattiautojen yleistymiseen on vielä sen verran aikaa, ettei pysäköintiä voida vielä tänä päivänä alkaa mitoittaa niiden mukaisesti. Liikennesuunnittelun kannalta keskeisin kysymys on, miten pysäköintipaikkoja voidaan hyödyntää sitten, kun niiden tarve alkaa vähentyä.

Kadunvarsipaikkoja ja pieniä pysäköintialueita voidaan muuttaa esimerkiksi erilaisiksi viher- ja virkistysalueiksi, pyöräily- ja jalankulkuväyliksi, joukkoliikennekaistoiksi tai pyöräpysäköintiin. Ne soveltuvat hyvin myös huolto- ja lastausalueiksi. Nykyään ajoneuvoja joudutaan usein jättämään huonoihin paikkoihin, tyypillisesti pyöräily- ja jalankulkuväylille, tähän tarkoitettujen alueiden puutteen vuoksi. Toisaalta pienet pysäköintialueet ja kadunvarsipaikat soveltuvat erinomaisesti myös paikoiksi, joissa voi nousta automaattiauton kyytiin tai pois kyydistä.

Paikoitellen voi löytyä isoja pysäköintialueita, joiden tilalle voidaan rakentaa uusia rakennuksia. Myös pysäköintitaloja voi olla mahdollista purkaa uusien rakennusten tieltä. Pysäköintihalleja voidaan mahdollisesti muuttaa varastoiksi tai jopa asuin- ja liiketiloiksi. Pysäköintihallit ovat toisaalta usein parhaita automaattiautojen pysäköintipaikkoja niiden verrattain vaikean muunneltavuuden takia.

Uusien kohteiden pysäköintiä suunniteltaessa on mahdollista toteuttaa pysäköinti niin, että tulevaisuudessa vapautuva tila voidaan hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti. Kuten edellä huomattiin, pysäköintihalleja on usein vaikea muuntaa muuhun käyttöön, ellei niitä sitten tarkoituksella suunnitella sellaisiksi. Keskitetty pysäköinti, isojen kenttien tai pysäköintitalojen muodossa, mielletään usein rumaksi. Kuten edellä on todettu, niiden etuna on kuitenkin paras muunneltavuus. Itse pidän tätä parhaana juuri siksi, että se mahdollistaa helpon täydennysrakentamisen. Kadunvarsipaikkoja ja pieniä pysäköintialueita kannattaa myös tehdä, mutta hyvin rajallisesti. Ne soveltuvat hyvin automaattiauton kyytiin tai pois kyydistä nousemiseen, mutta tällaisia paikkoja ei tarvita kovin paljoa. Pyöräpysäköintiin, pyöräkaistoille, lastausalueille ja muille vastaaville toiminnoille taas kannattaa varata erikseen tilaa jo suunnitteluvaiheessa.

3.7 Väylien kapasiteetti ja tilankäyttö

Tässä luvussa tarkastellaan ajoneuvojen vaatimaa tilaa silloin, kun ne ovat liikenteessä. Eräs yksityisautoilun ongelmista on väylien suuri tilantarve verrattuna julkiseen liikenteeseen. Tämä luku jakautuu kahteen osa-alueeseen, risteysajoon ja kaista-ajoon.

3.7.1 Kaista-ajo

Letka-ajo (platooning) tarkoittaa toimintaa, jossa automaattiset ajoneuvot asettuvat lähikäin tiiviiseen jonoon. Jonon ensimmäinen ajoneuvo ohjaa koko letkaa. (Innamaa ym. 2015.) Turvavälejä ei tarvita samalla tavalla kuin yleensä. Tämä lisää väylien kapasiteettia, sillä samalle tien osalle mahtuu enemmän ajoneuvoja. Tilanteessa, jossa liikennevirrassa on vaihtelevasti ajoneuvoja eri automaatiotasoilta, letka-ajo voi olla haasteellista. Sitä varten tarvittaisiin todennäköisesti oma kaista, jotta liikennevirta ei häiriinny. Toisaalta liikennevirran koostuessa lähes kokonaan korkean tason automaatiolla varustetuista ajoneuvoista omaa kaistaa ei tarvita. (Zhang ym. 2014). Tällaisessa tilanteessa, jossa kaikki ajoneuvot osallistuvat letka-ajoon, väylien kapasiteetti voi kasvaa jopa yli nelinkertaiseksi taajamassa (36km/h) ja noin kahdeksankertaiseksi alhaisissa maantienopeuksissa (72km/h) (Fernandes & Nunes 2010).



Kuva 4. EU SARTRE-projekti demonstroi letka-ajoa (Begg 2014).

