

Juho Peltoniemi

TIEKULJETUSTEN AUTOMAATIO

Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Kandidaatin työ
Toukokuu 2019

TIIVISTELMÄ

Juho Peltoniemi: Tiekuljetusten automaatio (Road freight transport automation)
Kandidaatin työ
Tampereen yliopisto
Tuotantotalouden kandidaatin tutkinto-ohjelma
Pääaine: Tuotantotalous
Tarkastaja: Johanna Kirjavainen
Toukokuu 2019

Tämän kandidaatintyön tarkoituksena oli tutkia tiekuljetusten automaatiota ja sen mahdollisia vaikutuksia tulevaisuudessa. Työn tutkimusmetodina käytettiin kirjallisuuskatsausta. Tarkoituksena oli kerätä yhteen alaan liittyvää tutkimusta ja lähteiden luotettavuutta arvioitiin viittauksien lukumäärän sekä kirjoittajien taustojen avulla.

Työn alussa tutkittiin tarkemmin tiekuljetusten nykytilaa ja merkitystä, jotta lukijalle muodostuisi käsitys aiheen taustasta. Tiekuljetusten rooli kuljetusmarkkinoilla on kasvanut valtavasti viimeisten vuosikymmenien aikana ja tiekuljetukset ovat kehittyneet kovan kilpailun seurauksena tehokkaaksi kuljetusmuodoksi. Samalla tutkittiin myös tiekuljetuksiin liittyviä ongelmia, jotta kehittämistarpeet ymmärrettäisiin paremmin. Esimerkiksi alan runsas energiankäyttö vaikuttaa globaaliin ilmastoon negatiivisesti ja kasvavat polttoainekustannukset aiheuttavat alalle harmia.

Työn seuraavassa vaiheessa tutkittiin tarkemmin tiekuljetusten automaation toteuttamista. Automaatio on muuttanut jo useita aloja pysyvästi, mutta tiekuljetusten tapauksessa murros on vasta edessä. Alan tutkimuksessa korostui erityisesti letka-ajo sovelluksen hyödyntäminen tiekuljetuksissa. Letka-ajo tulee olemaan ensimmäinen tiekuljetusten automaatioosovellus, sillä se vaatii vain osittaista automaatiota. Sitä on tutkittu paljon myös käytännön kokeissa, mutta kehitystyö on vielä kesken. Myös autonomiset kuorma-autot tulevat myöhemmässä vaiheessa vaikuttamaan suuressi tiekuljetuksiin.

Työn viimeisessä vaiheessa tutkittiin tiekuljetuksen automaation vaikutuksia ja sen potentiaalia ratkaista alan ongelmia. Automaatiosta on potentiaalia saada paljon hyviä vaikutuksia yhteiskunnalle ja kuljetusyriyksille. Laajan kuljetusyriyksien välisen yhteistyön ja lainsäädännön voimin vaikutuksia on mahdollisuus tehostaa huomattavasti. Tiekuljetuksien liiallisella kasvulla kuitenkin osa koituvista hyödyistä menetetään.

Avainsanat: tiekuljetukset, automaatio, kuljetustekniikka, letka-ajo

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ALKUSANAT

Aiheen valinta ei ollut helppo prosessi. Halusin yhdistää tutkielmassani omia kiinnostuksen kohteitani, käymiäni opintoja sekä tulevaisuuteen katsovan näkökulman. Pitkän harkinnan ja useiden keskustelujen jälkeen löysin kuitenkin lopullisen aiheeni ja en voisi olla tyytyväisempi. Työ mahdollisti useiden liikenne- ja kuljetusjärjestelmiin suuntautuneiden opintojaksojen jälkeen asiantuntijuuteni kasvattamisen entistäkin korkeammalle tasolle. Työ poikkesi aikaisemmista yliopistoprojekteista varsin paljon, mikä tuotti paikoin hankaluuksia ja epätoivon tunnetta. Työn tekeminen kuitenkin myöskin antoi todella paljon. Opin valtavasti lisää tieteellisen tutkimuksen prosessista kuten tiedonhausta, lukemisesta, kriittisyydestä ja kirjoittamisesta.

Haluan kiittää Markus Pöllästä aiheen valitsemisen opastamisesta sekä erinomaisista neuvoista pitkin kirjoitusprosessia. Haluan kiittää myös Johanna Kirjavaista työn ohjauksesta ja kehittävästä palautteesta. Kiitoksen ansaitsevat myös seminaarilaisuuksien opponentit hyvistä kommentistaan sekä opiskelutoverit vertaistuesta ja työn oikolukemisesta.

Tampereella, 5.5.2019

Juho Peltoniemi

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. TIEKULJETUKSET	3
2.1 Tiekuljetusten rooli yhteiskunnassa	3
2.2 Tiekuljetukset alana	6
3. TIEKULJETUSTEN AUTOMAATIO	9
3.1 Automaatio tieliikenteessä	9
3.2 Sovellukset tiekuljetuksiin	11
4. TIEKULJETUSTEN AUTOMAATION SEURAUKSET	16
4.1 Automaation vaikutukset energiankulutukseen	16
4.2 Automaation vaikutus tiekuljetuksien operointiin	18
4.3 Automaation vaikutus liikenneturvallisuuuteen	19
4.4 Automaation vaikutus liikenteeseen	21
4.5 Automaation vaikutukset tiekuljetusalaan	22
5. PÄÄTELMÄT	24
LÄHTEET	27

1. JOHDANTO

Nykyinen globaali maailma ja maailmantalous mahdollistuvat suurilta osin kehittyneiden liikenne- ja kuljetusjärjestelmien avulla. Kehitys on mahdollistanut maailmanlaajuisesti linkittyneet markkinat ja ihmisten sekä tavaroiden kuljettamisen hinta on laskenut voimakkaasti johtaen jatkuvasti kasvaviin liikennemääriin. Yhteiskunnat ovat nykyään voimakkaasti riippuvaisia liikenteestä, ja sillä on suora yhteys talouden kehittymiseen. Eri-tyisesti tieliikenteen merkitys on kasvanut viimeisten vuosikymmenten aikana nopeasti, ja sen liikennemäärät kasvaneet eniten. (Alam et al. 2015)

Esimerkiksi suomalainen yhteiskunta on varsin riippuvainen tieliikenteestä, sillä henkilöautoilu on henkilöliikenteen suosituin kulkumuoto ja tiekuljetukset suosituin tavarankuljetusmuoto. Valtio ja kunnat ylläpitävät lähes 110 000 kilometriä hoidettuja teitä ja tämän lisäksi Suomessa on lähes 230 000 kilometrin pituinen yksityisten teiden verkosto (Tilastokeskus 2018a). Vertailun vuoksi esimerkiksi Suomen rautatieverkoston pituus on noin 6000 kilometriä (Tilastokeskus 2018b). Kattava tieverkko mahdollistaa tiekuljetusten tehokkaan hyödyntämisen, ja yli 90 % kotimaassa kuljetetuista tonneista kulkee kuorma-autoissa (Tilastokeskus 2018c).

Tieliikenneala on kuitenkin ison murroksen edessä. Automaatio ja robotiikka ovat muutaneet useita toimialoja pysyvästi, sillä ne ovat kasvattaneet työn tuottavuutta merkittävästi (Andersson et al. 2016, s. 10). Muutos tulee tapahtumaan myös tieliikennealalla, mikä onkin tarpeellista, sillä kasvavat liikennemäärät aiheuttavat vakavia ongelmia. Esimerkiksi Euroopan unionin alueella liikennesektori aiheuttaa 24 % alueen kokonaishiiliidioksidipäästöistä, joista tieliikenteen osuus on 72 % (Alam et al. 2015). Muista aloista poiketen liikenteen päästöt ovat kasvussa ja ne ovat osaltaan vauhdittamassa ilmastonmuutosta (Chapman 2007). Lisääntyneellä automaatiolla ajoneuvoissa on potentiaalia auttaa ratkaisemaan useita yhteiskuntaa ja tiekuljetusalaa vaivaavia ongelmia.

Tämän kandidaatintyön aiheena on tiekuljetusten automaatio, eli nimenomaan kuorma-autoilla teitä pitkin tapahtuvaan rahdin kuljettamiseen liittyvä automaatio. Työ rajautuu koskettamaan tiekuljetuskaluston automaatiota, jolloin esimerkiksi tiekuljetusten optimointi automaation avulla jää tarkastelusta pois. Työ suoritetaan kirjallisuuskatsauksena, jossa tarkoituksena on tehdä päätelmiä aiheeseen liittyvän kirjallisuuden perustuen sekä yhdistellä erilaisia teemoja ja tutkimuksia. Tieliikenteen automaatio on varsin

tutkittu ja tärkeä aihe, sillä korkeamman automaatioasteen ajoneuvojen odotetaan yleistyvän liikenteessä muutaman vuoden kuluessa. Pääosa tutkimuksista on sijoittunut kuitenkin henkilöautojen automaation puolelle, mihin selityksenä voi olla henkilöautojen suurempi määrä liikenteessä ja sitä kautta potentiaalisesti suurempi markkina-arvo. Tiekuljetusten puolella tutkimukset ovat keskittyneet letka-ajo sovellukseen ja sen tuomiin mahdollisuuksiin tiekuljetuksissa (Esim. Berghem et al. 2010; Berghem et al. 2012; Alam et al. 2013; Alam et al. 2014; Lammert et al. 2014; Alam et al. 2015; Muratori et al. 2017; Turri et al. 2017; Bhoopalam et al. 2018). Henkilöautoilun puolella käytettävä teknologia on kuitenkin sovellettavissa hyvin pitkälti myös kuorma-autoihin ja sitä kautta tiekuljetuksiin, joten esimerkiksi automaattiseen ajoon kykenevät kuorma-autot otetaan mukaan tutkimukseen. Tämän kandidaatintyön tavoitteena on löytää vastaukset tutkimuskysymyksiin, jotka on aseteltu työn rakenteen mukaisesti. Työ alkaa tiekuljetuksien ja tiekuljetusalan nykytilan tutkimisella sekä niihin liittyvien ongelmien selvittämisellä. Tutkimuskysymyksenä kappaleessa on: mikä on tiekuljetusten ja tiekuljetusalan tämänhetkinen tilanne ja mitä ongelmia niihin liittyy? Toinen kappale käsittelee tarkemmin automaation toteuttamista tiekuljetuksissa ja siinä tutkimuskysymyksenä on: Miten automaatio toteutetaan tiekuljetuksissa ja mitä haasteita kehitykseen liittyy? Kolmas kappale tutkii tarkemmin tiekuljetusten automaation vaikutuksia erityisesti yhteiskunnan ja tiekuljetusyritysten näkökulmasta sekä selvittää, voidaanko automaation avulla löytää ratkaisut edellä mainittuihin ongelmiin. Tutkimuskysymyksenä kappaleessa on: Mitkä ovat tiekuljetusten automaation vaikutukset yhteiskunnalle sekä tiekuljetusalalle ja voitaisiinko automaation avulla ratkaista tiekuljetusten ongelmia? Lopun päätelmissä kootaan yhteen työn tulokset.

2. TIEKULJETUKSET

Tiekuljetus tarkoittaa tavaran kuljettamista lähtöpaikasta määränpäähän tieverkkoa pitkin. Tiekuljetuskalustona toimivat erilaiset ja erikokoiset kuorma-autot. Tiekuljetukset ovat osa lähes kaikkia kuljetusketjuja, sillä ne ovat useasti mukana ainakin ketjun alku- ja loppupään toimituksissa kytkeytyen näin osaksi globaaleja toimitusketjuja (Pöllänen et al. 2015, s. 40). Tiekuljetusten etuina muihin kuljetusmuotoihin verrattuna ovat kaluston matala hinta, hyvä toimitusnopeus sekä kuljetusten suuri joustavuus (Rodrigue et al. 2009, s. 129). Kaluston matalan hinnan takia alalle on suhteellisen helppo tulla mukaan, ja ala onkin todella kilpailtu. Kilpaillut markkinat pakottavat alalla toimivia yrityksiä kehittämään toimintaansa jatkuvasti. Suhteellisen hyvä toimitusnopeus mahdollistaa ketterän toiminnan ja luo lisäarvoa asiakkaille. Tiekuljetusten tärkeä etu on niiden suuri joustavuus sekä mahdollisuus reitinvalintaan. Tieverkostot ovat maailmanlaajuisesti hyvin kattavat ja mahdollistavat esimerkiksi kuljetukset ovelta ovelle useita reittejä. Kuorma-auton koko voidaan valita tarpeen mukaan. Liikenteessä on myös erilaisiin tarkoituksiin, kuten betonikuljetukseen, erikoistunutta kalustoa. Seuraavissa alakappaleissa tutkitaan tiekuljetuksien ja tiekuljetusalan nykytilaa sekä selvitetään niihin liittyviä ongelmia.

