Tampereen yliopisto

Mikael Vilola

TÄYSIN AUTONOMINEN AJAMINEN (FSD) JA KULJETTAJAA AVUSTAVAT JÄRJESTELMÄT (ADAS) - EROT JA HAASTEET

Kandidaatintyö
Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta
Elokuu 2025

TIIVISTELMÄ

Mikael Vilola: Täysin autonominen ajaminen (FSD) ja kuljettajaa avustavat järjestelmät (ADAS) - erot ja haasteet
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Tieto- ja sähkötekniikan kandidaattiohjelma
Elokuu 2025

Autonominen ajaminen on yksi ajoneuvoteknologian keskeisimmistä kehityssuunnista, joka jakautuu kahteen osa-alueeseen: kuljettajaa avustaviin järjestelmiin (ADAS) ja täysin autonomisiin ajoneuvoihin (FSD). Tässä kandidaatintyössä tarkastellaan näiden kahden järjestelmän teknologisia, toiminnallisia ja lainsäädännöllisiä eroja sekä käyttäjäkokemukseen ja turvallisuuteen liittyviä näkökulmia.

Työ on toteutettu kirjallisuuskatsauksena. Aineistona on hyödynnetty tieteellisiä julkaisuja ja alan standardeja, joista keskeisin on SAE Internationalin määritelmä autonomisen ajamisen tasoista. Tarkastelussa selvitetään, miksi ADAS-järjestelmät ovat jo laajassa käytössä, kun taas FSD-järjestelmien käyttöönotto on edelleen hyvin rajallista.

Tutkimuksessa havaittiin, että ADAS-järjestelmät perustuvat pääosin sääntöpohjaisiin algoritmeihin ja yksinkertaisempaan sensoriteknologiaan, kun taas FSD-järjestelmät vaativat edistyneempää sensorifuusiota, tekoälypohjaista päätöksentekoa sekä huomattavaa laskentatehoa. Lisäksi FSD-järjestelmiin liittyy merkittäviä haasteita lainsäädännössä, kyberturvallisuudessa ja käyttäjien luottamuksessa.

Tulevaisuudessa osittain autonomisten ajoneuvojen (SAE 3-4) yleistyminen on todennäköistä vuoteen 2030 mennessä, mutta täysin autonomisten ajoneuvojen (SAE 5) laaja käyttöönotto edellyttää merkittäviä edistysaskeleita niin teknologiassa kuin sääntelyssäkin. Työn tuloksena korostuu havainto siitä, että autonomisen ajamisen yleistyminen vaatii myös käyttäjien hyväksyntää ja kokemuksen parantamista.

Avainsanat: autonominen ajaminen, ADAS, FSD, tekoäly

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

TEKOÄLYN KÄYTTÖ OPINNÄYTTEESSÄ

Opinnäytteessäni on käytetty tekoälysovelluksia:

☐ Ei
☒ Kyllä

Ilmoitukseni mukaan olen käyttänyt opinnäytteessäni tutkielmaprosessin aikana seuraavia tekoälysovelluksia:
ScopusAI

Tekoälysovellusten nimet ja versiot:
ScopusAI

Käyttötarkoitus:
ScopusAI:n avulla on etsitty lähteitä työhön.

Osiot, joissa tekoälyä on käytetty
Lähteet

Olen tietoinen siitä, että olen täysin vastuussa koko opinnäytteeni sisällöstä, mukaan lukien osat, joissa on hyödynnetty tekoälyä, ja hyväksyn vastuun mahdollisista eettisten ohjeiden rikkomuksista.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO 1
2. AUTONOMISEN AJAMISEN MÄÄRITELMÄ 3
3. KULJETTAJAA AVUSTAVAT JÄRJESTELMÄT (ADAS) 4
3.1 ADAS-järjestelmien määritelmä ja yleistyminen 4
3.2 ADAS-järjestelmien keskeiset ominaisuudet 4
3.3 ADAS-järjestelmien sensoriteknologia 5
3.4 ADAS-järjestelmien haasteet ja rajoitukset 5
4. TÄYSIN AUTONOMINEN AJAMINEN (FSD) 7
4.1 FSD-järjestelmän määritelmä ja tasot 7
4.2 Ympäristön havainnointi ja sensorifuusio 7
4.3 Päätöksenteko ja ajokäyttäytyminen 7
4.4 Laskentatehon ja prosessoinnin vaatimukset 8
5. ADAS JA FSD VÄLISET EROT 9
5.1 Teknologiset erot 9
5.2 Lainsäädännölliset erot 9
5.3 Käyttäjäkokemuksen erot 10
5.4 Turvallisuuden erot 10
6. AUTONOMISEN AJAMISEN HAASTEET 12
6.1 Käyttäjäkokemuksen haasteet 12
6.2 Teknologiset haasteet 13
6.3 Eettiset haasteet 14
6.4 Lainsäädännölliset haasteet 15
7. NYKYTILA JA TULEVAISUUS 16
7.1 Autonomisen ajamisen nykytila 16
7.2 Autonomisen ajamisen tulevaisuus 16
8. YHTEENVETO 18
LÄHTEET 19

1. JOHDANTO

Autonominen ajaminen on yksi autoalan keskeisistä kehityssuunnista, jonka tavoitteena on parantaa liikenneturvallisuutta, tehokkuutta ja ajomukavuutta. Tutkielmassa vertaillaan täysin autonomista ajamista (FSD) ja kuljettajaa avustavia järjestelmiä (ADAS) sekä tarkastellaan niiden yleistymiseen liittyviä haasteita.

Tällä hetkellä Euroopassa autoissa käytetään ADAS-järjestelmiä, mutta esimerkiksi Yhdysvalloissa on jo otettu käyttöön FSD-järjestelmiä autoissa. On todennäköistä, että täysin autonomisten ajoneuvojen käyttöönotto yleistyy tulevaisuudessa myös Euroopassa. FSD-järjestelmien käyttöönottoa Euroopassa rajoittaa erityisesti lainsäädäntö, sillä EU:n nykyiset säädökset eivät salli täysin autonomisten ajoneuvojen laajamittaista käyttöä useilla alueilla (Yang et al., 2018).