Toinen keino tehostaa kaista-ajoa on *dynaamisesti jaettujen kaistojen* (dynamic distributed lanes) hyödyntäminen. Kaistoja ei ole, vaan ajoneuvot liikkuvat vapaasti. Tällainen liikenne mahdollistaa esimerkiksi Intiassa väylille suuremman kapasiteetin. Kaikkien ajoneuvojen ollessa saman kokoisia ja yhtä nopeita, ei tällä saavuteta merkittäviä hyötyjä. Tilanteessa, jossa väylällä on erikokoisia ja eri nopeuksilla liikkuvia ajoneuvoja, vapaasti jaetut kaistat hyödyntävät tilaa paljon tehokkaammin kuin tiukasti ennalta määritetyt kaistat. Siinä missä nykyään tällainen toimintatapa vaatii hyvin alhaiset nopeudet ja tuottaa paljon onnettomuuksia, automaattisten ajoneuvojen kohdalla tilanne on täysin erilainen. Keskenään kommunikoivat automaattiset ajoneuvot voivat jakaa väylällä olevan tilan hyvin optimaalisesti ja ajaa lähellä toisiaan kovalla vauhdilla mutta turvallisesti. (Kala & Warwick 2014)

Kaista-ajon tehostuminen tarkoittaa, että saman kokoinen väylä voi tulevaisuudessa käsitellä paljon suurempia liikennemääriä. Tämä mahdollistaa väylien pienentämisen tai liikennemäärien kasvun ilman tarvetta väylien suurentamiselle. Automaation vaikutukset

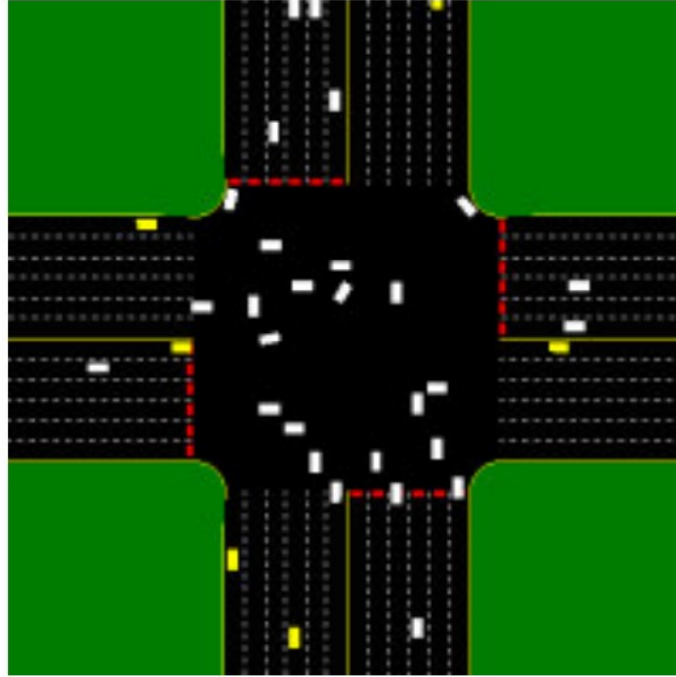
alkavat näkyä merkittävästi vasta, kun liikennevirta koostuu lähes ainoastaan automaattisista ajoneuvoista. Tästä johtuen väyliä ei voida vielä alkaa mitoittaa automaattiautojen mukaisesti. Suunnitelmissa voidaan kuitenkin huomioida, että tulevaisuudessa tilankäyttöä on mahdollista tehostaa. Olemassa olevien katujen kohdalla voidaan tehdä samanlaisia toimenpiteitä kuin kohdassa 3.6 on ehdotettu kadunvarsipysäköinnin osalta. Toisaalta, erityisesti tilanteessa jossa samaan suuntaan kulkee useampi katu, voidaan osa kaduista muuttaa esimerkiksi puistoiksi tai joukkoliikenne- tai kävelykaduiksi.

3.7.2 Risteysajo

CVIC (cooperative vehicle intersection control, yhteistoiminnallinen älykäs risteysohjaus) on konsepti, jossa verkottuneet automaattiset ajoneuvot ja risteys kommunikoivat langattomasti. Ne määrittävät sen, milloin on minkäkin ajoneuvon vuoro kulkea risteyksestä, ilman tarvetta nykyisen kaltaiselle liikenteenohjaukselle. Tällä teknologialla on mahdollista kasvattaa risteysten kapasiteettia. (Guler ym. 2014.)

Dresner ja Stone (2008) ideoivat järjestelmän risteysajon hallintaan. Siinä risteystä lähestyvät ajoneuvot lähettävät tietonsa ja pyytävät lupaa ajaa risteuksen läpi. Risteys käsittelee pyynnöt ja ennustaa ajoneuvojen liikkeen niiden lähettämien tietojen perusteella. Sitten risteys jakaa ajoneuvoille lupia ylittää risteys, niin etteivät ne törmää toisiinsa. Dresner ja Stone simuloivat erilaisia liikennetilanteita nelihaarisessa risteyksessä, jossa jokaisessa tulosuunnassa oli kolme kaistaa. Automaattisten ajoneuvojen määrän ollessa 90% liikennevirrasta, keskimääräinen aikasäästö risteyksessä oli 7% liikennevalo-ohjaukseen verrattuna. 100% kohdalla säästö oli 94%. Järjestelmän avulla risteuksen kapasiteetti kasvoi moninkertaiseksi. (Dresner & Stone 2008.)

Risteysalueiden kohdalla periaate on sama kuin väylilläkin. Risteysten kapasiteetti kasvaa, mutta vasta kun valtaosa tieliikenteen liikennesuoritteesta tulee automaattisista ajoneuvoista. Liikennemääriä voidaan lisätä tai risteyskäyttöä pienentää. Erityisesti tarve paljon tilaa vieville liikenneympyröille ja eritasoliittymille vähenee merkittävästi. Jos risteyskäyttöä halutaan pienentää, voidaan vapautuvalle tilalle kehittää samankaltaista käyttöä kuin mitä väylien kohdalla ehdotin. Toisaalta jos liikennevaloristeuksen kokoa ei pienennetä, voidaan valojen kierrossa antaa suhteessa enemmän aikaa jalankulkijoille ja pyöräilijöille.