2.1 Tiekuljetusten rooli yhteiskunnassa

Tiekuljetuksilla on hyvin tärkeä rooli yhteiskunnan kannalta, sillä ne mahdollistavat kattavasti ihmisten sekä tavaran liikkumisen. Ne ovat osaltaan olleet mahdollistamassa maailmantalouden nopeaa kasvua ja globalisaation nousua. (Alam et al. 2015; Turri et al. 2017) Tiekuljetuksien osuus kokonaiskuljetusmäärästä vaihtelee maakohtaisesti johdun esimerkiksi maantieteellisistä ominaisuuksista, kuten etäisyyksistä ja vesistöistä (Alam et al. 2015). Esimerkiksi Suomessa, jossa on hyvät mahdollisuudet harjoittaa tiekuljetuksia, noin 70% kotimaan kuljetussuoritteesta kulkee teitä pitkin (Tilastokeskus 2018c). Vertailun vuoksi esimerkiksi Alankomaissa hieman alle 50 % kotimaan kuljetussuoritteesta on tiekuljetuksia (Eurostat 2018). Eroavaisuutta Alankomaiden ja Suomen välillä selittävät Alankomaiden kattavat sisämaan vesiväylät, joiden ansiosta vesikuljetusten osuus kotimaan kuljetuksissa on Alankomaissa 44 % (Eurostat 2018).

Tiekuljetukset on eniten kasvanut kuljetusmuoto maailmassa viimeisen 50 vuoden aikana (Rodrigue et al. 2009, s. 129). Kasvu ei ole tutkimuksien mukaan vähenemässä tulevaisuudessakaan. Alamin et al. (2015) mukaan OECD-maissa maakuljetusten (sisältää tie- ja rautatiekuljetukset) kuljetussuoritteiden kasvu vuoteen 2050 mennessä tulee olemaan 40 % ja 125 % välillä. Kehittyvissä maissa potentiaalista kasvua on ennustettu

olevan jopa 400 %. Rautatiekuljetusten osuuden kokonaiskuljetuksista odotetaan nousevan muutamalla prosentilla, mutta tästä huolimatta tiekuljetuksien kasvu tulee olemaan merkittävää. (Alam et al. 2015) Maailmantalouden kasvulla ja kuljetusten kasvulla onkin hyvin kiinteä yhteys. Kasvava talous vaatii lisää kuljetuksia, joten kysyntä nousee jatkuvasti ja kuljetusyrietykset vastaavat siihen lisäämällä tarjontaa. Oman lisänsä kasvuun tuovat globalisaation laajentamat markkinat, joiden kautta toimitusketjujen pituudet ovat kasvaneet (Chapman 2007). Kaikkien yrityksen tuotantopaikkojen ei tarvitse sijaita enää lyhyiden etäisyyksien päässä toisistaan tehokkaan toiminnan mahdollistamiseksi.

Kasvat tiekuljetusmarkkinat tuovat mukanaan myös ongelmia. Ongelmiin lukeutuvat tiekuljetusten runsas energiankäyttö sekä niiden aiheuttamat päästöt ilmastoon. Kasvihuonekaasuilla, kuten hiilidioksidilla, on suora yhteys ilmastomuutokseen, joka on valtava uhka koko planeetalle (Chapman 2007). Uusiutumattomat energialähteet, kuten esimerkiksi liikenteen pääenergialähde raakaöljy, ovat vaarassa loppua kasvavan kulutuksen myötä seuraavan 50 vuoden aikana (Oman 2003). Liikenteen rooli näissä ongelmassa on kiistaton. Esimerkiksi Euroopan unionissa liikennesektori aiheutti vuonna 2016 noin 24 % kokonaishiilidioksidipäästöistä, joista tiekuljetusten osuus oli noin 27 % (luku sisältää kuorma-autojen lisäksi bussikuljetukset) (EEA 2018a). Liikenteen energiankulutus oli 33 % alueen kokonaisenergiankulutuksesta (EEA 2018b). Näihin ongelmiin on kuitenkin alettu kiinnittämään huomiota, sillä valtiot ovat esimerkiksi sopineet erilaisia ilmastosopimuksia vähentääkseen kasvihuonekaasupäästöjä ja hillitäkseen ilmastomuutosta. Esimerkiksi Alamin et al. (2015) mukaan Euroopan unioni on sitoutunut vähentämään päästöjä 80-90 % vuoteen 2050 mennessä, mikä vaatisi liikenteen osalta noin 70% päästöjen leikkaamista. Tiekuljetusten tapauksessa tämä edellyttäisi monien eri teknologioiden hyödyntämistä. Ratkaisuina toimivat esimerkiksi polttomoottoreista luopuminen ja siirtyminen sähkökäyttöisiin tai uusiutuvia polttoaineita käyttäviin moottoreihin. Myös kaluston automaatiolla on vähentävä vaikutuksia kuorma-autojen energian ja polttoaineen kulutukseen. (Alam et al. 2015)

Tieliikenneonnettomuudet ovat tiekuljetuksiin kiinteästi liittyvä ongelma. Kuorma-autoilla on onnettomuuksissa suurempi vahinkopotentiaali kuin henkilöautoilla, sillä niiden suuremmasta massasta purkautuu onnettomuustilanteissa suurempi energia. Tämän takia kuorma-autot ovatkin yliedustettuina kuolemaan johtavien onnettomuuksien osapuolena suhteutettuna niiden liikennemääriin. (Ahlroth & Pöllänen 2011, s. 111) Esimerkiksi Suomen liikenteessä vuonna 2017 kuoli 238 ihmistä ja loukkaantui 5 574 ihmistä, joista 409 vakavasti. Kuorma-auto oli osallisena 71 kuolemaan johtaneessa onnettomuudessa. (Tilastokeskus 2019) Jokainen vakava onnettomuus liikenteessä aiheuttaa taloudellisia menetyksiä yhteiskunnalle esimerkiksi työn arvon menetyksinä ja sairaanhoitokuluina

(Ahlroth & Pöllänen 2011, s. 59). Suurin syy tieliikenneonnettomuuksiin on ihmiskuljettajan tekemä virhe, sillä esimerkiksi Yhdysvalloissa yli 90 % tieliikenneonnettomuuksista aiheutuu ihmisen inhimillisen virheen seurauksena (Fagnant & Kockelmann 2015). Ahlrothin & Pöllänen (2011, s. 99) mukaan ajoneuvojen tekniikkaa kehittämällä on pystytty parantamaan liikenteen turvallisuutta ja ehkäisemään vakavia onnettomuuksia. Passiiviset turvalaitteet, kuten turvavyöt ja turvatyynyt sekä aktiiviset turvalaitteet, kuten lukkiutumattomat jarrut ja ajonvakautusjärjestelmät, luovat ajoneuvoihin turvallisuutta. (Ahlroth & Pöllänen 2011, s. 99) Tieliikenneturvallisuuden parantaminen on tärkeä tavoite, sillä kenenkään ei tarvitsisi loukkaantua tai kuolla liikenteen seurauksena.

Eräs tiekuljetuksista aiheutuva ongelma on tieverkon kunnon heikkeneminen kasvavan kuorma-autoliikenteen seurauksena. Henkilöautot aiheuttavat lähinnä tien päällysrakenteen kulumista, kun taas raskaan liikenteen kuormitusvaikutus kohdistuu koko tierakenteeseen. (Ehrola 1996, s. 32–33) Väylien ylläpidosta ja korjaamisesta koituu yhteiskunnalle vuosittain valtavat kustannukset. Esimerkiksi Suomessa käytettiin vuonna 2017 valtion tieverkoston ylläpitoon lähes 730 milj. euroa, mutta tästä huolimatta väylien korjausvelka ei vähentynyt (Valtiovarainministeriö 2018). Huonokuntoisella väyläverkostolla on suora vaikutus tiekuljetusten operointiin, sillä teille saatetaan joutua asettamaan esimerkiksi painorajoituksia.

Tieliikenteessä ajoneuvot vaikuttavat toistensa kulkuun. Liikennetiheydellä (ajoneuvoa/km) on suora vaikutus liikennevirran nopeuteen väylällä. Ajoneuvojen välisen etäisyyden pienentyessä ajonopeudet laskevat ja liikenne jonoutuu. Väylät suunnitellaan tietyille kapasiteetille, jolla liikenne on vielä sujuvaa ja ajoneuvojen väliset vuorovaikutukset pysyvät kohtuullisina. Kapasiteetin reilu ylitys johtaa tilan loppumiseen, ajonopeuden romahtamiseen ja liikenteen ruuhkautumiseen. (Mäntynen et al. 2012, s. 21-27) Ajoneuvoliikenteen jatkuva kasvu on johtanut pahoihin liikenneruuhkaongelmiin erityisesti suurimpien kaupunkien alueilla sekä niiden välisillä väylillä. Tiekuljetukset ovat osa ongelmaa, sillä kuorma-autoilla on hitaina ja kookkaina ajoneuvoina negatiivinen vaikutus liikennevirtaan. Ongelmaa voidaan korjata lisäämällä liikenteen kapasiteettia esimerkiksi lisäkaistojen tai uusien väylien muodossa, mutta investoinnit ovat kalliita toteuttaa. Liikenteen vähentäminen on myös yksi keino helpottaa ongelmaa. Esimerkiksi ruuhkamaksut, julkisen liikenteen houkuttelevuuden lisääminen sekä yhteiskäyttöautot pyrkivät vähentämään kasvavaa yksityisen henkilöautoilun suosiota. Myös tekniikan avulla on mahdollisuus parantaa liikenteen välityskykyä.

2.2 Tiekuljetukset alana

Tiekuljetusten kysyntä on teollisuuden, kaupan, yhteiskunnan sekä yksittäisten ihmisten tarpeista johdettua kysyntää. Tarvittavat kuljetustarpeet ja palvelutarjonta määräytyvät tavarankysynnän ja tarjonnan sekä niihin liittyvien toimitusketjujen ja toimitusverkostojen perusteella. (Pöllänen et al. 2015, s. 34) Johdetun kysynnän vuoksi tiekuljetukset ovat riippuvaisia aloista, jotka ovat niiden asiakkaita. Esimerkiksi talouden suhdanteet vaikuttavat tavaroiden kysyntään, joka vaikuttaa suoraan myös kuljetuksien määrään. Pöllänen et al. (2015, s. 34) mukaan tieliikennekuljetuksissa palvelee hyvin monimuotoinen joukko yrityksiä. Alalta löytyy suuria globaaleja kokonaisvaltaisia logistiikkaratkaisuja tarjoavia yrityksiä sekä paikallisia muutaman ajoneuvon omistavia yrityksiä. Tiekuljetuksiin liittyy myös esimerkiksi pikakuljetuksia ovelta ovelle, postitoimintaa, jakelutoimintaa sekä erikoiskaluston kautta tiettyyn tehtävään erikoistuneita yrityksiä. Ala onkin todella monipuolinen, sillä kuljetustarpeita on useanlaisia. Kaikkia alalla toimivia yrityksiä kuitenkin yhdistää yhteiset tavoitteet: oikea määrä, oikeaa tavaraa, oikeaan paikkaan, oikeassa ajassa, oikeassa kunnossa ja oikeaan hintaan. (Pöllänen et al. 2015, s. 34).

Tiekuljetusmarkkinat ovat valtavat. Esimerkiksi vuonna 2012 Euroopan tiekuljetusmarkkinoiden koko oli 174 miljardia euroa ja Suomessa vastaava luku oli 5,8 miljardia euroa. Ala on tyypillisesti myös varsin pienyritysvaltainen. Esimerkiksi Euroopan viiden suurimman palveluntarjoajan osuus markkinoista oli 10 %. Suomessa on tieliikenteen tavarankuljetusyrityksiä lähes 10 400 ja ne työllistävät noin 38 000 ihmistä, joista pääosa on kuorma-auton kuljettajia. (Pöllänen et al. 2015, s. 36–37) Tiekuljetusalan työllistävä vaikutus onkin siis suuri ja erityisesti kuljettajia tarvitaan runsain määrin.