Lisäksi työssä tarkastellaan, miten teknologiset innovaatiot ja mahdolliset muutokset EU:n lainsäädännössä voisivat nopeuttaa täysin autonomisten ajoneuvojen (FSD) käyttöönottoa Euroopassa lähivuosina. Lainsäädännön lisäksi merkittävä haaste erityisesti FSD-järjestelmille ovat haastavat sääolosuhteet. Sään vaikutukset, kuten sade ja sumu, heikentävät merkittävästi esimerkiksi kameroiden ja LiDAR-järjestelmien havaintokykyä. Tutkimusten mukaan sateen ja sumun aikana havaintojärjestelmien tarkkuus voi heiketä jopa 50 % (Xu & Sankar, 2024).

Tutkielmassa tarkastellaan erityisesti täysin autonomisten ajoneuvojen (FSD) ja kuljettajaa avustavien järjestelmien (ADAS) teknologisia, lainsäädännöllisiä ja käyttäjäkokemukseen liittyviä tekijöitä. Lisäksi selvitetään, mitkä tekijät rajoittavat FSD-järjestelmien käyttöönottoa nykytilanteessa ja voidaanko niitä pitää parempana ratkaisuna verrattuna tällä hetkellä laajemmin käytössä oleviin ADAS-järjestelmiin.

Työssä tutkitaan, mitkä ovat FSD- ja ADAS-järjestelmien keskeisimmät tekniset ja toiminnalliset erot. Lisäksi työssä vertaillaan näitä järjestelmiä käyttäjän näkökulmasta pohtien eroja turvallisuuden ja mukavuuden näkökulmista. Työssä pohditaan myös, onko teknologia tarpeeksi kehittynyttä näiden järjestelmien käyttöönottoon laajasti kaikilla

käyttöalueilla. FSD- ja ADAS-järjestelmiin liittyy monia eettisiä ongelmia, ja ne on tärkeää huomioida niiden yleistyessä.

Tämä tutkielma on tehty kirjallisuuskatsauksena. Tutkielma on tehty artikkeleiden pohjalta, jotka liittyvät autonomiseen ajamiseen ja siihen liittyviin teknologioihin. Artikkelien etsimiseen on käytetty Tampereen yliopiston kirjaston Andor-hakujärjestelmää ja ScopusAI:ta. Haut on suoritettu englannin kielellä. Hakusanoina käytettiin esimerkiksi: "Autonomous driving", "ADAS", "FSD", "AI" ja "FUTURE". Parhaat tulokset tulivat hakulausekkeilla ("Autonomous driving" OR ADAS OR FSD) AND AI ja ("Autonomous driving" OR (ADAS OR FSD) AND FUTURE). Tämän lisäksi on tehty hakuja ScopusAI:lla hakulausekkeella ”Autonomous driving, ADAS, FSD”. Tällä löytyi myös hyviä tuloksia. Lisäksi käytettiin Googlen hakua ”Autonomous driving levels”, jonka kautta löydettiin SAE International -standardi tästä aiheesta (SAE International, 2018).

2. AUTONOMISEN AJAMISEN MÄÄRITELMÄ

Autonominen ajaminen tarkoittaa ajoneuvon kykyä suorittaa ajamiseen liittyvät tehtävät itsenäisesti ilman kuljettajan jatkuvaa ohjausta. Sen toiminnassa hyödynnetään kehittyneitä sensorijärjestelmiä, tekoälyä ja päätöksentekomenetelmiä. SAE International (2018) on määritellyt autonomian kuusi tasoa (0–5), joissa taso 0 tarkoittaa täysin manuaalista ajamista ja taso 5 täysin autonomista ajoneuvoa, joka ei vaadi kuljettajaa ollenkaan.

Autonomian tasolla 0 kuljettaja suorittaa kokonaan ajamisen. Tasolla 1 järjestelmä avustaa kuljettajaa joko ohjauksessa, kiihdytyksessä tai jarrutuksessa, mutta ei molemmissa samaan aikaan. Esimerkiksi adaptiivinen vakionopeudensäädin kuuluu autonomian tasoon 1, koska se avustaa kuljettajaa vain nopeudenhallinnassa. Tasolla 2 ajoneuvo voi suorittaa sekä ohjauksen että nopeudenhallinnan, mutta kuljettajan pitää jatkuvasti valvoa järjestelmää ja olla valmis ottamaan auto hallintaan. Tämän tason autossa voi olla esimerkiksi kaistanpitoavustin ja mukautuvat nopeudensäätimet. (SAE International, 2018)

Autonomian tasolla 3 järjestelmä voi suorittaa kaiken ajamisen tietyissä olosuhteissa ilman kuljettajan jatkuvaa valvontaa. Kuljettajan pitää kuitenkin olla valmis ottamaan auto hallintaansa, jos järjestelmä sitä vaatii. Tasolla 4 auto voi suorittaa kaikki ajotehtävät tietyissä olosuhteissa, eikä kuljettajan tarvitse olla valmiina ottamaan autoa hallintaansa. Autonomian tasolla 5 auto pystyy suorittamaan kaikki ajotehtävät kaikissa olosuhteissa ilman kuljettajaa eikä ajoneuvossa tarvitse olla mitään manuaalisia ohjauslaitteita, kuten ohjauspyörää tai polkimia. (SAE International, 2018)

Kuljettajaa avustavat ADAS-järjestelmät auttavat kuljettajaa ajamisessa, mutta eivät pysty itsenäiseen ajamiseen ilman kuljettajan valvontaa. Nämä kuuluvat SAE:n automaatiotasoihin 1 ja 2. Täysin autonominen ajaminen (FSD) tarkoittaa sitä, että auto kykenee itsenäiseen ajamiseen ilman ihmisen valvontaa tietyissä tai kaikissa olosuhteissa. Tämä vastaa SAE:n tasoja 4 ja 5. (SAE International, 2018) Esimerkiksi Teslan Autopilot edustaa SAE-tasoa 2, kun taas Waymon robotaksit edustavat SAE-tasoa 4.