Kuva 5. Kuvakaappaus Dresnerin ja Stonen simulaatiosta (Dresner & Stone 2008).

3.8 Liikenteenohjaus

On tärkeää, että ajoneuvo pystyy tunnistamaan tiemerkinnot ja liikennemerkit kaikissa tilanteissa. Tämä on iso ongelma talvella. (Innamaa ym. 2015.) Yksi mahdollisuus olisi, että ajojärjestelmän käyttämässä kartassa olisi kaikki tarvittava informaatio. Voitaisiin myös koettaa kehittää liikennemerkkejä, joihin lumi ei tartu niin helposti, joskin tätä on varmasti jo pitkään yritetty. Kolmas vaihtoehto on hyödyntää V2I-yhteyksiä. Liikennemerkeissä, rakennuksissa tai tasaisin väliajoin tien sivussa olevissa tolmissa voisi olla kiinni älykkäitä laitteita, jotka välittävät lähellä oleville ajoneuvoille tarvittavan liikenteenohjausinformaation.

Jotta edellä ja kohdassa 3.7 mainittu infrastruktuurin ja ajoneuvojen välinen kommunikatio olisi mahdollista, tulee kehittää toimintamalleja, protokollia ja standardeja viestien välitykseen. Järjestelmien pitää ymmärtää toisiaan. Joitakin alustavia standardeja on jo olemassa, mutta lisää kehitystyötä tarvitaan (Alonso ym. 2017; ETSI 2009). Näissä asioissa olisi varmasti hyödyksi tehdä yhteistyötä automaattisten ajojärjestelmien kehittäjien kanssa, joskin tämä kuuluu pääasiassa tavallisia liikennesuunnitteluorganisaatioita ylempälle julkiselle toimijalle.

3.9 Turvallisuus

Noin 90% vakavista tieliikenneonnettomuuksista aiheutuu ihmisen tekemistä virheistä (Begg 2014). Automaattisilla ajoneuvoilla onkin mahdollista parantaa turvallisuutta merkittävästi (OECD 2015).

Automaatiotasoilla 0-2 erilaiset ajoa helpottavat ja avustavat toiminnot voivat parantaa turvallisuutta. Kaistavahti ja dynaaminen vakionopeudensäädin vähentävät ylinopeuksia, peräänajoja, ketjukolareita ja tieltä suistumisia. Tieliikenteessä kuolleiden määrä voi vähentyä 10-15%. (Innamaa ym. 2015.)

Tasoilla 3-5 turvallisuus alkaa parantua merkittävästi (Innamaa ym. 2015). Älykäs risteys- ja kaista-ajo vähentävät onnettomuuksia (Dresner & Stone 2008; Lee, Park, Malakorn & So 2012). V2V ja V2I yhteydet mahdollistavat tehokkaan vaaratilanteiden ennustamisen ja välttämisen (Harding ym. 2014). Tekoäly ei myöskään väsy, tylsisty, aja päihitteiden vaikutuksen alaisena, ota turhia riskejä tai turruta ärsykkeisiin kuten ihminen (Fagnant & Kockelman 2015). Kuolleiden määrä vähentyisi mahdollisesti noin 80% (Innamaa ym. 2015).

Automatisoitumiseen liittyy kuitenkin myös turvallisuusriskejä. Tasoilla 2-4 ajoneuvo kykenee suoriutumaan itsenäisesti jo osasta, mutta ei vielä kaikista ajotehtävistä. Tällöin on olemassa riski, että kuljettaja ei olekaan valmis ottamaan ajoneuvoa hallintaansa, kun tilanne sitä vaatii (Innamaa ym. 2015). Tästä johtui työn kohdassa 2.2 mainittu Teslan Autopilotin kuolemaan johtanut onnettomuus. Google lopetti välillä kuljettajan väliintuloa vaativan automaation kehittämisen, kun vuonna 2013 testiajaja nukahti rattiin (Reuters 2017). Mielestäni ainakin tason 3 automaation mielekkyys voidaan tämän takia kyseenalaistaa. Voi olla, että tasolta 1 tai 2 pitäisi hypätä suoraan tasolle 4 tai 5.

Muita turvallisuusriskejä voivat olla esimerkiksi

- sensorien toiminta huonossa säässä kuten vesi- tai lumisateessa,
- turvallisuuden tunteen lisääntymisestä aiheutuva riskien ottaminen ja turvavöiden käyttämättä jättäminen,
- tietokoneen järjestelmävirhe, sekä
- tietoturva (Innamaa ym. 2015).

On vaikea sanoa tarkkaan, millainen vaikutus automaattisilla ajoneuvoilla tulee olemaan liikenneturvallisuuteen. Kun liikenteessä on sekaisin eri automaatiotasoilla olevia ajoneuvoja, varsinkin tasoilta 2-4, voi vaikutus turvallisuuteen olla mahdollisesti jopa negatiivinen. Tasojen 4 ja 5 yleistyessä turvallisuus kuitenkin paranee huomattavasti. Liikennettä suunniteltaessa tämä kannattaa pitää mielessä ja tilanteen kehitystä kannattaa seurata. Esimerkiksi fyysisten, turvallisuutta lisäävien rakenteiden olemassaolo on hyvä asia varmuuden vuoksi. On kuitenkin mahdollista, että joskus tulevaisuudessa näistä voidaan luopua.