Nykyisin enää harvat yritykset hoitavat koko toimitusketjuaan itsenäisesti, ja sen ulkoistaminen kokonaan tai osittain on varsin tavallista. Toimitusketjun hallinta on harvalle yritykselle ydinosamisaluetta ja ulkoistamisen kautta on mahdollisuus saada esimerkiksi kustannussäästöjä. Erityisesti kuljetukset on yleisesti ulkoistettu toiminto. (Pöllänen et al. 2015, s. 8) Kasvanut ulkoistaminen selittää osaltaan tiekuljetusyritysten suurta määrää, sillä kysyntää erilaisille kuljetuksille on runsaasti. Logistiikka aiheuttaa yrityksille merkittäviä kustannuksia, ja esimerkiksi Suomessa yritysten logistiikkakustannukset ovat olleet 2000-luvulla 12-14 % ja kuljetuskustannukset 4-6 % yrityksen kokonaiskustannuksista. (Solakivi et al. 2018, s. 96) Korkeat logistiikkakustannukset kertovat Suomen haastavasta maantieteellisestä sijainnista. Välimatkat ovat maan sisällä pitkiä ja globaaleihin markkinoihin nähden Suomi sijaitsee syrjässä. Haastava sijainti edellyttää myös tiekuljetusyrityksiltä mahdollisimman tehokasta toimintaa, jotta kustannukset pysyvät hallinnassa ja kuljetuksia voidaan tarjota kohtuulliseen hintaan asiakkaille.

Tiekuljetusyrityksillä on useita haasteita koskien niiden toimintaa. Esimerkiksi Minin & Lambertin (2002) mukaan ammattitaitoisen työvoiman saatavuus on muuttunut 2000-luvulla heikoksi länsimaissa, ja pulaa on erityisesti ammattikuljettajista. Kuljetusala on varsin miesvaltainen, ja kuljettajien keski-ikä on noussut huolestuttavan korkeaksi. Alalle on ollut vaikeuksia houkutella nuoria kuljettajia, sillä työ on raskasta ja työajat epäsäännöllisiä. Kuljettajapula on pakottanut alan yrityksiä etsimään ratkaisua ongelmaan, ja nuoria on yritetty houkutella alalle monin keinoin, kuten kuljettajan palkkausta parantamalla. Työvoiman kustannus onkin merkittävä osa kuljetusyritysten kokonaiskustannuksista. (Min & Lambert 2002) Ongelmaksi on noussut myös raakaöljyn jatkuva hinnanvaihtelu sekä sen mahdollinen loppuminen, sillä raakaöljy toimii edelleen tiekuljetusten pääenergialähteenä (Oman 2003). Noin 30 % raskaan kuorma-auton operoimisesta aiheutuvista kustannuksista syntyy nimenomaan polttoaineista, ja osuuden odotetaan nousevan raakaöljyn hinnannousun myötä (Hellström et al. 2009). Tämän vuoksi Turri et al. (2017) mukaan tiekuljetusyritykset ovatkin hyvin kiinnostuneista uusista teknologioista, jotka voisivat alentaa polttoaineen ja energian kulutusta. Tämä olisi tärkeää, sillä jo pienetkin säästöt kulutuksessa toisivat merkittäviä säästöjä yrityksen toimintaan. Tärkeää olisi myös löytää korvaava energialähde epävakaaan raakaöljyn tilalle. Muita isoja kustannuseriä tiekuljetusyrityksille ovat esimerkiksi kaluston hankkiminen, huollot sekä vakuutukset. (Turri et al. 2017)

Tiekuljetusyritysten toimintaa vaikeuttavat myös kysynnän epätasaisuus sekä kapasiteetin maksimoinnin vaikeus. Tiekuljetusyritysten onkin sopeuduttava vaihteleviin kuljetusmääriin, mutta kalustoa olisi kuitenkin hyvä olla tarjolla kysynnän hetkellä voiton maksimoimiseksi. Vaihtelevalla kysynnällä on vaikutus ajoneuvojen kuormaus- ja täyttöasteeseen, eli siihen miten hyvin kuorma-auton kapasiteetti saadaan hyödynnettyä. (Dejax & Crainic 1987) Esimerkiksi Suomessa vuonna 2017 tiekuljetusten kuormausaste oli 67 % ja täyttöaste 95 % (Tilastokeskus 2018c). Ongelmana on myös kuorma-autojen ajaminen tyhjänä, sillä tavaravirtaa ei useasti riitä tasaisesti kaikkiin kuljetussuuntiin (Dejax & Crainic 1987). Vuonna 2017 Suomen tiekuljetusten suoritteista 21 % ajettiin tyhjinä (Tilastokeskus 2018c).

Oman haasteensa toimintaan tuo alan lainsäädäntö, joka luo rajoituksia esimerkiksi ajoaikoihin. Lainsäädäntö on hieman erilainen eri puolilla maailmaa. Esimerkiksi Euroopan unionin lainsäädännön mukaan ajoneuvon kuljettajan on työssään pidettävä vähintään 45 minuutin tauko 4,5 tunnin ajon jälkeen (Goel 2010). Yhdysvalloissa taas kuljettajan on pidettävä 30 minuutin tauko enintään 8 tunnin työn jälkeen (Goel 2014). Molemmilla alueilla on kuitenkin paljon yhteistä lainsäädännössä ja kuljettajille taataan kohtuulliset työolot esimerkiksi maksimijajoaikojen sekä lepoaikojen avulla (Goel 2010; Goel 2014).

Lainsäädäntö on kuljettajien työhyvinvoinnin kannalta hyvä asia, mutta kuljetusyrityksien kannalta tauot tien päällä ovat tehotonta ja tuottamatonta työtä. Kuljetusyrityksien onkin kehitettävä jatkuvasti toimintaansa, jotta ne pystyvät ratkaisemaan alan ongelmia ja vastaamaan kovaan kilpailutilanteeseen.

3. TIEKULJETUSTEN AUTOMAATIO

Automaation ja robotiikan kehittyminen on ollut hurjaa viimeisten vuosikymmenien aikana. Suurin syy automaation käyttöönottoon on tuottavuuden kasvattaminen, sillä sen avulla nykyinen toiminta voidaan saada aikaan entistä vähemmällä työmäärällä. Automaatio ja robotit sopivat erityisen hyvin rutiininomaisiin toistuviin tehtäviin, koska kone pystyy hoitamaan ne ihmistä nopeammin, luotettavammin, tarkemmin ja todennäköisesti myös halvemmalla. Robottien avulla voidaan myös korvata ihminen fyysisesti raskaissa, äärimmäistä tarkkuutta vaativissa, likaisissa ja vaarallisissa sekä pitkäkestoisissa ja yksipuolisissa työtehtävissä. Työmarkkinoihin automaatiolla on tietenkin suuri vaikutus, sillä sen avulla on mahdollisuus korvata ihminen työtehtävässään. Todellisuudessa teknologinen kehitys on luonut kuitenkin historian aikana todistetusti enemmän työpaikkoja kuin tuhonnut niitä. Ihmisten työtehtävät ovat vain muuttuneet rutiininomaisista tehtävistä enemmän ongelmanratkaisu- ja viestintätaitoa vaativiin tehtäviin, joihin ihminen on erinomaisesti kykenevä. (Andersson et al. 2016, s. 10–15) Automaation lisääntymisellä on suuri potentiaali muuttaa myös tiekuljetusalaa ja kasvattaa sen tuottavuutta. Ajoneuvon ajamisen voi luokitella rutiininomaiseksi tehtäväksi, sillä se on pilkottavissa toisiaan seuraavien sääntöjen sarjaksi. Seuraavissa alaluvuissa tarkastellaan, millä tavoin automaatio näkyy tieliikenteessä sekä tiekuljetuksissa.

3.1 Automaatio tieliikenteessä

Automaatiota on hyödynnetty tieliikenteessä pitkän aikaa, sillä esimerkiksi 1950-luvun lopulla lanseerattiin ensimmäiset vakionopeudensäätimillä varustetut ajoneuvot. Automaatio ajoneuvoissa voikin olla esimerkiksi kuljettajaa avustava järjestelmä. (Milakis et al. 2017) Automaatiosta puhuttaessa herää usein mielikuva itsenäisesti eli autonomisesti ilman kuljettajia kulkevista ajoneuvoista, joita ei kaupallisessa tieliikennekäytössä kuitenkaan vielä ole. Muissa liikennevälineissä automaatiota on taas kyetty toteuttamaan korkeammalle tasolle, sillä esimerkiksi lentokoneissa autopilotit kykenevät lentämään itsenäisesti ja metroja on automatisoitu kulkemaan ilman kuljettajia (Bhoopalam et al. 2018). Autonomiset ajoneuvot ovat nykypäivänä tavallinen näky myös satamissa (Kim & Bae 2004) sekä tehdas- ja varastoympäristöissä (Roodbergen & Vis 2009), joissa ne kuljettavat rahtia itsenäisesti ilman ihmiskuljettajia. Yhteinen tekijä näillä pitkälle automatisoiduilla liikennevälineillä on suljettu toimintaympäristö, missä ne eivät juuri altistu ulkopuolisille häiriöille.

Tässä työssä tieliikenteen automaatioasteen määrittämisessä käytetään SAE:n (Society of Automotive Engineers) luomaa luokitteluasteikkoa. Kuten kuva 3 havainnollistaa, automaation tasot on jaettu kuuteen osaan lukuvälille 0-5. Asteikko on kasvava, eli taso 0 tarkoittaa pienintä automaation tasoa ja taso 5 taas korkeinta. (SAE 2016)

Taso	Nimi	Määrittelmä	Ohjaus, kiihdyttäminen, jarrutus	Ympäristön monitorointi	Dynaamisen ajamisen varasuorittaja	Automaation kattavuus
Ihminen monitoroi ajoympäristöä			Ihminen	Ihminen	Ihminen	–
0	Ei automaatiota	Ihminen suorittaa kaikki dynaamisen ajotehtävän osa-alueet, vaikka ajamista tuetaan varoituksilla tai ajamiseen puuttavilla järjestelmillä.				
1	Kuljettajan tuki	Ajotilannekohtaisia kuljettajan tukijärjestelmiä, jotka liittyvät joko ohjaamiseen tai kiihdyttämiseen/jarruttamiseen hyödyntämällä tietoa ajoympäristön tilasta. Ihminen vastaa kaikista muista dynaamiseen ajotehtävän osa-alueista.	Ihminen ja järjestelmä	Ihminen	Ihminen	Joitakin ajotilanteita
2	Osittainen automaatio	Yksi tai useampi ajotilannekohtainen kuljettajan tukijärjestelmä, joka kattaa sekä ohjaamisen että kiihdyttämisen/jarruttamisen hyödyntämällä tietoa ajoympäristön tilasta. Ihminen vastaa kaikista muista dynaamiseen ajotehtävän osa-alueista.	Järjestelmä	Ihminen	Ihminen	Joitakin ajotilanteita
Järjestelmä monitoroi ajoympäristöä			Järjestelmä	Järjestelmä	Ihminen	Joitakin ajotilanteita
3	Ehdollinen automaatio	Ajotilannekohtainen automaattiajojärjestelmä kattaa kaikki dynaamisen ajotehtävän osa-alueet, kuten pituus- ja poikittaissuuntaisen kontrollon. Ihmisen täytyy kuitenkin ottaa auto hallintaansa, kun järjestelmä näin pyytää.				
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

Kuva 1. Tieliikenteen automaatiotasot SAE luokituksen mukaisesti (Innamaa et al. 2015, s. 4)

Esimerkiksi vakionopeudensäätimet ja lukkiutumattomat jarrut, jotka toimivat kuljettajan avustavina järjestelminä ajotehtävissä, edustuvat automaation tasoa 0. Automaation tasolla 1 ja 2 ihminen monitoroi vielä ympäristöä, mutta ajoneuvo pystyy esimerkiksi hoitamaan sen pituus- tai poikittaissuuntaisen kontrollin (taso 1) tai molempia yhtä aikaa (taso 2). Tämä automaation taso on pystytty tähän mennessä saavuttamaan kaupallisissa tieliikenneajoneuvoissa. Automaation tasolla 3 ajoneuvo suoriutuu kaikista dynaamisista ajotehtävistä monitoroimalla ajoympäristöä, mutta ihmisen on oltava valmis ottamaan ajoneuvo hallintaansa tilanteen niin vaatiessa. Tasolla 4 ajoneuvo pystyy toimimaan poikkeuksellisissakin tilanteissa suorittajana vähintäänkin pysäyttämällä ajoneu-

von tien sivuun. Korkeimman automaation tason eli 5 tapauksessa ajoneuvo pystyy toimimaan täysin autonomisesti kaikissa olosuhteissa ja ajoneuvossa ei ole ajonhallintalaitteita, kuten rattia. (Innamaa et al. 2015, s. 5–7; Milakis et al. 2017)