3. KULJETTAJAA AVUSTAVAT JÄRJESTELMÄT (ADAS)

3.1 ADAS-järjestelmien määritelmä ja yleistyminen

ADAS-järjestelmät kuuluvat SAE:n määritelmän mukaisesti tasoihin 1 ja 2 ja tarjoavat kuljettajaa avustavia toimintoja, kuten kaistavahteja ja mukautuvia vakionopeudensäätimiä. ADAS-järjestelmät avustavat kuljettajaa ajamaan järjestelmän tarjoamien älykkäiden ominaisuuksien avulla. Suurin osa uusista Euroopassa myytävistä ajoneuvoista sisältää ADAS-järjestelmiä. Tämä johtuu esimerkiksi siitä, että tutkimusten mukaan ADAS-järjestelmät ovat vähentäneet onnettomuuksia erityisesti maantieliikenteessä (Murtaza et al., 2023a).

Autoalan asiantuntijat uskovat, että vuoteen 2025 mennessä kaikissa nykyaikaisissa liikenteessä olevissa ajoneuvoissa on vähintään yksi ADAS-toiminto (Murtaza et al., 2023a). Yhdysvaltain kansallisen liikenneturvallisuusviraston (NHTSA) mukaan 94 prosenttia onnettomuuksista liittyy ihmisen huolimattomuuteen (Murtaza et al., 2023a).

3.2 ADAS-järjestelmien keskeiset ominaisuudet

ADAS-järjestelmät (Advanced Driver Assistance Systems) sijoittuvat SAE J3016 -standardin mukaan automaation tasoille 1 ja 2 ja tarjoavat kuljettajaa avustavia toimintoja, kuten kaistavahteja ja mukautuvia vakionopeudensäätimiä (Murtaza et al., 2023a). Mukautuva vakionopeudensäädin säilyttää automaattisesti turvallisen etäisyyden edellä ajavaan ajoneuvoon liikennetilanteesta riippumatta. Kaistanpitoavustin auttaa ajoneuvoa pysymään kaistallaan ja tarkistaa kuljettajan valppauden pyytämällä ajoittain ohjausliikettä.

Valmistajien välillä on eroja siinä, miten järjestelmät toimivat ja reagoivat eri tilanteissa, mikä voi aiheuttaa epäselvyyksiä ja virheellisiä oletuksia käyttäjien keskuudessa (Murtaza et al., 2023a). Esimerkiksi joillain valmistajilla kaistanpitoavustin pitää aktiivisesti ajoneuvon keskellä kaistaa, kun taas toisilla järjestelmä puuttuu

ohjaukseen vain kaistalta pois ajautumisen uhatessa. Automaattinen hätäjarrutus aktivoituu, kun ajoneuvo havaitsee välittömän törmäysriskin, eikä kuljettaja reagoi tilanteeseen riittävän ajoissa.

3.3 ADAS-järjestelmien sensoriteknologia

ADAS-järjestelmät hyödyntävät useita eri anturityyppejä ajoneuvon ympäristön havainnointiin ja tilannekuvan muodostamiseen (Li et al., 2021). Näitä anturityyppejä ovat esimerkiksi tutkat, kamerat, LiDAR ja ultraäänianturit. Tutkat mittaavat kohteiden etäisyyttä ja liikenopeutta, ja ne toimivat luotettavasti myös vaihtelevissa sääolosuhteissa. Niitä käytetään esimerkiksi mukautuvissa vakionopeudensäätimissä ja törmäyksenestojärjestelmissä. Kamerat tarjoavat visuaalista tietoa auton ympäristöstä, ja niiden avulla voidaan mahdollistaa esimerkiksi liikennemerkkien tunnistus, kaistanpitoavustin ja jalankulkijoiden havaitseminen. Kameroita voidaan hyödyntää myös auton sisätiloissa, jolloin esimerkiksi kuljettajan uneliaisuutta voidaan arvioida pään asennosta tai silmien liikkeistä. (Li et al., 2021).

LiDAR käyttää laserpulssien heijastuksia ympäristön mallintamiseen. ADAS-järjestelmissä LiDAR-anturin tärkein tehtävä on kohteiden havaitseminen, esimerkiksi törmäysten välttäminen, jalankulkijoiden havaitseminen ja pysäköinnin avustaminen. LiDAR-anturit tarjoavat tarkkaa tietoa kohteen muodosta ja etäisyydestä, mutta ovat usein kalliimpia kuin muut anturit (Li et al., 2021). Ultraäänianturit toimivat lähettämällä ja vastaanottamalla signaaleita, joita perusteella ne pystyvät mittaamaan lähteen ja kohteen välisen etäisyyden (Li et al., 2021). Niitä käytetään yleisimmin pysäköintiavustimissa. Ne ovat hinnaltaan edullisia ja tehokkaita hitaissa nopeuksissa.

3.4 ADAS-järjestelmien haasteet ja rajoitukset

Yksi keskeinen haaste ADAS-järjestelmissä on eri valmistajien välineset erot ADAS-ominaisuuksien nimeämisessä, mikä vaikeuttaa käyttäjien ymmärrystä järjestelmien toiminnasta (Murtaza et al., 2023a). Esimerkiksi Teslan "Autopilot" voi antaa vaikutelman korkeammasta autonomiatasosta kuin mitä järjestelmä

todellisuudessa tarjoaa, kun taas muiden valmistajien järjestelmät kuvaavat tarkemmin toimintojaan. Monet käyttäjät eivät tunne järjestelmien toimintarajoja tai huoltotarpeita riittävästi, mikä voi lisätä virheellisen turvallisuuden tunteen riskiä. Esimerkiksi sensorien likaantuminen voi heikentää järjestelmien suorituskykyä, mutta ohjeet puhdistukseen saattavat puuttua (Murtaza et al., 2023a).

Epäsuotuisat sääolosuhteet, kuten sade ja sumu, heikentävät merkittävästi sensorijärjestelmien havaintokykyä. Esimerkiksi voimakas sade voi heikentää LiDAR-järjestelmän tarkkuutta jopa 50 prosenttia ja kamerajärjestelmien luotettavuus voi sumussa laskea 20 prosenttia (Xu & Sankar, 2024). Tällaisissa tilanteissa kuljettaja saattaa luottaa järjestelmän suorituskykyyn liikaa, vaikka sen havainnointi olisi heikentynyt olosuhteiden vuoksi.