3.10 Ympäristövaikutukset

Automaattisilla ajoneuvoilla on mahdollista vähentää ajoneuvoliikenteen negatiivisia ympäristövaikutuksia merkittävästi. Koska energiankulutus on suoraan sidoksissa päästöihin, on sitä helppo käyttää ympäristöystävällisyyden mittarina. (Fagnant & Kockelman 2014.) Letka-ajo vähentää ajoneuvoihin kohdistuvaa ilmanvastusta ja sitä kautta energiankulutusta (Chan 2014). Ilmiö on sama kuin esimerkiksi kurkiaurassa. Älykäs risteys-ohjaus vähentää jarrutuksia ja kiihdytyksiä ja näin osaltaan pienentää energiankulutusta (Guler ym. 2014). Tasainen ajoneuvoisuus tuottaa myös vähemmän melua (Innamaa ym. 2015). Sitä, millaiset automaattiautojen energiankulutus ja päästöt tulevat olemaan, on vaikea arvioida tarkasti vielä tässä vaiheessa. Ne tulevat joka tapauksessa olemaan huomattavasti nykyautoja pienemmät.

Kuten kohdassa 3.1 on todettu, automaattiautojen yleistymisen lisää matkojen jakamista. Tällä on luonnollisesti positiivinen vaikutus ympäristöön.

Tärkein ajoneuvojen ympäristöystävällisyyteen vaikuttava tekijä on voimanlähde (OECD 2015). Polttomoottori saastuttaa paljon enemmän kuin sähkömoottori, olettaen että sähkö on tuotettu ympäristöystävällisesti. Sähkömoottori ei kuitenkaan ole automaation edellytys. Sähkömoottorien kehittyessä on kuitenkin syytä olettaa tulevaisuuden automaattisten ajoneuvojen olevan sähkötoimisia.

Automaattiautot saattavat kuitenkin myös lisätä päästöjä. Entistä useampi ihminen saattaa siirtyä autoilemaan sen helpottuessa ja väylien kapasiteetin kasvaessa. Se, että ajon aikana ei tarvitse keskittyä ajamiseen vaan voi tehdä mitä haluaa, saattaa lisätä esimerkiksi ihmisten halukkuutta kulkea pitkää työmatkaa ja näin johtaa matkustussuoritteiden kasvuun. Nämä tekijät ja niistä aiheutuva yhdyskuntarakenteen hajautuminen voivat vähentää tai jopa kumota automaattiautojen ympäristöystävällisyyden. (Begg 2014.)

Automaattisissa ajoneuvoissa on potentiaalia liikenteen ympäristövaikutusten vähentämiseen. Toisaalta ne voivat johtaa ajoneuvoliikenteen ympäristövaikutusten kasvuun yhdyskuntarakenteen hajautumisen kautta. Liikennesuunnittelun keinoin kannattaa edesauttaa ajoneuvoliikenteen automatisoitumista esimerkiksi tarjoamalla hyviä paikkoja kyytiin ja pois kyydistä nousemiseksi sekä muutosta haittaavia rajoituksia ja normeja purkamalla. Samalla pitää kuitenkin pitää huoli, ettei yhdyskuntarakenteen hajautuminen tapahdu. Keinoja tähän on esitelty kohdassa 3.3.

4 Johtopäätökset ja keskustelu

Tässä luvussa esitellään ensin työn johtopäätökset. Sitten arvioidaan työn kattavuutta sekä johtopäätöksiä ja tarkastellaan jatkotutkimusmahdollisuuksia.

4.1 Yhteenvedo ja johtopäätökset

Automaattiautot ovat kehittyneet nopeasti viime vuosina. Kehityksen kärjessä vaikuttavat olevan Google ja Tesla. Moni perinteinen autoteollisuuden yritys kehittää myös automaattisia ominaisuuksia. Tällä hetkellä edistyneimmät kaupalliset ajoneuvot edustavat automaation tasoa 2. Teknologian tulevasta kehityksestä on erilaisia arvioita. Ensi vuosikymmenelle tullessa markkinoilla on varmasti jo entistä useampia automaatiota hyödyntäviä ajoneuvoja. Tasojen 3 ja 4 automaattiset ajoneuvot yleistyvät varmaankin 2020- ja 30-luvuilla. Täysin automaattisten tasolla 5 operoivien eli autonomisten autojen yleistyminen tapahtuu mahdollisesti 2040-luvulla. Joskus vuosisadan vaihteen jälkeen voimme päästä tilanteeseen, jossa kaikki ajoneuvot ovat autonomisia, ja ihminen auton kuljettajana jää historiaan.

Automaattiautoja on tutkittu paljon. Myös niiden vaikutuksia liikenteeseen on tutkittu jonkin verran, joskin paljon vähemmän. Liikennesuunnittelun näkökulmasta niitä sen sijaan ei ole tarkasteltu juuri ollenkaan. Pääsyy tähän vaikuttaa olevan epävarmuus teknologisen kehityksen suunnasta ja aikataulusta sekä liikennejärjestelmään kohdistuvista vaikutuksista. Tilanteessa voidaan nähdä tiettyjä yhteneväisyyksiä yksityisautoilun yleistymiseen. Yhteiskunta ei silloinkaan ollut varautunut tarpeeksi hyvin tulevaan muutokseen. Koska liikennejärjestelmiä suunniteltaessa puhutaan vuosikymmenten aikaskaalasta, tulisi automaattiautot ottaa huomioon no nykyään.