Ensimmäiset visiot automaattisesta tieliikenteestä ovat peräisin 1930-luvun lopulta, ja vuosikymmenten saatossa ideaa on yritetty toteuttaa kulloinkin käytettävissä olleen teknologian avulla. Esimerkiksi 1950-luvulla maahan asennettiin kaapeleita, joita ajoneuvot seurasivat, 1970-luvulla kehitettiin tutkasovelluksia ja 1980-luvulla nähtiin ensimmäiset kamerasovellukset. Yksi tärkeimmistä automaattisen ajon mahdollistavista tekijöistä oli autojen digitalisoituminen 1990-luvulla, kun kaikki ajamiseen liittyvät komponentit muutuivat digitaalisesti ohjatuiksi ja ne yhdistettiin tiedonsiirtoväylillä, kuten CAN-väylillä. Yksinkertaisimmillaan automaattinen ajaminen vaatii kamerat kaistaviivojen seuraamiseen, ja niiden avulla voidaan toteuttaa sivuttaissuuntainen ohjaus kaistalla pysymiseksi. Lisäksi tarvitaan mukautuva vakionopeudensäädin, jonka tutkan avulla voidaan mitata etäisyyttä edellä kulkevaan ajoneuvoon ja säätää nopeutta halutun etäisyyden säilyttämiseksi. Ihmisen tärkein aisti ajamisessa on näkö, joka korvataan robotisoidussa ajoneuvossa antureilla ja signaalinkäsittelyalgoritmeilla. Ympäristön havainnointi suoritetaan joko tutkalla, kameralla, ultraäänellä tai lasertutkalla. Näiden avulla pystytään muodostamaan tilannekuva nykyhetkestä sekä ennustamaan tilanteen kehitys lähitulevaisuudessa. Ympäristön oikea tulkinta onkin yksi suurimmista haasteista automaation toteutuksessa, sillä muuttujia tieympäristössä on valtava määrä. Tilannekuvaa voidaan tukea paikannusteknologian (esimerkiksi GPS) ja digitaalisen kartta-aineiston avulla. Satelliittipaikannusjärjestelmillä on mahdollisuus päästä nykyisin millimetrin tarkkuuksiin, mutta ongelmana on niiden luotettavuus. Automaatiota on mahdollisuus toteuttaa myös verkottuneiden ajoneuvojen kautta, jolloin niillä on langaton tietoliikenneyhteys toistensa ja infrastruktuurin kanssa. Langattoman yhteyden kautta voidaan välittää lähes reaaliaikaista informaatiota esimerkiksi liikennetilanteesta sekä toisien ajoneuvojen liikkeistä. (Innamaa et al. 2015, s. 10–21)

3.2 Sovellukset tiekuljetuksiin

Tiekuljetukset suoritetaan erilaisilla kuorma-autoilla, minkä vuoksi tiekuljetusten automaatiossa tarkastellaan kuorma-autojen automaatiota. Kuorma-autojen automaatiosta ei ole tehty yhtä paljon tutkimuksia kuin henkilöautojen automaatiosta, mikä voi osaltaan johtua henkilöautopuolen suuremmasta määrästä liikenteessä. Toteutus ja vaikutukset ovat kuitenkin hyvin samankaltaiset johtuen ajoneuvojen yhteisestä toimintaympäristöstä. Kuorma-autojen automaation tutkimuksissa yksi korostunut sovellus on letka-ajo. Letka-ajossa joukko ajoneuvoja ajaa peräkkäin tiellä lähellä toisiaan ja ohjausjärjestelmä

pitää huolen siitä, että ajoneuvojen väliset etäisyydet pysyvät lyhyinä, mutta turvallisina kuvan 2 mukaisesti (Bergenheim et al. 2012; Alam et al. 2014; Axelsson 2017). Letka-ajo sovellus ei ole kuitenkaan uusi keksintö, sillä ensimmäisen kerran siitä on mainintaa tutkimuksissa 1960-luvulla, jolloin tutkimus painottui ajoneuvojonon dynamiikkaan ja stabiilisuuteen (Esim. Lewine & Athans 1966; Bender & Fenton 1969; Peppard 1974). Viimeisimmän vuosikymmenen aikana tutkimusten määrä on kuitenkin kasvanut voimakkaasti, sillä letka-ajosta on tullut potentiaalinen sovellus erityisesti raskaiden ajoneuvojen hyödynnettäväksi.



Kuva 2. letka-ajo sovellus (Scania 2017)

Letka-ajon tavoitteena on saada letkassa olevat ajoneuvot ajamaan mahdollisimman lähellä toisiaan ja vaikuttaa näin ajoneuvoihin kohdistuvaan ilmanvastukseen. Toista ajoneuvoa seuraavan ajoneuvon ilmanvastus laskee sitä pienemmäksi, mitä pienempi on niiden välinen etäisyys. Sovellus on todettu erityisen hyödylliseksi kuorma-autojen käytössä, sillä niillä on suuri pinta-ala, johon ilmanvastus vaikuttaa. Letkassa kuorma-autoa seuraava ajoneuvo saavuttaakin paljon hyötyjä. (Bergenheim et al, 2010; Alam et al. 2015; Turri et al. 2017) Ilmanvastuksen vähenemisellä on tärkeä merkitys, sillä noin neljäsosa kuorma-auton polttoaineen kulutuksesta aiheutuu ilmanvastuksesta (Turri et al. 2017) Tutkimustulokset ilmanvastuksen pienemisestä letka-ajossa ovat lupaavia, sillä esimerkiksi Alamin et al. (2015) tutkimuksen mukaan letkassa 25 metrin päässä toisiinsa kulkevat samanlaiset kuorma-autot vähentävät jälkimmäisen ilmanvastusta jopa 30 %. Jos edellä kulkee kaksi samanlaista ajoneuvoa, on ilmanvastuksen vähenemä 40 %.

Jopa letkan ensimmäisenä kulkeva ajoneuvo hyötyy letka-ajosta, sillä sen perässä syntyvät liike-energiaa kuluttavat pyörteet vähenevät. Ilmanvastuksen väheneminen kasvaa ajoneuvojen välisen etäisyyden pienentyessä. (Alam et al. 2015)

Letkassa ajavien ajoneuvojen välien tiivistyessä on selvä asia, että ajaminen muuttuu ihmiselle haastavaksi ja jopa vaaralliseksi tehtäväksi. Turvallisuuden takaamiseksi tarvitaan kehittyneitä teknologioita, jotka ylipäättään mahdollistavat letka-ajon. (Alam et al. 2015) Letka-ajon kannalta kriittisiä teknologioita ovat Berghem et al. (2010) mukaan erityisesti langaton tiedonsiirto sekä verkottuneet ajoneuvot. Ne mahdollistavat letkan ajoneuvojen välisen V2V (vehicle to vehicle) -kommunikoinnin sekä ajoneuvojen ja infrastruktuurin välisen V2I (vehicle to infrastructure) -kommunikoinnin. V2V-viestit mahdollistavat letkan muodostamisen ja hallinnan. Verkottuneet ajoneuvot löytävät toisensa V2V-viestien avulla ja pystyvät muodostamaan letkan. Letkan ensimmäisen ajoneuvon eli johtavan ajoneuvon liikkeitä, kuten kiihdytykset ja ohjaukset, voidaan välittää V2V-viestein seuraaville ajoneuvoille ja näin letka pysyy turvallisesti hallinnassa. V2I-viestien avulla ajoneuvot voivat kommunikoida infrastruktuurin kanssa ja saada tietoa esimerkiksi reaaliaikaisesta liikennetilanteesta eri väylillä tai maaston muodoista polttoainetehokkuuden optimoimiseksi. V2I-viesteillä voidaan olla yhteydessä myös kuljetusyritykseen, joka saa reaaliaikaista tietoa kuljetuksen tilasta. (Berghem et al. 2010)

Letka-ajo tulee olemaan todennäköisesti ensimmäinen tiekuljetusten korkeamman automaatioasteen sovellus, joka tuodaan kaupalliseen käyttöön ja osaksi yleistä liikennettä (Muratori et al. 2017; Bhoopalani et al. 2018). Letka-ajon toteuttamisen etuna on sen vaatimus vain osittaiseen automaatioon (Alam et al. 2015). Toteuttamisvaihtoehtoja teknologialle on useanlaisia. Esimerkiksi Berghem et al. (2010) mukaan yksinkertainen toteutus vaatisi letkan ensimmäiseen ajoneuvoon ammattikuljettajan, joka olisi koulutettu johtamaan letkaa. Letkan ensimmäisen ajoneuvon tulisi olla kuorma- tai linja-auto hyötyjen maksimoimiseksi. Seuraavilla ajoneuvoilla on V2V-yhteys, jonka avulla toteutetaan turvallinen pitkäaikaissuuntainen kontrolli letkassa. Seuraavien ajoneuvojen kuljettajat olisivat kuitenkin yhä vastuussa sivuttaissuuntaisesta ohjauksesta (Berghem et al. 2010) Alamin et al. (2015) mukaan letkan seuraavilla ajoneuvoilla sivuttaissuuntaisen ohjauksen voisi kuljettajan lisäksi hoitaa automaatio. Tämä on toteutettavissa esimerkiksi tiemerkinä seuraavan kameran avulla tai välittämällä myös sivuttaissuuntaiset ohjaukset V2V-viestein seuraaville ajoneuvoille. Ihmisen hoitaessa sivuttaissuuntaisen ohjauksen muodostuu ongelmaksi riittävä näkyvyys, ja liian pienillä etäisyyksillä ohjaaminen muuttuu käytännössä mahdottomaksi. Ongelma toki korjaantuu ajoneuvojen välisiä etäisyyksiä kasvattamalla, mutta samalla menetetään letka-ajosta koituvia hyötyjä.

(Alam et al. 2015) Bhoopalamin et al. (2018) mielestä SAE:n luokitus tieliikenteen automaatiotasosta ei ota letka-ajoa huomioon, joten he ovat kehittäneet oman kolmen tason luokittelujärjestelmän. Ensimmäisenä asteena on ihmiskuljettajan johtama letka, jossa seuraavat ajoneuvot ovat pitkittäis- ja sivuttaissuuntaisessa kontrollissa mahdollistaen seuraavien ajoneuvojen kuljettajien vapauttamisen ajotehtävistä. Toisena asteena on ihmiskuljettajan johtama letka, jossa seuraavissa ajoneuvoissa ei tarvitsisi olla kuljettajia lainkaan. Tällöin letkan kuorma-autoilla pitäisi olla sama määränpää tai osalle kuorma-autoista pitäisi järjestää kuljettaja toteuttamaan kuljetuksen viimeinen vaihe määränpäähän. Viimeinen taso on täysin autonominen letka, jossa ei ole kuljettajia lainkaan ja ajoneuvot olisivat autonomisia. (Bhoopalam et al. 2018) Teknologia vaatii kuitenkin vielä runsaasti kehitystyötä, ennen kuin letka-ajo on edes ensimmäisellä tasolla kaupallisessa käytössä.

Jotta letka-ajoa pystytään hyödyntämään laajamittaisesti, letkojen muodostamisen on oltava tehokas prosessi. Bhoopalamin et al. (2018) mukaan letkan muodostamisen pitäisi tapahtua erillisen palvelujärjestelmän kautta, joka laskisi optimaaliset letka-ajomahdollisuudet kaikille järjestelmää käyttäville kuorma-autoille. Näin mahdolliset letka-ajosta koituvat hyödyt saataisiin maksimoitua. Järjestelmä pystyisi sille annetun datan perusteella laskemaan, mitkä kuorma-autot toteuttaisivat letka-ajoa, missä letka muodostettaisiin, mitä reittiä letka kulkisi ja missä järjestyksessä ajoneuvot olisivat letkassa. Sovelluksella olisi kaksi erilaista toteuttamisvaihtoehtoa riippuen saatavilla olevasta informaatiosta. Ensimmäinen vaihtoehto on etukäteen aikataulutettu letka-ajo. Tiekuljetukset tapahtuvat tyypillisesti asiakkaiden määräämissä aikaikkunoissa ja tiedot kuljetuksista, kuten lähtöpaikka, lähdön aikaikkuna, päämäärä ja viimeisin saapumisaika päämäärään syötettäisiin järjestelmään. Järjestelmä yhdistelisi tiedot eri kuljetuksista ja määräisi hyötyjen kannalta optimaalisen toteutuksen. Näin letkat syntyisivät etukäteen suunniteltuina ajon aikana. Toinen vaihtoehto on reaaliaikainen letka-ajo, jossa tiedot kuljetuksesta syötetään järjestelmään juuri ennen lähtöä tai lähdön jälkeen. Tällöin järjestelmä laskee samaan tapaan optimaalisimman toteutuksen, joka otetaan käyttöön. (Bhoopalam et al. 2018) Letkojen muodostaminen onnistuisi toki myös ilman etukäteissuunnittelua. Esimerkiksi kuorma-autojen välisen V2V yhteyden avulla ajoneuvot voisivat havaita toisensa samalla tiellä ja muodostaa letkan suoraan ajossa (Liang et al. 2014). Letkojen syntyminen ajomatkan aikana edellyttää kuitenkin riittävän suurta liikennettä väylällä, ja ilman keskitettyä järjestelmää letka-ajossa vietetty aika jäisi huomattavasti pienemmäksi. Letka-ajoon liittyy vielä runsaasti ratkaisemattomia ongelmia. Teknologian turvallisuuden varmistaminen on yksi tärkeimmistä tavoitteista, ennen kuin kaupallinen liikenne voidaan

aloittaa (Bergenheim et al. 2010; Alam et al. 2014; Axelsson 2017). Letka-ajon turvallisuuden takaamiseksi on esimerkiksi huomioitava erimassaisten kuorma-autojen eri pituiset jarrutusmatkat ajoneuvojen välisissä etäisyyksissä (Alam et al. 2014). Pitkillä letkoilla on myös häiritsevä vaikutus muuhun liikenteeseen, ja ne voivat vaikeuttaa esimerkiksi muun liikenteen liittymistä väylille. Ajoneuvojen välisiä etäisyyksiä voidaan toki letkassa kasvattaa, mutta letkaan kuulumattomat ajoneuvot letkan väleissä voisivat aiheuttaa turvallisuusriskin. Letka-ajo vaatii tarkkaa lainsäädäntöä, jonka avulla määritettäisiin esimerkiksi letkojen maksimipituudet. (Bergenheim et al. 2010) Tekniset ongelmat olisivat kuorma-autojen letka-ajossa erityisen vaarallisia ja tämän vuoksi ajoneuvot tulisi varustaa varajärjestelmillä, jotka esimerkiksi purkavat letkan ongelmien ilmaantuessa (Axelsson 2017). Langaton tiedonsiirto mahdollistaa letka-ajon, mutta aiheuttaa myös kyberturvallisuusriskin. Siksi viestinnän huolellinen suojaaminen on erityisen tärkeää verkottuneissa ajoneuvoissa. (Petit & Shladover 2015)