4. TÄYSIN AUTONOMINEN AJAMINEN (FSD)

4.1 FSD-järjestelmän määritelmä ja tasot

Täysin autonominen ajaminen (FSD, Full Self-Driving) tarkoittaa ajoneuvon kykyä toimia täysin itsenäisesti ilman kuljettajan valvontaa joko kaikissa tai rajatuissa olosuhteissa, vastaten SAE:n autonomian tasoja 4 ja 5. SAE-tasojen 4 ja 5 keskeinen ero on siinä, että tason 4 ajoneuvo kykenee autonomiseen ajamiseen vain määritellyissä olosuhteissa, kun taas tason 5 ajoneuvo toimii täysin itsenäisesti kaikissa tilanteissa. (SAE International, 2018)

4.2 Ympäristön havainnointi ja sensorifuusio

FSD-ajoneuvot hyödyntävät kehittyneitä sensorijärjestelmiä ympäristön havainnointiin ja tilannekuvan muodostamiseen. SAE J3016 mukaan ne hyödyntävät LiDARia, kameroita, tutkia, ultraääniantureita sekä GPS:sää ja HD-karttoja (SAE International, 2018). FSD-järjestelmissä sensorifuusion hyödyntäminen on tärkeää, jotta voidaan tehdä tarkkoja havaintoja myös monimutkaisessa ympäristössä tai haastavissa olosuhteissa (Xu & Sankar, 2024). Sensorifuusiossa eri antureiden data yhdistetään, jolloin ajoneuvo voi muodostaa kattavan ja luotettavan tilannekuvan sekä kompensoida yksittäisten anturien virheitä.

4.3 Päätöksenteko ja ajokäyttäytyminen

Ajoneuvon ajokäyttäytyminen perustuu monimutkaiseen päätöksentekojärjestelmään, joka koostuu karttapohjaisesta reittivalinnasta, liikenteen seuraamisesta ja ennakoimisesta, liikennesääntöjen noudattamisesta ja hätätilanteiden hallitsemisesta. Täysin autonominen ajoneuvo kykenee tekemään kaikki ajotoiminnot, kuten kaistanvaihdot, nopeudensäädön ja esteiden väistämisen.

FSD-ajoneuvon ajokäyttäytymisen taustalla olevat järjestelmät voidaan jakaa kahteen lähestymistapaan, jotka ovat sääntöperusteinen käyttäytymispäätöksenteko ja oppimisperusteinen päätöksenteko. Sääntöperusteisessa käyttäytymispäätöksenteossa määritetään ajoneuvon käyttäytyminen ennalta määrättyjen ajosääntöjen ja logiikan mukaan. Oppimisperusteisessa käyttäytymispäätöksenteossa taas käytetään koneoppimismenetelmiä, jotka mahdollistavat ajoneuvon oppimisen itsenäisesti ympäristön perusteella ja määrittää ajokäyttäytymispäätöksiä ympäristötietojen perusteella (Yu et al., 2023). Tärkeä koneoppimisen teknologia FSD-ajoneuvoissa on esimerkiksi vahvistusoppiminen (Reinforcement Learning). Vahvistusoppimisessa järjestelmä arvioi toimintaansa arvofunktion avulla ja säätää päätöksentekoaan saadun palautteen perusteella, kunnes se löytää parhaan toimintamallin (Yang et al., 2018).

4.4 Laskentatehon ja prosessoinnin vaatimukset

FSD-järjestelmät vaativat erittäin tehokkaan laskenta-alustan, koska ajoneuvon pitää käsitellä suuri määrä dataa reaaliajassa. Perinteiset ajoneuvot hyödynsivät mikrokontrollereita (MCU) ja digitaalisia signaaliprosessoreita (DSP) yksinkertaisten toimintojen ohjaukseen, mutta FSD-järjestelmien reaaliaikainen data-analyysi ja päätöksenteko edellyttävät huomattavasti tehokkaampia laskenta-alustoja (Yang et al., 2018).

Tärkeimmät laskentateknologiat FSD-ajoneuvoissa ovat GPU-, FPGA- ja TPU-pohjaiset ratkaisut. Grafiikkaprosessorit (GPU) suorittavat rinnakkaislaskentaa erityisesti kuvantunnistuksessa ja törmäysten välttämisessä. GPU:t suorittavat tehokkaasti syväoppimisen ja tekoälymallit, mutta niillä on korkea tehonkulutus. Kenttäohjelmoitavissa porttimatriiseissa (FPGA) laskenta suoritetaan suoraan piirissä, eikä ohjelmallisesti kuten GPU:ssa. FPGA:ssa on GPU:hun verrattuna alhainen tehonkulutus, ja se pystyy prosessoimaan dataa nopeasti ja reaaliajassa, mutta sen ohjemoitavuus ei ole yhtä joustavaa kuin GPU:ssa (Yang et al., 2018). Tekoälylle optiomoituja prosessoreita (TPU) käytetään erityisesti koneoppimis- ja tekoälysovelluksissa. Ne suorittavat syväoppimisalgoritmejä nopeasti, ja ovat energiatehokkaampia kuin GPU:t, mutta eivät yhtä monipuolisia laskennassa (Yang et al., 2018).

5. ADAS JA FSD VÄLISET EROT

5.1 Teknologiset erot

ADAS- ja FSD-järjestelmissä käytetyt algoritmiset lähestymistavat eroavat merkittävästi toisistaan. ADAS-järjestelmien päätöksenteko perustuu yksinkertaisiin, ennalta ohjelmoituihin sääntöihin, eikä niillä ole kykyä monimutkaiseen itsenäiseen päätöksentekoon toisin kuin FSD-järjestelmillä. Tämän vuoksi FSD-järjestelmät vaativat ADAS-järjestelmiin verrattuna monimutkaisempia päätöksentekoprosesseja (Xu & Sankar, 2024). ADAS-järjestelmät toimivat ennalta määritettyjen sääntöjen mukaisesti, kun taas FSD-järjestelmät hyödyntävät aiemmin opittua tietoa ja ympäristön reaaliaikaista tulkintaa päätöksenteon pohjana. FSD-järjestelmissä käytetään yleensä kehittyneempiä anturifuusion tekniikoita ja niillä on laajempi ymmärrys ajoympäristöstä kuin ADAS-järjestelmillä (Xu & Sankar, 2024). Lisäksi ADAS-järjestelmät käyttävät huomattavasti pienempää määrää antureita kuin FSD-järjestelmät.