Autoilu tulee muuttumaan täysin seuraavien vuosikymmenten aikana. Nykyisenlaisen yksityisautoilun tilalle tulee helpon matkojen jakamisen mahdollistava automaattitakseista koostuva dynaaminen järjestelmä. Autoilun sosiaalinen ja taloudellinen tasa-arvoisuus paranee, kun ei tarvitse olla omaa autoa eikä olla kykeneväinen ajamaan sitä itse.

Automatisoituminen lisää autoilun mukavuutta ja houkuttelevuutta, kun ajojärjestelmä hoitaa entistä suuremman osan ajamisesta. Tämä voi johtaa sen kulkutapaosuuden kasvuun ja päivittäisten matkojen pitenemiseen. Tämä puolestaan voi potentiaalisesti aiheuttaa yhdyskuntarakenteen hajautumista. Tätä voidaan ehkäistä esimerkiksi väylien kapasiteettia rajoittamalla, joukkoliikennettä, kävelyä ja pyöräilyä suosivalla liikennesuunnittelulla sekä muilla autoilua vähentävillä toimenpiteillä.

Perinteisen kaltainen linja-autoliikenne ei vaikuta kovin kilpailukykyiseltä liikennemuodolta automaattisten ajoneuvojen aikakaudella, ja automaattiautot varmaankin osittain korvaavat sen. Kutsuhjautuvien automaattibussien kehittäminen automaattiautojen rinnalle tulee asteittain häivyttämään yksityisautoilun ja joukkoliikenteen välisen eron.

Ajoneuvojen määrä tulee laskemaan voimakkaasti, kun tasoilla 4 ja 5 operoivat ajoneuvot yleistyvät. Yksi ajoneuvo voi korvata jopa yli kymmenen perinteistä autoa. Pysäköintipaikkojen tarve vähenee myös hyvin paljon. Pysäköintipaikkoja voidaan muuntaa esimerkiksi pyörä- tai joukkoliikennekaistoiksi, viheralueiksi tai monissa paikoissa kipeästi kaivatuiksi huolto- ja lastausalueiksi. Pysäköintitalojen ja isompien kenttien paikalle voidaan tuoda täydennysrakentamista. Siksi niitä tulisi myös suosia uusien kohteiden pysäköintiä suunniteltaessa.

Väylien kapasiteetti voi jopa moninkertaistua automaattisten ajojärjestelmien avulla. Tämä tosin vaatii lähes 100%:sti korkeasti automatisoiduista ajoneuvoista koostuvan ajoneuvokannan. Kapasiteetin lisääntyminen mahdollistaa liikennemäärien kasvun ilman tarvetta väylien laajentamiselle tai väylien pienentämisen. Vapautuvaa maata voidaan hyödyntää samalla tavalla kuin pysäköinnin kohdalla.

Liikenneturvallisuus kasvaa, sillä automaattiauto ei tee inhimillisiä virheitä. Toisaalta järjestelmävirheet ja tietoturvaohut voivat vaarantaa turvallisuuden. Myös tilanteet, joissa tasojen 2-4 automaatiolla varustettu ajoneuvo pyytää kuljettajaa ottamaan ajoneuvon hallinnan, voivat olla vaarallisia. Vaikka turvallisuus kokonaisuutena kasvaneen merkittävästi, en nykytiedon valossa näkisi järkevänä liikenneinfrastruktuurin turvallisuutta lisäävien fyysisten rakenteiden vähentämistä.

Automaattiautot voivat vähentää huomattavasti autoilusta aiheutuvia negatiivisia ympäristövaikutuksia. Tasaisempi ajo vähentää energiankulutusta, päästöjä ja melua. Automaatio myös helpottaa matkojen jakamista, jolla on positiivinen vaikutus ympäristöön, samoin kuin infrastruktuurin tilantarpeen vähenemisellä. Toisaalta mahdollinen autoilun lisääntyminen ja yhdyskuntarakenteen hajautuminen voivat lisätä ympäristövaikutuksia.

Kokonaisuutena autojen automatisoitumisen vaikutukset näyttävät hyvin positiivisilta. Liikennesuunnittelun keinoin voidaan maksimoida positiiviset vaikutukset. Lähivuosien tärkeimpiä keinoja tähän näen helpon tilankäytön muuttamisen mahdollistavien pysäköintiratkaisujen suosimisen, liikenteenohjauksen kehittämisen ja tilavarausten tekemisen automaattiautojen kyytiin ja pois kyydistä nousemiseen tarkoitetuille paikoille.

Liikennesuunnittelulla voidaan myös hillitä negatiivisia vaikutuksia, joista tärkeimmät ovat autoilun lisääntyminen ja yhdyskuntarakenteen hajautuminen. Näihin auttavat samat keinot kuin nykymuotoisenkin autoilun hillintään, eli esimerkiksi väylien kapasiteetin rajoittaminen. Hyvä keino on myös julkiseen liikenteeseen, erityisesti nopeisiin korkean kapasiteetin raideyhteyksiin panostaminen. Se vähentää tarvetta autoilulle, ja toisaalta automaattiautot toimivat erinomaisesti syöttöliikenteenä.

Hyödyllistä olisi varmasti myös tiivis yhteistyö ajoneuvojen kehittäjien kanssa. Tämä voisi helpottaa automaattiautojen pääsemistä kiinteäksi osaksi liikennejärjestelmää. Eri-tyisen hyödyllistä yhteistyötä olisi liikenteenohjaukselta sekä V2I-yhteyksiin liittyviä standardeja ja toimintamalleja ajatellen.