Letka-ajon ongelmana on vielä sen lopullisen toteutusmuodon epäselvyys. Letka-ajon tutkimiseen ja kehittämiseen liittyen on toteutettu useita erilaisia projekteja, kuten eurooppalainen SARTE, yhdysvaltalainen PATH, saksalainen KONVOI sekä ruotsalaisen kuorma-autovalmistaja Scanian oma projekti. Niillä jokaisella on omia tavoitteitaan ja toteutusmuotoja. Esimerkiksi SARTE-, KONVOI- ja PATH-projekteissa seuraavissa ajoneuvoissa pituus- ja poikittaissuuntainen ohjaus on toteutettu automaation avulla, kun taas Scanian projektissa kuljettajat hoitavat poikittaissuuntaisen ohjauksen. Yhteistä näillä kuitenkin on verkottuneet ajoneuvot V2V- ja V2I-teknologioiden avulla. (Bergenheim et al. 2012) Kehitystyötä voitaisiin Maitin et al. (2017) mukaan nopeuttaa huomattavasti, mikäli letka-ajo sovellusta kehitettäisiin tiiviissä yhteistyössä ja sille luotaisiin yleiset standardit. Esimerkiksi yhteinen V2V-viestinnän kieli helpottaisi kehitystyötä huomattavasti, ja ajoneuvot olisivat integroitavissa nopeasti toistensa kanssa. (Maitin et al. 2017) Käytännön projektit ovat kuitenkin tärkeässä osassa letka-ajon kehitystyötä, sillä niistä saatava informaatio kertoo, miten hyvin teknologia soveltuu todellisuudessa käytäntöön. Letka-ajoa on toteutettu yleisen liikenteen seassa esimerkiksi Saksassa, jossa KONVOI-projektissa vuosien 2005 ja 2009 välisenä aikana ajettiin neljän kuorma-auton letkaa yleisillä teillä yhteensä 3100 km (Lank et al. 2011).

4. TIEKULJETUSTEN AUTOMAATION SEURAUKSET

Tiekuljetusten automaatio tulee tulevaisuudessa mullistamaan koko tiekuljetusalan toimintaa ja sillä on pysyviä vaikutuksia myös yhteiskunnalle. Tiekuljetusten automaatio ei toistaiseksi ole kaupallisessa käytössä edennyt vielä kovin pitkälle, mutta letka-ajo ja autonomiset kuorma-autot saavuttavat markkinat aikanaan. Seuraavissa alaluvuissa tutkitaan, mitä vaikutuksia tiekuljetusten automaatiolla on yhteiskunnalle sekä kuljetusyri-tyksille ja voitaisiinko automaatiosta löytää ratkaisu tiekuljetuksien ongelmiin.

4.1 Automaation vaikutukset energiankulutukseen

Tiekuljetusten ongelmana on runsas energiankulutus suhteutettuna sen kuljettamiin tonneihin. Kuorma-autojen moottorit käyttävät pääsääntöisesti fossiilisia polttoaineita, joiden palamisreaktioista aiheutuu kasvihuonekaasuja sekä ilmansaasteita. Kasvihuonekaasuista koituu ongelmia esimerkiksi ilmastonmuutoksen muodossa. (Chapman 2007) Tiekuljetusten automaation edistäminen on yksi ratkaisu, jolla voidaan vaikuttaa tiekuljetusten energiankulutusongelmaan. Automaation avulla voidaan esimerkiksi optimoida moottorin toimintaa ja vähentää näin polttoaineen kulutusta. Hellströmin et al. (2009) tutkimuksessa kuorma-autoon asennettiin järjestelmä, joka huomioi esimerkiksi maaston muodot ja pysähtymistä vaativat risteykset GPS teknologian avulla. Sen avulla moottori optimoi nopeusrajoitusten mukaisesti tarpeellisen tehonkäytön ja minimoi jarrutuksen tarpeen. 120 km matkalla saavutettiin noin 3,5 % polttoainesäästöt ihmiskuljettajan ope-roiintiin nähden. (Hellström et al. 2009) Teknologian laajamittaisella hyödyntämisellä olisi mahdollisuus leikata tiekuljetusten energiakulutusta merkittävästi.

Tiekuljetuksien energiankulutusta voidaan vähentää myös letka-ajo sovelluksen avulla. Letka-ajo sovelluksessa vähentynyt polttoaineen kulutus perustuu kuorma-autojen väli- sen ajoetäisyyden pienentämiseen ja siitä koituihin etuihin ilmanvastuksen vähentyessä (Alam et al. 2013; Turri et al. 2017). Potentiaalisista säästöistä on tehty useita erilaisia tutkimuksia. Esimerkiksi Lammert et al. (2014) ja Alam et al. (2015) tutkivat polttoaineen kulutusta kuorma-autojen letka-ajossa suljetuilla testiradoilla. Lammertin et al. (2014) tut- kimuksessa kahden kuorma-auton muodostaman letkan polttoaineen kulutusta tutkittiin tasaisella testiradalla käyttäen erilaisia nopeuksia ja etäisyyksillä. Maksimit polttoai- nesäästöjen kannalta saavutettiin noin 15 m etäisyydellä ja noin 90 km/h nopeudella toteutetulla testillä. Tällöin letkan johtava ajoneuvo sai 5,3 % polttoainesäästön ja seu- raava ajoneuvo 9,7 % säästön. (Lammert et al. 2014) Alamin et al. (2015) tutkimuksessa

kolmen kuorma-auton letka ajoi suljetulla 45 km tieosuudella, joka sisälsi myös hiukan korkeuseroja. Ajoneuvojen nopeudeksi oli asetettu 75 km/h ja niiden väliseksi etäisyydeksi noin 20 m. Tutkimuksen kohteena olivat letkan seuraavien ajoneuvojen polttoaineen kulutukset. Tulokseksi saatiin keskimääräisesti 6,5 % polttoainesäästöt molemmille seuraaville kuorma-autoille. (Alam et al. 2015) Letkan polttoainetehokkuutta voidaan kuitenkin parantaa ottamalla huomioon maaston erilaiset korkeuserot. Turrin et al. (2017) simulointitutkimuksessa luotiin malli, joka optimoi letkan ajoneuvojen välisiä etäisyyksiä sekä niiden moottorien toimintaa. Tällä tavalla saavutettiin kolmen kuorma-auton letkalla 10 % suuremmat säästöt polttoaineen kulutuksessa verrattuna edelliseen teknologiaan. (Turri et al. 2017) Letka-ajoa on pyritty mallintamaan myös tilastollisin menetelmin. Esimerkiksi Muratorin et al. (2017) tutkimuksessa arvioitiin, että noin 65 % Yhdysvaltojen kuorma-autojen käyttämistä väylistä soveltuisi letka-ajoon. Niitä hyödyntämällä voitaisiin kokonaisuudessaan päästä noin 4 % polttoainesäästöihin. Bhoopalamin et al. (2018) mukaan todellisten polttoainesäästöjen aikaansaamiseksi olisi letkojen muodostamisen oltava mahdollisimman tehokasta. Ilman hyvin suunniteltua järjestelmää letka-ajon etuudet saattavat kadota, mikäli kuorma-autojen pitää valita kiertotie tai muuttaa ajonopeutta letkan saavuttamiseksi.

Automaatiolla on siis konkreettinen mahdollisuus parantaa tiekuljetusten polttoainetehokkuutta, ja siitä koituisi hyötyjä kuljetuksia operoiville yrityksille. Esimerkiksi Euroopan alueella kuorma-autolla ajetaan keskimäärin 150 000 km vuodessa ja kulutus on keskimäärin 32,5 l/100 km. Polttoaineet aiheuttavat kuljetusyrityksille noin 30 % kuorma-auton elinkaarikustannuksista. (Hellström et al. 2009) Polttoainekustannusten oletetaan lisäksi kasvavan, sillä raakaöljyn hinnan uskotaan nousevan noin 60 % vuoteen 2050-mennessä verrattuna 2010-luvun hintatasoon (Alam et al. 2015). Pienetkin säästöt olisivat siis merkittäviä tiekuljetusyritysten näkökulmasta. Pienemmät kulut polttoaineisiin mahdollistaisivat tiekuljetusten hintojen laskun, joka mahdollistaisi kysynnän kasvun alan yrityksille. Yhteiskunta hyötyisi vähentyneestä polttoaineen kulutuksesta päästöjen vähenemisen muodossa. Tämä olisi tärkeää ilmastonmuutoksen torjumisen ja ilmanlaadun paranemisen kannalta. Valtioille se olisi yksi lisäkeino saavuttaa tiukkojen ilmastositomuksien päästötavoitteet. Tiekuljetuksien suosion dramaattisella nousulla voi kuitenkin olla myös negatiivisia vaikutuksia ympäristölle, mikäli se veisi ympäristöystävällisempien kuljetusmuotojen, kuten rautatiekuljetuksien asiakkaita. Päästöt ajatulle kilometrille saattavat laskea, mutta liikenteen lisääntyessä kokonaispäästöt kasvavat (Fagnant & Kockemann 2015).

4.2 Automaation vaikutus tiekuljetuksien operointiin

Tiekuljetusalaa koettelee länsimaissa kuljettajapula, mikä johtuu työn henkisestä ja fyysisestä kuormittavuudesta (Min & Lambert 2002). Tilanteeseen on kuitenkin mahdollisuus löytää ratkaisu kaluston automaation lisääntymisestä. Esimerkiksi Salosen (2019, s. 1) mukaan kuljettajien tarve tulee autonomisten kuorma-autojen mukana vähenty-mään tai ainakin heidän työnkuvansa tulee muuttumaan. Kuljettajat toimisivat esimerkiksi asiakaspalvelijoina ja kuormien lastaajina automaation hoitaessa ajamisen. Ajon aikana kuljettajat voisivat suorittaa muita työtehtäviä esimerkiksi tietokoneen ja puheli-men avulla. (Salonen 2019, s. 1) Tällöin kuljettajan työ muuttuisi nykyistä vähemmän kuormittavaksi ja alalle olisi mahdollista houkutelua uusia työntekijöitä. Salosen (2019, s. 26–28) mukaan automaattiseen ajoon kykenevien ajoneuvojen käyttöönotto kohtaa kuitenkin vastarintaa, sillä kyselytutkimuksen mukaan ammattikuljettajista 71 % ei olisi halukkaita käyttämään niitä. Vastarinnan suurimpina selittävinä tekijöinä nähtiin pelko uu-den teknologian toimintavarmuudesta sekä sen uhkasta vähentää kuljettajien työpaik-koja. (Salonen 2019, s. 26–28) Automaation lisääntyminen saattaakin vähentää kuljet-tajien työpaikkoja ja uhkana on kuljettajien työvoimapulan vaihtuminen työttömyydeksi. Yh-teiskunnalle aiheutuu työttömyydestä kustannuksia menetettyjen tuloverojen, mahdollis-ten työttömyystukien ja uudelleenkouluttamisten vuoksi. Työttömyys saattaa kuitenkin jäädä pieneksi, mikäli kuljetusyritykset näkevät tarpeelliseksi pitää kuljettajia asiakaspal-velutehtävissä kuljetusten mukana.