Liikennetilanteiden ennustamisessa ADAS käyttää CNN-malleja liikenneympäristön, kuten liikennemerkkien tunnistamiseen (Xu & Sankar, 2024). Tällaisissa tapauksissa FSD hyödyntää esimerkiksi GAN-verkkoja liikennetilanteiden simulointiin ja oppimiseen, jotta järjestelmä voi ennakoida harvinaisia tilanteita (Yang et al., 2018). ADAS-järjestelmät toimivat luotettavasti vain ennalta määritellyissä tilanteissa, kun taas FSD-järjestelmät kykenevät mukautumaan uusiin ja muuttuviin olosuhteisiin jatkuvan oppimisen ansiosta. FSD-järjestelmät hyödyntävät kehittyneempiä tekoälymenetelmiä, kuten syväoppimista, vahvistusoppimista ja generatiivisia malleja, jotka mahdollistavat järjestelmälle kyvyn mukautua uusiin tilanteisiin dynaamisesti.

5.2 Lainsäädännölliset erot

ADAS-järjestelmät ovat tällä hetkellä laillisia useimmissa maissa, koska ne vaativat ihmiskuljettajan aktiivista osallistumista. Täysin autonomisia FSD-järjestelmiä ei ole vielä laajasti hyväksytty käyttöön liikenteessä, ja niiden salliminen edellyttää erillisiä kokeilulupia tai rajoituksia alueittain. Eri maiden välillä on kuitenkin merkittäviä eroja

autonomisen ajamisen lainsäädännöissä. EU:n alueella FSD-järjestelmiä hyödyntävien ajoneuvojen käyttö edellyttää tapauskohtaista hyväksyntää, ja niiden käyttö on usein rajattu vain kokeilualueille tai tutkimushankkeisiin (Yang et al., 2018). Yhdysvalloissa osavaltiot sallivat esimerkiksi täysin autonomisten taksien testauksen (Qurashi et al, 2023). Lainsäädännöllisiin eroihin liittyy myös kuljettajan vastuu. ADAS-järjestelmissä vastuu säilyy selkeästi kuljettajalla, kun taas FSD-järjestelmien kohdalla vastuu voi siirtyä ajoneuvon valmistajalle tai ohjelmistotoimittajalle, erityisesti korkeammilla autonomiatasoilla (Murtaza et al., 2023b).

5.3 Käyttäjäkokemuksen erot

ADAS-järjestelmät toimivat kuljettajaa avustavina ratkaisuina, mutta edellyttävät jatkuvaa kuljettajan valppautta ja valmiutta ottaa ajoneuvo hallintaan. Tämä voi lisätä kognitiivista kuormitusta erityisesti pitkien ajomatkojen aikana (Yang et al., 2018). FSD-järjestelmät pyrkivät poistamaan kuljettajan aktiivisen roolin, mikä voi parantaa matkustusmukavuutta, mutta samalla herättää epäluottamusta järjestelmän päätöksentekokykyä kohtaan (Qu et al., 2020). Monet käyttäjät kokevat epämukavuutta luopuessaan kontrollista ajoneuvon toiminnan suhteen, erityisesti kriittisissä liikennetilanteissa. FSD-järjestelmän toimintatapa voi myös poiketa ihmiskuljettajan ajotottumuksista, esimerkiksi kaistanvaihtojen tai liikenneympäristön havainnoinnin osalta, mikä voi tuntua matkustajasta luonnottomalta tai arvaamattomalta.

5.4 Turvallisuuden erot

ADAS-järjestelmät voivat parantaa liikenneturvallisuutta vähentämällä inhimillisten virheiden määrää, mutta ne eivät ole täysin luotettavia (Lahdya & Mazri, 2022). Koska ADAS-järjestelmät toimivat ennalta määritetyissä tilanteissa, ne voivat epäonnistua ennakoimattomissa olosuhteissa tai silloin, kun anturit eivät toimi luotettavasti. FSD-järjestelmät pyrkivät poistamaan inhimilliset virheet kokonaan, mutta samalla ne tuovat mukanaan uusia riskejä, kuten tekoälyn virhetulkinnat ja algoritmisten päätösten arvaamattomuuden. Erityisesti harvinaiset liikennetilanteet voivat aiheuttaa ongelmia, jos järjestelmä ei ole saanut riittävästi koulutusta vastaavista tilanteista (Yang et al., 2022).

Turvallisuusnäkökulmasta merkittävä ero liittyy myös kyberturvallisuuteen. ADAS-järjestelmät eivät ole yhtä alttiita verkkopohjaisille hyökkäyksille verraten FSD-järjestelmiin, sillä ne eivät ole jatkuvassa yhteydessä ulkopuolisiin tietoverkkoihin. FSD-järjestelmät ovat vahvasti verkottuneita ja yhteydessä pilvipalveluihin, mikä tekee niistä alttiimpia esimerkiksi tietomurroille tai järjestelmän manipuloinnille (Qurashi et al., 2023). Lisäksi FSD-järjestelmiin liittyy enemmän luottamuksellisia haasteita kuin ADAS-järjestelmiin, sillä käyttäjä menettää mahdollisuuden hallita ajoneuvon toimintaa reaaliajassa.