Kaikkein tärkeintä lienee kuitenkin suunnitelmien joustavuus. Paitsi automaattiset ajoneuvot, myös muut liikkumiseen vaikuttavat teknologiat ja koko yhteiskunta kehittyvät nopeasti, joten on tärkeää, että liikennejärjestelmä pystyy sopeutumaan erilaisiin muutoksiin mahdollisimman hyvin.

4.2 Arvioita työn kattavuudesta ja johtopäätöksistä

Työn aihe on niin laaja, ettei erilaisten vaikutusten tarkastelussa ole päästy kovin syvälle. Tarkempi tarkastelu olisi ollut hyväksi, mutta se ei olisi ollut mahdollista kandidaatintyön laajuuden puolesta. Työn tekoprosessin aikana aihetta on jouduttu muutenkin jo rajamaan tarkemmin tärkeinä pitämieni asioiden mahdollisimman perusteellisen käsittelemisen mahdollistamiseksi.

Osittain aiheen laajuudesta johtuen johtopäätökset ovat melko pintapuoliset ja ehkä jopa osittain itsestään selvät. Toinen syy on se, että automaattisia ajoneuvoja ei ole kirjallisuudessa käsitelty liikennesuunnittelun näkökulmasta juuri ollenkaan. Siksi päätelmät ja ehdotukset perustuvat pitkälti omiin pohdintoihini. Tästä johtuen johtopäätökset eivät välttämättä ole kovin hyviä, joskin uskon niiden olevan vähintään oikean suuntaisia.

4.3 Jatkotutkimusmahdollisuudet

Automaattiautojen ja liikennesuunnittelun suhteesta löytyy paljon asioita, joita voisi tutkia lisää. Tämän työn teemoja voisi suoraan syventää tutkimalla tarkemmin erilaisia mahdollisia tapoja, joilla automaattiautot voivat vaikuttaa liikennejärjestelmään. Kun niistä olisi enemmän tietoa, voitaisiin perusteellisemmin pohtia keinoja huomioida ne liikennesuunnittelussa. Mielenkiintoista olisi myös paneutua mahdollisuuksiin nopeuttaa automaattiautoihin siirtymistä liikennesuunnittelun keinoin. Näiden tietojen perusteella voitaisiin koostaa jonkinlainen ohjeistus tai käsikirja liikennesuunnitteluorganisaatioita varten.

Toinen mahdollisuus olisi tutkia tarkemmin eri liikennesuunnitteluorganisaatioiden suhdetta automaattiautoihin Suomessa ja maailmalla. Voitaisiin myös selvittää, kuinka tietoisia tulevasta muutoksesta ollaan, kuinka tärkeänä asiana se koetaan, ja ollaanko se jopa huomioitu jotenkin konkreettisesti suunnittelussa.

5 Lähteet

Alonso, I. & Gonzalo, R. & Alonso, J. & García-Morcillo, Á. & Fernández-Llorca, D. & Sotelo, M. 2017. The Experience of DRIVERTIVE - DRIVERless cooperative Vehicle-Team in the 2016 GCDC. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems [Verkköjulkaisu]. Vol. PP:99. [Viitattu 3.12.2017.] ISSN: 1558-0016. Saatavissa: DOI: 10.1109/TITS.2017.2749963.

A Tragic Loss. 2016. The Tesla Team [Blogi]. [Viitattu 3.12.2017.] Saatavissa: <<https://www.tesla.com/blog/tragic-loss>>.

Begg, D. 2014. A 2050 vision for London: What are the implications of driverless transport. Clear Channel. [Viitattu 3.12.2017.] Saatavissa: <<http://www.transporttimes.co.uk/reports.php>>.

Blain, L. 2017. Self-driving vehicles: What are the six levels of autonomy? New Atlas, Automotive, 8.6.2017. [Viitattu 2.12.2017.] Saatavissa: <<https://newatlas.com/sae-autonomous-levels-definition-self-driving/49947/>>.

CNN. 2017. Driver killed in Tesla crash was warned seven times to put hands on wheel [Verkkouutinen]. 21.6.2017. [Viitattu 3.12.2017.] Saatavissa: <<http://money.cnn.com/2017/06/20/technology/tesla-autopilot-fatal-crash-warnings/index.html>>.

Darpa 2007. DARPA Urban Challenge [Verkkosivu]. [Viitattu 3.12.2017.] <<http://archive.darpa.mil/grandchallenge/>>.

Davidson, P. & Spinoulas, A. 2015. Autonomous vehicles – what could this mean for the future of transport? AITPM 2015 National Conference. 15 s. [Viitattu 3.12.2017.] Saatavissa: <<http://transposition.com.au/papers/AutonomousVehicles.pdf>>.

Dresner, K. & Stone, P. 2008. A Multiagent Approach to Autonomous Intersection Management. Journal of Artificial Intelligence Research 31/2008. [Viitattu 3.12.2017.] Saatavissa: <<http://www.jair.org/media/2502/live-2502-3761-jair.pdf>>.

ETSI. 2009. ETSI ES 202 663 V1.1.0 (2009-11). Intelligent Transport Systems (ITS): European profile standard for the physical and medium access control layer of Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz frequency band. DES/ITS-0040015. Saatavissa: <http://www.etsi.org/deliver/etsi_es/202600_202699/202663/01.01.00_50/es_202663v010100m.pdf>.