Kuljetusyrityksille autonomiseen ajamiseen kykenevät ajoneuvot olisivat kuitenkin suuri mahdollisuus säästää henkilöstökuluissa, jotka aiheuttavat merkittävän osan operoimi-sen kustannuksista. Ilman kuljettajaa toimiminen edellyttäisi kuitenkin SAE luokituksella tason 5 automaatiota, jonka saavuttamiseen on vielä pitkä kehitystyö. Arvioiden mukaan ensimmäiset täysin autonomiset ajoneuvot voisivat saapua markkinoille 2020-luvun lo-pussa tai 2030-luvun alussa (Lumiaho & Malin 2016, s. 31–32). Toinen mahdollisuus kuljetuskustannusten vähentämiseksi on Bhoopalamin et al. (2018) mukaan letka-ajo, jossa ainoastaan johtavassa ajoneuvossa olisi kuljettaja. Tällöin kuorma-autot toimisivat henkilöauton peräkärryn tapaan ja tien varrella olisi pisteitä, joissa letkoja muodostettaisiin tai purettaisiin. Näihin pisteisiin tarvittaisiin yhä kuljettajia tuomaan lasti muodostus-paikalle tai kuljettamaan lasti lopulliseen määränpäähänsä, mutta kuljettajallista ajoaikaa sillä voitaisiin vähentää. (Bhoopalam et al. 2018) Kyseisellä letka-ajon järjestelyllä työt-tömyyden vaikutukset jäisivät yhteiskunnalle pienemmiksi, sillä kuljettajia tarvittaisiin yhä. Kuljetusyritysten kustannussäästöt riippuisivat hyvin pitkälti teknologian toteuttami-sen onnistumisesta.

Automaation lisääntyminen kuorma-autoissa mahdollistaa myös niiden tehokkaamman hyödyntämisen. Nykyinen lainsäädäntö pakollisine kuljettajien taukoineen (Goel 2010) aiheuttaa kuljetusyritykselle tehotonta aikaa tien päällä. Bhoopalamin et al. (2018) mukaan ensimmäisenä ongelman voisi ratkaista letka-ajo, jossa automaation avulla seuraava ajoneuvo kykenisi toimimaan itsenäisesti letkassa. Tällöin kuljettaja voisi pitää lakisääteisen tauon ajoneuvon liikuessa. Tämä vaatisi kuitenkin etukäteissuunnittelua letkoista toimiakseen, sillä riittävän pitkäaikaisen letkan muodostaminen taukoja varten olisi muuten vain sattuman varassa. Myöhemmin ongelman voisi ratkaista autonomiset kuorma-autot, jotka eivät vaatisi kuljettajaa lainkaan. (Bhoopalam et al. 2018) Taukojen poistuminen hyödyttäisi kuljetusyrityksiä kaluston tehokkaan hyödyntämisen ja aikaan sidottujen kustannusten osalta. Kuormat saataisiin toimitettua nopeammin kohteisiinsa, ja kalusto olisi nopeammin valmiina uuteen toimitukseen. Tehostuminen voisi johtaa parhaimmillaan pienempään kaluston tarpeeseen, mikäli samassa ajassa kyettäisiin riittävän moneen toimitukseen. Myös henkilöstökustannuksia olisi mahdollisuus vähentää, kun kalusto kuljettajineen viettäisi vähemmän aikaa tien päällä.

4.3 Automaation vaikutus liikenneturvallisuuteen

Liikenneturvallisuuden parantaminen on yksi tärkeimmistä tulevaisuuden tieliikenteen tavoitteista, sillä vuosittain valtava määrä ihmisiä kuolee ja loukkaantuu liikenneonnettomuuksien seurauksena. Suurimpina onnettomuuksien selittävinä tekijöinä ovat ihmisten tekemät inhimilliset virheet sekä tahalliset liikennesääntöjen rikkomiset, sillä niistä aiheutuu yli 90 % onnettomuuksista. (Fagnant & Kocelmann 2015) Automaation avulla on kuitenkin potentiaalia parantaa tieliikenteen turvallisuutta. Ahlrothin & Pölläsen (2011, s. 99) mukaan automaatio voi toimia kuljettajien avustavana järjestelmänä onnettomuuksien ehkäisemiseksi. Nykyisin valmistettavat ajoneuvot ovatkin pääsääntöisesti varustettu esimerkiksi lukkiutumattomilla jarruilla ja ajonvakautusjärjestelmillä. Tulevaisuuden avustavia automaatiojärjestelmiä ajoneuvoihin ovat esimerkiksi omalla kaistalla pysymistä vahtivat järjestelmät, kuljettajien vireystilaa seuraavat järjestelmät sekä pimeäajoa helpottavat tutkat. (Ahlroth & Pöllänen, s. 99) Automaattiseen ajoon kykenevät ajoneuvot tulevat parantamaan tieliikenneturvallisuutta merkittävästi, sillä niiden avulla on mahdollista poistaa ihmiskuljettajista johtuvat virheet (Alam et al. 2015; Fagnant & Kockelmann 2015). Automaattiset järjestelmät kykenevät reagoimaan ihmistä nopeammin vaarallisiin tilanteisiin omien havaintojärjestelmiensä tai muiden ajoneuvojen kanssa tapahtuvan kommunikoinnin kautta (Alam et al. 2015). Automaatio ei myöskään aja päihtyneenä tai ota riskejä esimerkiksi ohitustilanteissa, vaan toteuttaa sille ohjelmoituja toimintoja virheittä (Fagnant & Kockelmaan 2015).

Ongelmaksi tieliikenneturvallisuuden parantumisessa on tunnistettu sekoittuneen liikenteen välivaihe, jossa liikenteessä liikkuu ihmiskuljettajallisia ajoneuvoja sekä automaation ajamia ajoneuvoja. Tämä aiheutuu siitä, että automaatio on ohjelmoitu kulkemaan loogisesti ja liikennesääntöjen mukaisesti liikenteessä, vaikka normaali ihmiskuljettajien liikenne ei välttämättä noudata kovin selkeää logiikkaa. Esimerkiksi Yhdysvalloissa on raportoitu automaattisten ajoneuvojen testiajoissa kolareista, joissa ihmiskuljettajallinen ajoneuvo on aiheuttanut kolarin johtuen automaattisen ajoneuvon loogisista liikkeistä. (Sun et al. 2017) Automaattiseen ajamiseen kykenevien ajoneuvojen kehitystyössä myös eettiset kysymykset ovat tärkeitä. Vaikka automaatio pystyisikin reagoimaan kaikkiin vaaratilanteisiin, tieliikenteessä täysin odottamattomat, varmaan onnettomuuteen johtavat tapahtumat ovat mahdollisia etenkin sekoittuneen liikenteen aikana. Tällöin automaation tulisi kyetä tekemään ratkaisu, joka minimoisi onnettomuuden seuraukset mahdollisimman vähäisiksi. Pelkästään oman ajoneuvon turvallisuus ei voi olla etusijalla, jos peltivaurion vaihtoehtona on vaikkapa jalankulkijan vakava loukkaantuminen. (Fagnant & Kockelmann 2015) Automaation pitäisi pystyä toimimaan myös vaativissa olosuhteissa, sillä esimerkiksi talviliikenteessä tien pinnan kitkakerroin saattaa olla lähellä nolaa ja tiemerkinnot sekä liikennemerkkit voivat olla lumen peittämiä (Innmaa et al. 2015, s. 22). Letka-ajon vaikutuksista liikenneturvallisuuteen on useampia mielipiteitä. Esimerkiksi letkoissa olevat lyhyet välit aiheuttivat kokeiden mukaan myös muun liikenteen ihmiskuljettajallisten ajoneuvojen välisien etäisyyksien pientymisen (Gouy et al. 2014). Pitkät letkat aiheuttaisivat liikenteen tukkeutumista ja saattaisivat lisätä esimerkiksi korkean riskin liikennekäyttäytymistä kuten vaarallisia ohituksia (Bergenheim et al. 2010). Letka-ajo itsessään on kuitenkin hyvin toteutettuna normaalia ajoa turvallisempaa, johtuen ihmisen roolin vähenemisestä ajamisessa (Alam et al. 2014). Axelsson (2017) mainitsee lisääntyvän teknologiamäärän ajoneuvoissa kasvattavan riskiä onnettomuuksiin, jotka johtuvat ajoneuvon teknisistä ongelmista. Esimerkiksi pitkässä kuorma-autojen letkassa tekniikan totaalilla pettämisellä voisi olla tuhoisat vaikutukset. Tilanteet ovat kuitenkin vältettävissä huolellisella suunnittelulla ja varajärjestelmillä tekniikan pettäessä. (Axelsson 2017) Lisääntynyt teknologia tuo mukanaan myös riskin kyberrikollisuudesta, joka kohdistuu ajoneuvojen automaatiojärjestelmiin. Tämän takia kyberturvallisuuteen tulisi kiinnittää erityistä huomiota ja teknologiat suojata vahvasti. (Petit & Shladover 2015) Kehittyneen automaation avulla on mahdollisuus vähentää tieliikenneonnettomuuksia merkittävästi. Tästä koituisi merkittäviä säästöjä yhteiskunnalle omaisuus- ja ihmisvahinkojen vähentyessä, sillä esimerkiksi Yhdysvalloissa vuosittaiset taloudelliset menetykset onnettomuuksista ovat yli 200 miljardia dollaria (Fagnant & Kockelmann 2015). Turvalli-

suuden lisääntyminen hyödyttäisi myös kuljetusyhtiöitä. Ajoneuvot joutuisivat pienemällä todennäköisyydellä onnettomuuteen ja siten pois hyötykäytöstä. Myös vakuutusmaksujen odotetaan laskevan turvallisuuden lisääntymisen myötä, sillä vakuutusyhtiöille suuria korvausvelvoitteita aiheuttavia isoja onnettomuuksia tapahtuisi entistä harvemmin (Sun et al. 2017).

4.4 Automaation vaikutus liikenteeseen

Jatkuvasti lisääntyneet liikennemäärät teillä ovat aiheuttaneet väylien kapasiteetin loppumisen, mikä johtaa liikenteen ruuhkautumiseen (Mäntynen et al. 2012, s. 26–27). Liikenteen ruuhkautuminen vaikuttaa Alamin et al. (2015) mukaan negatiivisesti tiekuljetusten operoimiseen, sillä se viivästyttää toimituksia. Myös yhteiskunta kärsii liikenne-ruuhkista taloudellisten menetysten vuoksi. Esimerkiksi Euroopan unionissa liikenne-ruuhkiin liittyvien kustannuksien arvioidaan olevan 1 % bruttokansantuotteen arvosta ja ilman toimenpiteitä sen uskotaan nousevan 50 % nykytasosta vuoteen 2050 mennessä. (Alam et al. 2015) Perinteisesti ongelmaa on lähdetty ratkaisemaan kasvattamalla väylien kapasiteettia infrastruktuuriin investoimalla. Ongelmaan on kuitenkin mahdollisuus löytää ratkaisu lisäämällä nykyisten väylien kapasiteettia ajoneuvojen automaation avulla. Esimerkiksi letka-ajossa ajoneuvojen väliset etäisyydet pienenevät ja tuovat näin lisätilaa väylälle. Teknologian laajamittaisella hyödyntämisellä kuorma-autoissa on mahdollisuus parantaa nykyisten väylien kapasiteettia merkittävästi. (Alam et al. 2014). Myös risteyksien välityskapasiteetin parantaminen on mahdollista ajoneuvojen automaation avulla. Toisiinsa ja infrastruktuuriin yhteydessä olevat ajoneuvot voisivat ylittää risteuksen nopeasti ja tiiviissä letkassa, mikä kasvattaisi risteuksen välityskykyä ainakin kaksinkertaiseksi (Lioris et al. 2017). Automaattiseen ajamiseen kykenevien ajoneuvojen avulla on myös mahdollista parantaa ihmiskuljettajista aiheutuvaa liikennevirran epästabiiliisuutta, joka on osasy syy liikenne-ruuhkiin (Sun et al. 2017).