6. AUTONOMISEN AJAMISEN HAASTEET

6.1 Käyttäjäkokemuksen haasteet

Autonomisen ajamisen, erityisesti FSD-järjestelmien, laajamittaiseen käyttöönottoon liittyy monia haasteita, jotka hidastavat niiden yleistymistä globaalisti. Käyttäjäkokemukseen liittyy monia haasteita, jotka vaikuttavat ihmisten haluun ostaa ja käyttää autonomisia autoja. Yhtenä tärkeimpänä haasteena voidaan pitää käyttäjien luottamusta FSD-järjestelmiä kohtaan. Erityisesti kaupunkiolosuhteissa käyttäjillä voi olla epävarmuutta luottaa FSD-järjestelmien toimintaan. Tämä voi johtua esimerkiksi siitä, että kaupungissa vaaditaan enemmän havainnointia kuin moottoritieajossa, kun pitää ottaa huomioon muiden autojen lisäksi esimerkiksi kävelijät ja pyöräilijät. Kaupunkiajossa autonomiset järjestelmät kohtaavat enemmän monimutkaisia ja odottamattomia tilanteita, jotka vaativat kykyä reagoida nopeasti ja ennakoivasti. Käyttäjät epäilevät autonomisten autojen kykyä tehdä oikeita päätöksiä kriittisissä liikennetilanteissa (Qu et al, 2020).

Käyttäjäkokemukseen liittyy myös ajamisen mukavuus. Osa ihmisistä saattaa kokea ihmisen ajamisen mukavammaksi kuin FSD-järjestelmän ajamisen. Tulevaisuudessa autonomisen ajamisen kehittämisessä voidaan pyrkiä jäljittelemään inhimillistä ajotyyliä, mikä voisi parantaa käyttäjäkokemusta. Monet FSD-järjestelmät ajavat turvallisemmin kuin ihmiset, mikä voi tuntua joissain tilanteissa erilaiselta. Ihmisillä on liikenteessä myös tottumuksia, joita he tekevät huomaamattaan, jolloin FSD-järjestelmää käyttävän auton ratkaisut voivat tuntua joissain tilanteissa pelottavilta. Esimerkiksi monet kuljettajat huomaamattaan ajavat ajokaistan vasemmassa reunassa ohittaessaan rekkaa, ja saattaa herättää epäluottamusta, jos FSD-järjestelmän käyttäytyminen eroaa totutuista ajotavoista.

Tietyille käyttäjäryhmille, kuten autoharrastajille, ajaminen on myös elämys ja vapaa-ajan harrastus, mikä voi vähentää halukkuutta luovuttaa ajonhallinta FSD-järjestelmälle. Tällä hetkellä monissa ADAS-järjestelmissä kaistanpitoavustin ei kykene ajamaan täysin keskellä kaistaa kokoajan tai kääntymään kaarteissa tasaisesti, vaan se hieman ajelehtii kaistalla puolelta toiselle. Lisäksi monissa tämän hetken ADAS-järjestelmissä käytettävä adaptiivinen vakionopeudensäädin, joka mukauttaa oman

ajoneuvon vauhdin edessä ajavan perusteella, ei reagoi muutoksiin tarpeeksi nopeasti. Esimerkiksi edellä ajavan ajoenuvon siirtymiseen pois edestä monet järjestelmät reagoivat liian hitaasti, ja hidastavat ajoneuvon vauhtia tarpeettoman paljon. Tällaiset rajoitteet voivat vaikuttaa negatiivisesti käyttäjäkokemukseen ja lisätä halukkuutta itseajamiseen. Vaikka uusissa FSD-järjestelmissä tällaisia ongelmia ei enää olisikaan, käyttäjät eivät välttämättä halua siirtyä kehittyneisiinkään FSD-järjestelmiin sen vuoksi, että he ovat saaneet huonoja kokemuksia kokeillessaan aikaisempia ADAS-järjestelmiä, joiden autonomisen ajamisen ominaisuudet eivät ole olleet nykyajan FSD:n tasolla.

Käyttäjä saattaa myös haluta itsenäisesti olla kontrollissa auton ohjaamisesta, koska se voi lisätä hänen turvallisuudentunnettaan. Usein erityisesti vaikeissa olosuhteissa tai suurissa nopeuksissa ihmisten mielestä voi olla pelottavaa olla kyydissä silloin, kun ei itse ole ajamassa. Tämä voidaan havaita myös FSD-järjestelmää hyödyntävän auton kyydissä olemisessa. Monet käyttäjät kokevat olonsa turvattomaksi tilanteissa, joissa he eivät voi aktiivisesti hallita ajoneuvon toimintaa kriittisissä ajotilanteissa (Qu et al., 2020).

Tutkimusten mukaan kuljettajat, jotka käyttävät autonomisia järjestelmiä pitkään, menettävät valppauden ja saattavat reagoida hitaasti tilanteessa, jossa järjestelmä vaatii manuaalista puuttumista (Qu et al, 2020). Hätätilanteissa voi olla joissain tapauksissa käyttäjille vaikeaa ymmärtää milloin heidän tulisi puuttua ajamiseen ja milloin järjestelmä kykenee hoitamaan tilanteen itsenäisesti (Qurashi et al, 2023). Autonomiset ajoneuvot voivat reagoida liikenteen yllättäviin tilanteisiin äkillisesti, kuten jarruttaa liian voimakkaasti, mikä voi yllättää matkustajat ja muut kuljettajat (Yang et al, 2022).

6.2 Teknologiset haasteet

Autonomisiin ajoneuvoihin liittyy monia teknologisia haasteita. Myös käyttäjien luottamukselle autonomisia ajoneuvoja kohtaan on erityisen tärkeää, että teknologia on luotettavaa ja toimii halutulla tavalla. Esimerkiksi sensorifuusion toimivuus on kriittistä autonomisen ajoneuvon teknologian luotettavuuden kannalta. Mikään yksittäinen anturiteknologia ei kykene toimimaan virheettömästi kaikissa sää- ja liikennetilanteissa. Esimerkiksi LiDARin toimintakyky heikkenee sateessa, lumessa ja sumussa, kamerat kärsivät valonvaihteluista ja tutkilla on rajoitettu tarkkuus (Xu & Sankar, 2024). Kamerapohjai-

sessa tunnistuksessa heikko valaistus tai kirkas auringonvalo voi heikentää sen toimintaa (Yang et al, 2022). Siitä huolimatta, että tutkajärjestelmät toimivat luotettavasti sääolosuhteista huolimatta, niiden matala resoluutio voi johtaa virhetulkintoihin (Xu & Sankar, 2024). Lisäksi reaalisen sensorifuusion toteuttaminen vaatii suurta laskentatehoa ja kehittyneitä algoritmeja (Xu & Sankar, 2024). Sensorifuusion täytyy olla nopeaa ja tarkkaa, jotta voidaan mahdollistaa reaaliaikainen päätöksenteko.