Fagnant, D. & Kockelman, K. 2014. The travel and environmental implications of shared autonomous vehicles, using agent-based model scenarios. Transportation Research Part C: Emerging Technologies [Verkkolehti]. Vol. 40, S. 1–13. [Viitattu 3.12.2017.] Saatavissa: <<https://doi.org/10.1016/j.trc.2013.12.001>>.

Fagnant, D. & Kockelman K. 2015. Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations. Transportation Research Part A: Policy and Practice [Verkkolehti]. Vol. 77, S. 167-181. [Viitattu 14.10.2017.] Saatavissa: <<https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.04.003>>.

Fernandes, P. & Nunes, U. 2010. Platooning of Autonomous Vehicles with Intervehicle Communications in SUMO Traffic Simulator. Conference paper of 13th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems. S. 1313-1318. ISSN: 2153-0017. DOI: 10.1109/ITSC.2010.5625277.

Godsmark, P. 2017. The Definitive Guide to the Levels of Automation for Driverless Cars. Wonder How To, Driverless, 10.4.2017. [Viitattu 3.12.2017.] Saatavissa: <<https://driverless.wonderhowto.com/news/definitive-guide-levels-automation-for-driverless-cars-0176009/>>.

Guerra, E. 2016. Planning for Cars That Drive Themselves: Metropolitan Planning Organizations, Regional Transportation Plans, and Autonomous Vehicles. Journal of Planning Education and Research [Verkkolehti]. Vol. 36:2, S. 210-224. [Viitattu 27.9.2017.] ISSN: 0739456X. Saatavissa: DOI: 10.1177/0739456X15613591.

Guler, S. & Menendez, M. & Meier, L. 2014. Using connected vehicle technology to improve the efficiency of intersections. Transportation Research Part C: Emerging Technologies [Verkkolehti]. Vol. 46, S. 121-131. [Viitattu 14.10.2017.] ISSN: 0968-090X. Saatavissa: <<https://doi.org/10.1016/j.trc.2014.05.008>>.

Harding, J. & Powell, G. & Yoon, R. & Fikentscher, J. & Doyle, C. & Sade, D. & Lukuc, M. & Simons, J. & Wang, J. 2014. Vehicle-to-vehicle communications: Readiness of V2V technology for application. Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration. Report No. DOT HS 812 014. [Viitattu 14.10.2017.]

Heljala, H. 2015. Tulevaisuuskuva kysyntäohjautuvan autonomisen tieliikenteen tilauspalvelusta. HSL Helsingin seudun liikenne, julkaisuja 4/2015 [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 3.12.2017.] ISSN: 978-952-253-250-3. Saatavissa: <https://www.hsl.fi/sites/default/files/uploads/tulevaisuuskuva_kysyntaohjautuvan_autonomisen_tieliikenteen_tilauspalvelusta.pdf>.

Helsingin kaupunki. 2016. Tarkistetun yleiskaavaehdotuksen selostus: Kaupunkikaava – Helsingin uusi yleiskaava. Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston yleissuunnitteluosaston selvityksiä 2016:3. [Viitattu 3.12.2017.] Saatavissa: <<http://www.yleiskaava.fi/yleiskaava/aineistot/>>.

Hull, D. 2016. The Tesla Advantage: 1.3 Billion Miles of Data. Bloomberg, Technology, 20.12.2016. [Viitattu 3.12.2017.] Saatavissa: <<https://www.bloomberg.com/news/articles/2016-12-20/the-tesla-advantage-1-3-billion-miles-of-data>>.

Ingram, A. 2015. Tesla launches Autopilot function, won't build 'boring autonomous pods'. Evo, 14.10.2015. [Viitattu 3.12.2017.] Saatavissa: <<http://www.evo.co.uk/tesla/model-s/16811/tesla-launches-autopilot-function-won-t-build-boring-autonomous-pods>>.

Innamaa, S., Kanner, H., Rämä, P. & Virtanen, A. 2015. Automaation lisääntymisen vaikutukset tieliikenteessä. Trafín tutkimuksia [Verkkajulkaisu]. Vol: 01/2015. 78 s. [Viitattu 3.12.2017]. ISSN: 2342-0294. Saatavissa: <https://www.trafi.fi/filebank/a/1461576365/fdb4c6b311fb1da01cf40bdf8fd33b5c/20473-Trafi_tutkimuksia_01-2015_-_Automaattiajaminen.pdf>.