Automaation lisääntyminen voi kuitenkin lisätä tiekuljetuksien suosiota merkittävästi. Väylät pystyvät välittämään korkean automaation tasolla selvästi paremmin liikennettä, mutta kapasiteetin täytyessä ovat liikenne-ruuhkat jälleen väistämättömiä (Fagnant & Kockelmann 2015). Liikenteen sujuvuuden parantuminen edellyttäisi vähintään automaation tason 3 saavuttamista ja sen laajaa levinneisyyttä koko ajoneuvokannassa, mikä tapahtuu hitaasti (Innamaa et al. 2015, s. 6). Bhoopalamina et al. (2018) mukaan kuorma-autojen letka-ajon yleistyessä niiden määrän odotetaan kuormittuvan tietyille väylille ja ne saattavat aiheuttaa liikenteen tukkeutumista. Esimerkiksi ohittaminen, valtateille liittyminen ja niiltä poistuminen voivat hankaloitua, mikä aiheuttaa negatiivisia vaikutuksia liikennevirtaan. Nykyistä infrastruktuuria ei ole suunniteltu letka-ajon tarpeisiin,

jolloin se voi kohdata haasteita esimerkiksi siltojen kantavuuden suhteen. Tällöin olisi toteutettava kalliita lisäinvestointeja väyliin tai rajoitettava letka-ajoa tietyillä osuuksilla. (Bhoopalam et al. 2018) Autonomiset ajoneuvot kulkevat hyvin täsmällisesti samassa kohdassa ajorataa ja ongelmaksi on tunnistettu tien rakenteen kasvanut kuluminen (Fagnant & Kockelmann 2015). Kasvava liikenne pahentaa ongelmaa entisestään.

Liikenteen sujuvuuden paranemisesta olisi selviä hyötyjä yhteiskunnalle ja kuljetusyrityksille. Vähentyneet viivästykset kuljetuksissa laskisivat aikaan liittyviä kustannuksia ja parantaisivat kuljetusten täsmällisyyttä. Yhteiskunta välttyisi taas taloudellisilta menetyksiltä ja lisäinvestoinneilta, jotka jouduttaisiin tekemään väylien kapasiteetin kasvattamiseksi. Autonomiset ajoneuvot taas lisäävät teiden kunnossapitokustannuksia yhteiskunnalle.

4.5 Automaation vaikutukset tiekuljetusalaan

Lisääntynyt korkean teknologian määrä ajoneuvoissa nostaa luonnollisesti niiden hintaa. Varsinkin ensimmäiset markkinoille saapuvat korkeamman automaatioasteen ajoneuvot saattavat olla huomattavasti perinteisiä ajoneuvoja kalliimpia, sillä uusi vaadittu teknologia on kallista ja massatuotannon etuja ei ole vielä saavutettu. Ajan kuluessa hintaeron oletetaan kuitenkin tasoittuvan hieman. (Fagnant & Kockelmann 2015) Automaation lisääntyessä ja ajoneuvojen hintojen noustessa kuljetusyrityksien kiinteiden kustannusten osuus nousee kokonaiskustannuksista. Muuttuvien kustannusten osuus taas alenee todennäköisesti polttoainekulujen ja henkilöstökulujen vähentyessä. Tällöin kuljetusyritysten kannalta olisi tärkeää kyetä pitämään kalusto mahdollisimman hyvin tuottavassa toiminnassa eli tien päällä kuljettamassa tavaraa. Tämä vaatisi hyvien asiakkaiden ja jatkuvien tavaravirtojen löytämisen markkinoilta. Ensimmäinen ongelma tilanteessa on tiekuljetusalan pienyritysvaltaisuus. Pienille yrityksille isot investoinnit kalustoon ovat suuri riski ja rahoitustakin voi olla hankala saada. Isommilla yrityksillä on isommat asiakkaat, tasaisemmat tavaravirrat sekä paremmat mahdollisuudet investoida uuteen kalustoon. Näin niillä on kehittyneemmän teknologian avulla mahdollisuus luoda kilpailuetua itselleen.

Automaation lisääntymisellä on potentiaalia muuttaa koko tiekuljetusala voimakkaasti. Letka-ajo on todennäköisesti ensimmäinen kaupalliseen käyttöön markkinoille tuleva korkeamman automaatioasteen sovellus, jota kuorma-autot voivat hyödyntää. Letkaajon hyödyt on tutkimuksien avulla todistettu, mutta niiden jakautuminen ei ole tasaista. Esimerkiksi letkassa seuraava ajoneuvo saa merkittävästi paremman hyödyn ilmanvaihduksen vähenemisestä verrattuna letkan johtavaan ajoneuvoon ja säästää näin enemmän polttoainekustannuksissa. Tämä ei ole kovin oikeudenmukainen tilanne, varsinkin

jos ajoneuvot ovat kilpailevien yritysten omistamia. (Alam et al. 2015) Tilanteen korjaamiseksi Bhoopalam et al. (2018) ehdottavat, että letka-ajosta koituvat hyödyt joko mitattaisiin tai sovittaisiin standardien mukaisiksi ja pystyttäisiin näin jakamaan tasan toteutuneiden tietojen perusteella. Näin kilpailevilla yrityksillä voisi olla motivaatiota toimia yhdessä kustannusten säästämiseksi ja toiminnan tehostamiseksi. Letka-ajolla on myös potentiaalia vaikuttaa yritysten sijaintipäätöksiin. Yrityksiä hyödyttäisi sijaita toistensa lähellä, jotta letkojen muodostaminen olisi nopeaa ja siitä saatavat hyödyt mahdollisimman korkeita. (Bhoopalam et al. 2018) Ongelmaksi saattaa muodostua haluttomuus auttaa kilpailevaa yritystä. Mikäli kuljetusyrityksen oma kalustokanta olisi riittävän iso, niin se voisi toteuttaa letka-ajoa itsenäisesti saavuttaakseen kilpailuetua vain itselleen (Alam et al. 2015). Tällöin isommilla yrityksillä olisi selkeä etulyöntiasema pienempiä kilpailijoitaan vastaan. Asiaan voitaisiin vaikuttaa myös lainsäädännöllä, mutta markkinoiden vapaan kilpailun näkökulmasta se olisi ongelmallista. Tiekuljetusalan ollessa pienyritysvaltainen olisi pienemmillä yrityksillä riski jäädä kehityksessä jälkeen isoista toimijoista ja joutua näin taloudellisiin vaikeuksiin. Toisaalta kehittynyt teknologia voi tuoda asiakkaita myös muilta kuljetusmuodoilta ja erikoistumisen kautta myös pienemmillä yrityksillä olisi mahdollisuus löytää omat asiakkaansa.

Letka-ajon hyödyntämisessä keskeinen rooli on sen toteutustavalla. Keskitetyn letkojen suunnittelun avulla letka-ajon edut saataisiin hyödynnettyä mahdollisimman tehokkaasti (Bhoopalam et al. 2018). Yhteistyö hyödyttäisi kaikkia järjestelmää käyttäviä kuljetusyrityksiä, koska sen avulla on mahdollisuus huomattavasti suurempiin polttoainesäästöihin kuin yksittäisen yrityksen omilla järjestelyillä (Alam et al. 2015). Järjestelmälle olisi luotava riittävät kannustimet esimerkiksi valtioiden toimesta, sillä myös valtiot hyötyisivät laajamittaisesta letka-ajon käyttämisestä huomattavasti esimerkiksi päästöjen vähentämisen kautta.

5. PÄÄTELMÄT

Tämä työ lisäsi tietoisuutta tiekuljetusten automaatiosta ja sen seurauksista kokoamalla yhteen aiheeseen liittyvää kirjallisuutta. Työ alkoi tiekuljetusten nykytilan selvittämällä sekä niiden ongelmien määrittämällä. Tiekuljetuksien rooli maailmantaloudelle on nykyisin hyvin tärkeä ja se on eniten kasvanut kuljetusmuoto viimeisten vuosikymmenien aikana (Alam et al. 2015). Tiekuljetuksien suosiota selittävät erityisesti alan kyky sopeutua muuttuvaan maailmaan ja erilaisiin tarpeisiin. Tiekuljetusmarkkinat ovat kehittyneet kovan kilpailun seurauksena erittäin tehokkaiksi ja monipuolisiksi. Tiekuljetukset kohtaavat kuitenkin useita ongelmia, joiden ratkaisemiseksi käytetään paljon resursseja. Ilmastonmuutos on esimerkki globaalista ongelmasta, joka aiheutuu osaltaan tiekuljetusten massiivisista hiilidioksidipäästöistä. Tiekuljetusten seurauksena kuolee vuosittain valtava määrä ihmisiä liikenneonnettomuuksissa ja liikenneturvallisuuden parantaminen on ollut selvä tavoite jo pitkään. Myös tiekuljetusala on saanut osansa ongelmista. Kasvava työvoimapula kuljettajista uhkaa alan kasvua, kun nuoret eivät enää innostu raskaasta ammatista. Polttoainekustannukset ovat kasvussa alan pääenergiälähteen eli raakaöljyn vähentyessä maailmasta kiihtyvällä tahdilla. Kasvavat liikennemäärät teillä ruuhkauttavat liikennettä pahoin ja kuljetukset on suunniteltava ottaen viivästykset huomioon. Mäntäongelmiin ei ole vain yhtä oikeaa ratkaisua, vaan tiekuljetuksien kokonaisvaltainen kehittäminen on tärkeässä roolissa. Tiekuljetuksien automaatiolla on potentiaalia toimia yhtenä ratkaisukeinona.

Seuraavassa vaiheessa tutkitaan tarkemmin tiekuljetusten automaatiota. Automaatio ja robotiikka ovat vaikuttaneet jo useisiin aloihin tehostamalla toimintaa pysyvästi. Tieliikenteessä ja tiekuljetuksissa lopullinen murros on kuitenkin vasta edessä, sillä SAE:n automaatioasteikolla kaupallisessa liikenteessä on saavutettu vasta automaation taso 2. Itsenäisesti ajavat ajoneuvot ovat olleet tieliikenteen visio jo 1930-luvulta lähtien, mutta kehitystyö on osoittautunut haastavaksi. Tieliikenteessä on todella paljon muuttujia ja automaation tulisi kyetä reagoimaan kaikkiin mahdollisiin tilanteisiin ennen kuin sitä voidaan harkita kaupalliseen käyttöön. Teknologian kehittyminen on kuitenkin vauhdittanut kehitystyötä viimeisten vuosikymmenien aikana merkittävästi. Tiekuljetuksien automaation kirjallisuus on keskittynyt hyvin vahvasti letka-ajon sovelluksen ympärille, sillä sen toteuttamiseksi ei tarvita erityisen korkeaa automaation astetta. Letka-ajon hyödyt perustuvat erityisesti ajoneuvojen välisen ajoetäisyyden pienentymiseen ja siitä aiheutuvaan ilmanvastuksen vähenemiseen (Bergenheim et al. 2010). Letka-ajon lisäksi itsenäiseen ajoon kykenevät kuorma-autot tulevat muuttamaan tiekuljetusalaa pysyvästi.

Työn lopussa tutkittiin tiekuljetusten automaation seurauksia ja automaation potentiaalia ratkaista tiekuljetusten ongelmia. Tiekuljetusten energiatehokkuus tulee parantumaan automaation myötä. Letka-ajossa on tutkitusti pienempi polttoaineen kulutus (Lammert et al. 2014), kuten myös automaation avulla optimoiduilla kuorma-autoilla (Hellström et al. 2009). Tällä on positiivisia vaikutuksia ympäristölle ja se alentaa tiekuljetusalan polttoainekustannuksia. Lisääntynyt automaatio voi myös lisätä tiekuljetusten suosiota kuljetusmuotona, jolloin alan kokonaispäästöt kasvavat nykytilasta. Autonomisilla kuorma-autoilla ja letka-ajon kehittyneillä sovelluksilla on potentiaalia ratkaista tiekuljetusalaan vaivaava kuljettajapula. Kehitys sisältää myös riskin kuljettajien työttömyyden kasvusta, mikä aiheuttaa yhteiskunnalle kustannuksia. Kuljetusyrityksiä lisääntynyt automaatio hyödyttää henkilöstökustannuksen alenemisena sekä kuljetusten tehokkuuden parantumisena pakollisten taukojen poistuttua.

Liikenneonnettomuudet aiheutuvat pääsääntöisesti ihmiskuljettajan tekemistä virheistä, joten automaation hoitaessa ajamisen tämä ongelma poistuu (Fagnant & Kockelmann 2015). Letka-ajo ja autonomiset kuorma-autot tuovat kuitenkin uudenkaltaisia riskejä liikenteeseen. Lisääntynyt teknologia lisää teknisistä ongelmista aiheutuvia onnettomuuksia ja ajoneuvot saattavat joutua kyberrikollisuuden kohteeksi. Sekoittuneen liikenteen välivaihe on haastava, kun liikenteessä toimii eri periaatteilla kulkevia ajoneuvoja. Kokonaisturvallisuuden oletetaan kuitenkin nousevan. Valtiot hyötyvät parantuneesta liikenneturvallisuudesta, sillä valtavia vuosittaisia onnettomuuskustannuksia on mahdollisuus vähentää selvästi. Vähentyneet onnettomuusmäärät hyödyttävät myös kuljetusyrityksiä onnettomuusriskin pienentyessä ja vakuutusmaksujen alenemisina. Tiekuljetuksien automaatiolla on positiivisia vaikutuksia myös liikennevirtaan. Letka-ajossa ajoneuvojen väliset etäisyydet pienentyvät nopeuden kuitenkin säilyessä, mikä kasvattaa väylän välityskapasiteettia. Automaattiseen ajamiseen kykenevät ajoneuvot lisäävät myös liikennevirran stabiilisuutta. Yhteiskunta ja kuljetusyritykset hyötyisivät liikennevirran paranemisesta, sillä liikennesuoritus vähentyisivät, kuten myös niistä aiheutuvat kustannukset. Vaikka väylien välityskapasiteetti kasvaisikin automaation myötä, niin liikenteen merkittävä lisääntyminen lopulta pahentaa ruuhkaongelmaa.