Suurimpia haasteita tekoälyjärjestelmiin liittyen ovat harvinaiset liikennetilanteet, jotka voivat jäädä huomiotta niiden oppimisessa (Xu & Sankar, 2024). Tekoälyjärjestelmien koulutusaineiston on oltava laaja ja edustava, jotta järjestelmä kykenee reagoimaan myös poikkeuksellisiin liikennetilanteisiin. Koneoppimismallit voivat tehdä vääriä päätöksiä erityisesti poikkeustilanteissa, mikäli niitä ei ole koulutettu tunnistamaan kaikkia mahdollisia tilanteita. Vaikeita tilanteita voivat olla esimerkiksi jalankulkijoiden tai polkupyörien liikkeiden ennustaminen. Jalankulkijoiden tien ylittämisaikeiden tunnistaminen on kriittistä, koska väärin tunnistetut aikomukset voivat johtaa onnettomuuksiin (Yang et al, 2022).

Myös V2X-viestintä on ratkaisevan tärkeää autonomiselle ajamiselle, mutta langattomissa yhteyksissä on havaittu luotettavuushaasteita (Yang et al., 2018). Autonomiset ajoneuvot altistuvat kyberturvallisuusuhille, kuten järjestelmien hakkeroinnille, mikä voi mahdollistaa ajoneuvon etäohjauksen tai häirinnän (Qurashi et al., 2023).

6.3 Eettiset haasteet

Autonomisten ajoneuvojen yleistymiseen liittyy monia eettisiä ongelmia, kuten moraaliset päätökset onnettomuustilanteissa ja työpaikkojen menettäminen Onnettomuustilanteet herättävät eettisiä kysymyksiä, kuten keneen kohdistuva riski tulisi minimoida tilanteessa, jossa kaikkien suojeleminen ei ole mahdollista. Tekoälyn on kyettävä tekemään päätöksiä ennalta määriteltyjen eettisten periaatteiden mukaisesti, mikä asettaa suuria vaatimuksia algoritmien suunnittelulle ja ohjelmoinnille. Autonomiset ajoneuvot voivat korvata monia työpaikkoja, jolloin monet ammattikuljettajat, työntekijät logistiikassa ja julkisen liikenteen työntekijät voivat menettää työpaikkansa (Yang et al., 2018).

6.4 Lainsäädännölliset haasteet

Autonomisten ajoneuvojen käyttöönottoon liittyy lukuisia lainsäädännöllisiä haasteita, jotka tulee ratkaista ennen niiden laajamittaista käyttöönottoa. Näihin sisältyy esimerkiksi vastuunmäärittely autonomisen ajoneuvon suhteen, jolloin arvioidaan kuljettajan, valmistajan ja ohjelmistokehittäjän vastuita (Murtaza et al., 2023b). Eri maiden eroavat lainsäädännöt autonomiselle ajamiselle vaikeuttavat niiden maailmanlaajuista käyttöönottoa (Yang et al., 2018). Tämä saattaa vaikuttaa myös autovalmistajien haluun tuoda markkinoille FSD-järjestelmiä, jos kuluttajat eivät voi käyttää niitä lainsäädännöllisistä syistä.

Monissa maissa autonomisten ajoneuvojen testaus on sallittu vain rajoitetuilla alueilla ja valvotuissa olosuhteissa, mikä hidastaa teknologian kehitystä ja hyväksyntää (Yang et al., 2018). Vakuutusyhtiöt eivät vielä täysin tunnista FSD-järjestelmien riskejä, joten autonomisten autojen vakuuttaminen on vielä kehittyvä ala (Yang et al., 2018). Tämä johtuu suurilta osin siitä, että vakuutusyhtiöiden on vaikea määritellä riskitasoja autonomisille ajoneuvoille, koska niiden toiminta ei ole täysin ennustettavaa (Qurashi et al, 2023).

7. NYKYTILA JA TULEVAISUUS

7.1 Autonomisen ajamisen nykytila

ADAS-järjestelmät ovat yleistyneet merkittävästi, ja niitä on käytössä valtaosassa uusia ajoneuvoja (Xu & Sankar, 2024). Lähes kaikissa uusissa autoissa on vakiona ominaisuuksia, kuten mukautuva vakionopeudensäädin, kaistavahti ja automaattinen hätäjarrutus. Näiden järjestelmien on todettu parantavan käyttäjäkokemusta ja liikenneturvallisuutta (Xu & Sankar, 2024). Vaikka FSD-järjestelmät ovat edistyneet merkittävästi, niitä ei ole vielä kaupallisesti saatavilla kuluttajamarkkinoilla (Yang et al., 2018). Useat autonvalmistajat, kuten Tesla, Waymo ja Mercedes-Benz, suorittavat testejä rajoitetuilla alueilla, kuten georajatuissa kaupunkikeskuksissa tai valvotuilla testiradoilla (Murtaza et al., 2023b). Koska monien maiden lainsäädäntö sallii toistaiseksi vain ADAS-järjestelmien käytön, ei FSD-teknologia ole vielä saanut laajaa hyväksyntää kuluttajamarkkinoilla.

Keskeisimmät esteet FSD-järjestelmien yleistymiselle ovat sensorifuusion keskeneräisyys, tekoälyyn liittyvät päätöksentekohaasteet, energiatehokkuus ja kyberturvallisuus (Xu & Sankar, 2024). Sensoriteknologian ja tekoälyn on kehityttävä edelleen, jotta autonomiset ajoneuvot pystyvät toimimaan luotettavasti kaikissa liikenneympäristöissä ja sääolosuhteissa. Lisäksi monien maiden on muutettava lainsäädäntöään, jotta FSD-järjestelmien käyttäminen autoissa tulisi laajasti mahdolliseksi. Oikeudellinen vastuu on vielä epäselvää, mikä myös hidastaa käyttöönottoa. Monet kuluttajat eivät myöskään tällä hetkellä luota FSD-järjestelmien teknologian toimivuuteen.