- Kala, R. & Warwick, K. 2014.** Dynamic distributed lanes: motion planning for multiple autonomous vehicles. *Applied Intelligence* [Verkkolehti]. Vol 41:1, S. 260-281. [Viitattu 3.12.2017.] ISSN: 1573-7497. Saatavissa: <<https://doi.org/10.1007/s10489-014-0517-1>>.
- Kirk, B. 2016.** Business opportunities in automated vehicles. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*. Vol. 4/2016, S. 4-6. [Viitattu 3.12.2017.] Saatavissa: <<https://doi.org/10.1139/juvs-2015-0038>>.
- Lee, J. & Park, B. & Malakorn, K. & So, J. 2012.** Sustainability assessments of cooperative vehicle intersection control at an urban corridor. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* [Verkkolehti]. Vol 32, S. 193-206. [Viitattu 3.12.2017.] Saatavissa: <<https://doi.org/10.1016/j.trc.2012.09.004>>.
- Lumiaho, A. & Malin, F. 2016.** Tieliikenteen automatisoinnin etenemissuunnitelma ja toimenpideohjelma 2016-2020. Liikennevirasto, liikenne ja tieto -toimiala. Helsinki 2016. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 19/2016 [Verkkajulkaisu]. 82 s. [Viitattu 3.12.2017.] ISSN: 1798-6664. Saatavissa: <https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lts_2016-19_tieliikenteen_automatisoinnin_web.pdf>.
- Malmberg, C. 2002.** Conceptualizing tools for autonomous vehicle storage and retrieval systems. *International Journal of Production Research* [Verkkolehti]. Vol 40:8, S. 1807-1822. [Viitattu 3.12.2017.] ISSN: 1366-588X. Saatavissa: DOI: 10.1080/00207540110118668.
- Milakis, D. & Snelder, M. & Van Arem, B. & Van Wee, B. & Correia, G. 2016.** Scenarios about development and implications of automated vehicles in the Netherlands. 95th Annual Meeting Transportation Research Board, Washington, USA. 17 s. [Viitattu 3.12.2017.] Saatavissa: <uuid:73c7454f-d9dc-4c5d-ab42-1d7df1627196>.
- Nyberg, J. & Pikkarainen, M. 2017.** Kokemuksia robottibussin ja muun liikenteen vuorovaikutuksesta Otaniemessä. *Tie&Liikenne* [aikakauslehti]. Vol 1/2017, S. 22-24.
- OECD. 2015.** Urban Mobility System Upgrade: How shared self-driving cars could change city traffic. *International Transport Forum*. [Viitattu 3.12.2017.] Saatavissa: <<https://www.itf-oecd.org/urban-mobility-system-upgrade-1>>.
- OECD. 2017.** Transition to Shared Mobility: How large cities can deliver inclusive transport services. *International Transport Forum*. [Viitattu 3.12.2017.] Saatavissa: <<https://www.itf-oecd.org/transition-shared-mobility>>.
- Ohnsman, A. 2017.** Morgan Stanley Sees A \$70 Billion Self-Driving Startup In Alphabet's Waymo. *Forbes, Tech*, 23.5.2017. [Viitattu 3.12.2017.] Saatavissa: <<https://www.forbes.com/sites/alanohnsman/2017/05/23/morgan-stanley-sees-a-70-billion-self-driving-startup-in-alphabets-waymo/#4cbc5a64755b>>.
- O'Kane, S. 2017.** Waymo's self-driving cars are racking up miles faster than ever. *The Verge*, 10.5.2017. [Viitattu 3.12.2017.] Saatavissa: <<https://www.theverge.com/2017/5/10/15609844/waymo-google-self-driving-cars-3-million-miles>>.

Pilli-Sihvola E. & Miettinen K. & Toivonen K. & Sarlin L. & Kiiski K. & Kulmala R. 2014. Robotit maalla, merellä ja ilmassa. Liikenteen älykkään automaation edistämissuunnitelma. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja [Verkkajulkaisu]. Vol. 7/2015. [Viitattu 14.10.2017.] ISBN 978-952-243-456-2. Saatavissa: <<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-456-2>>.

Rahman, H. & Begum, S. & Ahmed, M. 2015. Driver Monitoring in the Context of Autonomous Vehicle. Thirteenth Scandinavian conference on artificial intelligence. [Verkkajulkaisu]. Netherlands: IOS Press. S. 108-117. [Viitattu 14.10.2017.] ISBN: 978-1-61499-589-0.

Reuters. 2017. Google ditched autopilot driving feature after test user napped behind wheel [Verkkouutinen]. 31.10.2017. [Viitattu 3.12.2017.] Saatavissa: <<https://uk.reuters.com/article/uk-alphabet-autos-self-driving/google-ditched-autopilot-driving-feature-after-test-user-napped-behind-wheel-idUKKBN1D00QM>>.

SAE International. 2014. Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems. J3016_201401. 12 s. [Viitattu 14.10.2017.] Saatavissa: <http://standards.sae.org/j3016_201401/>.

SAE International. 2016. Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems. J3016_201609. 12 s. [Viitattu 14.10.2017.] Saatavissa: <http://standards.sae.org/j3016_201609/>.

Shladover, S. 2014. Presentation of Steven Shladover, University of California, PATH. IBEC session 7.9.2014, ITS World Congress, Detroit.

Tesla. 2017. Tesla [Verkkosivu]. [Viitattu 3.12.2017.] <<https://www.tesla.com/>>.

Viereckl, R. & Ahlemann, D. & Koster, A. & Jursch, S. 2015. Connected Car Study 2015: Racing ahead with autonomous cars and digital innovation. Strategy&. 17 s. [Viitattu 3.12.2017.] Saatavissa: <http://www.inovasyon.org/pdf/Richard.Viereckl_et%20al._Connected.Car.Study_Sept.2015.pdf>.

Waymo. 2017. Waymo [Verkkosivu]. [Viitattu 3.12.2017.] <<https://waymo.com/>>.

Zachariah, J. & Gao, J. & Kornhauser, A. & Mufti, T. 2013. Uncongested mobility for all: A proposal for an areawide autonomous taxi system in New Jersey. Proceedings of Transportation Research Board Annual Meeting, Washington D.C.

Zhang, W. & Chan, C. & Misener, J. & Zhou, K. & Tan, H. & Li, J. 2014. Deployment challenges for truck platooning. Proceedings of ITS World Congress, Detroit. 12 s.