Automaatiolla tulee olemaan iso vaikutus tiekuljetusalan tulevaisuuteen. Alan markkinat tulevat siirtymään nykyistä enemmän isompien toimijoiden haltuun, sillä niillä on paremmat mahdollisuudet investoida kehittyneeseen teknologiaan ja myös hyödyntää sitä tehokkaammin. Muutoksen suuruus riippuu kuitenkin hyvin pitkälti alan yhteistyökyyvystä. Yhteistyön avulla voitaisiin saada esimerkiksi letka-ajon suotuisat vaikutukset keskitetyn

suunnittelun kautta nopeammin laajaan käyttöön, mikä parantaisi koko alan kannattavuutta. Myös valtioiden pitäisi olla tukemassa niille hyödyllistä muutosta mahdollistavan lainsäädännön ja tukien avulla.

Tiekuljetusten automaatiolla on paljon positiivisia mahdollisuuksia ja alan tutkimuksien määrä on noussut viimeisten vuosien aikana hurjasti. Lopullisen toteutusmuodon epäselvyys tekee kuitenkin kehitystyöstä haastavaa ja yhteistyön kehittämällä olisi mahdollisuus saada nopeampia tuloksia. Erityisesti autonomisten kuorma-autojen tutkimus on jäänyt vähäiseksi, vaikka se tulee vaikuttamaan tiekuljetusten tulevaisuuteen voimakkaasti.

LÄHTEET

- Ahlroth, J. & Pöllänen, M. (2011). Liikenneturvallisuus. Tampereen teknillinen yliopisto. Liikenteen tutkimuskeskus Verne. Tampere 2011.
- Alam, A., Martensson, J. & Johansson, K.H. (2013). Look-ahead cruise control for heavy duty vehicle platooning. IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings. ITSC 2013. pp. 928-935.
- Alam, A., Gattami, A., Johansson, K.H. & Tomlin, C.J. (2014). Guaranteeing safety for heavy duty vehicle platooning: Safe set computations and experimental evaluations. Control Engineering Practice. Vol. 24(1). pp. 33-41.
- Alam, A., Besselink, B., Turri, V., Martensson, J. & Johansson, K.H. (2015). Heavy-duty vehicle platooning for sustainable freight transportation: A cooperative method to enhance safety and efficiency. IEEE Control Systems. Vol. 35(6). pp. 34-56.
- Andersson, C., Haavisto, I., Kangasniemi, M., Kauhanen, A., Tikka, T., Tähtinen, L. & Törmänen, A. (2016). Robotit töihin, koneet tulivat – mitä tapahtuu työpaikoille? EVA raportti 2/2016. Helsinki: Taloustieto Oy.
- Axelsson, J. (2017). Safety in vehicle platooning: A systematic literature review. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol. 18(5), pp. 1033-1045
- Bender, J.G. & Fenton, R.E. (1969). A Study of Automatic Car Following. IEEE Transactions on Vehicular Technology. Vol. 18(3). pp. 134-141.
- Bergenheim, C., Huang, Q., Benmimoun, A. & Robinson, T. (2010). Challenges of platooning on public motorways. 17th Intelligent transport systems World Congress 2010. Conference paper.
- Bergenheim, C., Pettersson, H., Coelingh, E., Englund, C., Shladover, S. & Tsugawa, S. (2012). Overview of platooning systems. 19th Intelligent Transport Systems World Congress. Conference paper.
- Bhoopalam, A.K., Agatz, N. & Zuidwijk, R. (2018). Planning of truck platoons: A literature review and directions for future research. Transportation Research Part B. Vol. 107. pp. 212-228.
- Chapman, L. (2007). Transport and climate change: a review. Journal of Transport Geography. Vol. 15(5). pp. 354-367.
- Dejax, P.J. & Crainic, T.G. (1987). Review of empty flows and fleet management models in freight transportation. Transportation Science. Vol. 21(4). pp. 227-247.
- EEA. (2018a). Greenhouse gas emissions from transport 2016. Saatavissa (viitattu 02.05.2019) <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-emissions-of-greenhouse-gases/transport-emissions-of-greenhouse-gases-11>
- EEA. (2018b). Final energy consumption by mode of transport. Saatavissa (viitattu 02.05.2019) <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-final-energy-consumption-by-mode/assessment-9>
- Ehrola, E. (1996). Liikenneväylien rakennesuunnittelun perusteet. Helsinki: Rakennustieto.
- Eurostat. (2018). Freight transport statistics. Saatavissa (viitattu 02.05.2019) https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Freight_transport_statistics

- Fagnant, D.J. & Kockelman, K. (2015). Preparing a nation for autonomous vehicles: Opportunities, barriers and policy recommendations. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. Vol. 77. pp. 167-181.
- Goel, A. (2010). Truck driver scheduling in the European Union. *Transportation Science*. Vol. 44(4). pp. 429-441.
- Goel, A. (2014). Hours of service regulations in the United States and the 2013 rule change. *Transport Policy*. Vol. 33. pp. 48-55.
- Gouy, M., Wiedemann, K., Stevens, A., Brunett, G. & Reed, N. (2014). Driving next to automated vehicle platoons: How do short time headways influence non-platoon drivers' longitudinal control? *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. Vol. 27. pp. 264-273.
- Hellström, E., Ivarsson, M., Åslund, J. & Nielsen, L. (2009). Look-ahead control for heavy trucks to minimize trip time and fuel consumption. *Control Engineering Practice*. Vol. 17(2). pp. 245-254.
- Innamaa, S., Kanner, H., Rämä, P. & Virtanen, A. (2015). Automaation lisääntymisen vaikutukset tieliikenteessä. *Trafi. Trafin tutkimuksia 01/2015*.
- Kim, K.H. & Bae, J.W. (2004). A look-ahead dispatching method for automated guided vehicles in automated port container terminals. *Transportation Science*. Vol. 38(2). pp. 224-234.
- Lammert, M.P., Duran, A., Diez, J., Burton, K. & Nicholson, A. (2014). Effect of Platooning on Fuel Consumption of Class 8 Vehicles Over a Range of Speeds, Following Distances, and Mass. *SAE International Journal of Commercial Vehicles*. Vol. 7(2).
- Lank, C., Haberstroh, M. & Wille, M. (2011). Interaction of human, machine, and environment in automated driving systems. *Transport Research Record*. Vol. 2243(1). pp. 138-145.
- Lewine, W.S. & Athans, M. (1966). On the Optimal Error Regulation of a String of Moving Vehicles. *IEEE Transactions on Automatic Control*. Vol. 11(3). pp. 355-361.
- Liang, K., Martensson, J. & Johansson, K.H. (2014). Fuel-saving potentials of platooning evaluated through sparse heavy-duty vehicle position data. *IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Proceedings 2014*. pp. 1061-1068.
- Lumiaho, A. & Malin, F. (2016). Tieliikenteen automatisoinnin etenemissuunnitelma ja toimenpideohjelma 2016-2020. Liikennevirasto. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 19/2016.
- Maiti, S., Winter, S. & Kulik, L. (2017). A conceptualization of vehicle platoons and platoon operations. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. Vol. 80. pp. 1-19.
- Milakis, D., Van Arem, B. & Van Wee, B. (2017). Policy and society related implications of automated driving: A review of literature and directions for future research. *Journal of Intelligent Transportation Systems: Technology, Planning, and Operations*. Vol. 21(4). pp. 324-348.
- Min, H. & Lambert, T. (2002). Truck driver shortage revisited. *Transportation Journal*. Vol. 42(2), pp. 5-16.
- Muratori, M., Holden, J., Lammert, M., Duran, A., Young, S. & Gonder, J. (2017). Potentials for Platooning in U.S. Highway Freight Transport. *SAE International Journal of Commercial Vehicles*. Vol. 10(1). pp. 45-49.
- Mäntynen, J., Kallberg, H., Kalenoja, H., Rauhamäki, H., Pöllänen, M., Luukkonen, T. & Karhula, K. (2012). Liikennetekniikan perusteet. Tampereen teknillinen yliopisto. Liikenteen tutkimuskeskus Verne. Tampere 2012.
- Oman, H. (2003). Energy Sources for the World's Post-Petroleum Era. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*. Vol. 18(11). pp. 35-39.

- Peppard, L.E. (1974). String Stability of Relative-Motion PID Vehicle Control Systems. *IEEE Transactions on Automatic Control*. Vol. 19(5). pp. 579-581.
- Petit, J. & Shladover, S.E. (2015). Potential Cyberattacks on Automated Vehicles. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. Vol. 16(2). pp. 546-556.
- Pöllänen, M., Mäkelä, T., Nykänen, L., Liimatainen, H. & Mäntynen, J. (2015). Liikenteen markkinat Suomessa. *Trafi. Trafin tutkimuksia* 16/2015.
- Rodrigue, J., Comtois, C., & Slack, B. (2009). *The geography of transport systems*. 2nd ed. New York: Routledge.
- Roodbergen, K.J. & Vis, I.F.A. (2009). A survey of literature on automated storage and retrieval systems. *European Journal of Operational Research*. Vol. 194(2). pp. 343-362.
- SAE International. (2016). *Taxonomy and definitions for terms related to on-road Motor Vehicle automated driving systems*. Standard J3016. Society of Automotive Engineers.
- Scania. (2017). Scania designin full-scale autonomous truck platooning operations in Singapore. Saatavissa (viitattu 03.05.2019) <https://www.oemoffhighway.com/electronics/smart-systems/automated-systems/press-release/20848438/scania-ab-scandia-designing-fullscale-autonomous-truck-platooning-operations-in-singapore>
- Salonen, T-T. (2019). Ammattikuljettajien näkemyksiä automaation vaikutuksista liikenteeseen tulevaisuudessa. *Liikenneturva. Liikenneturvan selvityksiä* 1/2019.
- Solakivi, T., Ojala, L., Laari, S., Lorentz, H., Kiiski, T., Töyli, J., Malmsten, J., Bask, A., Rintala, O., Paimander, A. & Rintala, H. (2018). *Logistiikkaselvitys 2018*. Turun kauppakorkeakoulun julkaisuja sarja. Sarja e-2:2018.
- Sun, Y., Olaru, D., Smith, B., Greaves, S. & Collins, A. (2017). Road to autonomous vehicles in Australia: An exploratory literature review. *Road and Transport Research*. Vol. 26(1). pp. 34-47.
- Tilastokeskus. (2018a). *Tietilasto 2017. Suomen virallinen tilasto (SVT)*. Saatavissa (viitattu 28.03.2019) <https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/tietilasto-2017.pdf>
- Tilastokeskus. (2018b). *Suomen rautatietilasto 2017. Suomen virallinen tilasto (SVT)*. Saatavissa (viitattu 28.03.2019) https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/rautatietilasto_2017.pdf
- Tilastokeskus. (2018c). *Tieliikenteen tavarankuljetukset 2017. Suomen virallinen tilasto (SVT)*. Saatavissa (viitattu 28.03.2019) http://www.stat.fi/til/kttav/2017/kttav_2017_2018-04-26_tie_001_fi.html
- Tilastokeskus. (2019). *Tieliikenneonnettomuustilasto. Suomen virallinen tilasto (SVT)*. Saatavissa (viitattu 24.04.2019) https://www.stat.fi/til/ton/2017/ton_2017_2019-01-23_tie_001_fi.html
- Turri, V., Besselink, B. & Johansson, K.H. (2017). Cooperative Look-Ahead Control for Fuel-Efficient and Safe Heavy-Duty Vehicle Platooning. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*. Vol. 25(1). pp. 12-28.
- Valtiovarainministeriö. (2018). *Talousarvioesitys 2018, liikenneverkko*. Saatavissa (Viitattu 05.02.2019) <http://budjetti.vm.fi/indox/sisalto.jsp?year=2018&lang=fi&maindoc=/2018/tae/valtiovarainministerionKanta/valtiovarainministerionKanta.xml&opennode=0:1:241:927:937>