7.2 Autonomisen ajamisen tulevaisuus

Lähitulevaisuudessa on odotettavissa osittain autonomisten SAE 3-4 -tasojen ajoneuvojen yleistymistä erityisesti moottoriteillä ja esikaupunkiympäristöissä (Yang et

al., 2018). Kaupunkialueilla georajatut autonomiset autot voivat tulla käyttöön 2030-luvulla, mutta SAE 5 -tason autojen yleistymistä ei ole odotettavissa vielä lähivuosina (Qurashi et al, 2023). EU, USA ja Kiina ovat kehittämässä uusia lainsäädäntöjä autonomisille ajoneuvoille (Yang et al., 2018). Tekoälyn ja sensorifuusion kehitys, kuten parannukset koneoppimisessa, laskentatehossa ja sensoriteknologiassa mahdollistavat turvallisemmat ja tehokkaammat autonomiset järjestelmät (Xu & Sankar, 2024). Laskentatehon kasvattaminen parantaa reaaliaikaista päätöksentekoa merkittävästi. Tekoälyn kehitys parantaa kykyä käsitellä monimutkaisia liikennetilanteita, ja sensoriteknologian edistyminen tekee järjestelmistä entistä kustannustehokkaampia. Kuluttajien luottamus autonomisiin ajoneuvoihin todennäköisesti kasvaa, kun teknologian turvallisuus osoitetaan paremmaksi kuin ihmiskuljettajien ajosuorituskyky. Ennen FSD-järjestelmien laajaa kaupallista käyttöönottoa niiden kattava testaaminen on edellytys turvallisuuden ja sääntelyn näkökulmasta.

8. YHTEENVETO

Autonominen ajaminen on ajoneuvoteknologian keskeinen kehityssuunta, joka jakautuu kuljettajaa avustaviin järjestelmiin (ADAS) ja täysin autonomisiin järjestelmiin (FSD). Tässä työssä tarkasteltiin näiden järjestelmien teknologisia ja toiminnallisia eroja, niihin liittyviä lainsäädännöllisiä ja eettisiä haasteita sekä käyttäjäkokemuksen näkökulmia.

ADAS-järjestelmät ovat nykypäivänä laajasti käytössä, ja ne perustuvat sääntöpohjaisiin algoritmeihin ja yksinkertaisempaan sensoriteknologiaan. FSD-järjestelmät taas vaativat kehittyneempää tekoälyä, sensorifuusiota ja merkittävää laskentatehoa. Niiden laajaa käyttöönottoa rajoittavat esimerkiksi teknologiset ja sääolosuhteisiin liittyvät haasteet. Lisäksi lainsäädännölliset haasteet sekä kuluttajien suhtautuminen uuteen ajotapaan hidastavat niiden yleistymistä.

Keskeinen FSD:n käyttöönottoa hidastava tekijä on ihmisten vahva tottumus ajaa itse. Monille ajaminen on henkilökohtainen vapauden ja hallinnan kokemus. Tämä luottamus omiin ajotaitoihin sekä kontrollin menettämisen tunne automatisoidussa ajossa herättävät epäluottamusta ja vastustusta. Lisäksi varhaiset kokemukset nykyisistä ADAS-järjestelmistä voivat olla vaikuttaneet negatiivisesti mielikuvaan autonomisista ratkaisuista, mikä edelleen hidastaa uusien järjestelmien hyväksyntää.

Tulevaisuudessa osittain autonomisten ajoneuvojen yleistyminen on todennäköistä, erityisesti rajatuissa ympäristöissä kuten moottoriteillä. Täysin autonomisten ajoneuvojen laajamittainen käyttöönotto edellyttää kuitenkin merkittäviä edistysaskeleita niin teknologiassa, lainsäädännössä kuin kuluttajien käyttäytymisessä. Jotta autonomiset ajoneuvot saavuttaisivat laajemman hyväksynnän, on ratkaisevaa kehittää järjestelmiä, jotka turvallisuuden parantamisen lisäksi myös sopeutuvat käyttäjien odotuksiin ja ajokulttuuriin.

LÄHTEET

Díaz-Álvarez, A.;Clavijo, M.; Jiménez, F.; Serradilla, F. (2021). Inferring the Driver's Lane Change Intention through LiDAR-Based Environment Analysis Using Convolutional Neural Networks. *Sensors* 2021, *21*, 475. https://doi.org/10.3390/s21020475

Lahdya & Mazri, (2022) Data Security Challenges in Self-Driving Car, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLVIII-4/W3-2022, 61–66, https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-4-W3-2022-61-2022

Murtaza, Moshin, Zheng et al. (2023a) The importance of transparency in naming conventions, designs, and operations of safety features: from modern ADAS to fully autonomous driving functions, AI & society, 2023-04, Vol.38 (2), p-983-993, https://doi.org/10.1007/s00146-022-01442-x

Murtaza, Mohsin, Cheng, et al. (2023b) Transportation research. Part F, Traffic psychology and behavior, 2023-10, Vol.98, p.280-296 https://doi.org/10.1016/j.trf.2023.09.013

Qu, Sun, Qe, (2020) The effects of trait anxiety and the big five personality traits on self-driving car acceptance, Transportation (2021) 48:2663-2679 https://doi.org/10.1007/s11116-020-10143-7

Qurashi, Jambi, Alsolami et al. (2023) Resilient Countermeasures Against Cyber-Attacks on Self-Driving Car Architecture, IEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, VOL. 24, NO. 11 https://doi.org/10.1109/TITS.2023.3288192

SAE International. (2018). Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles. *SAE Standard J3016*. https://www.sae.org/standards/content/j3016_201806/

Xinran Li, Kuo-Yi Lin, Min Meng, et al. (2021) Composition and Application of Current Advanced Driving Assistance System: A Review, Sensors 2021, 21(2), 475; https://doi.org/10.48550/arXiv.2105.12348

Xu & Sankar (2024). A Comprehensive Review of Autonomous Driving Algorithms: Tackling Adverse Weather Conditions, Unpredictable Traffic Violations, Blind Spot Monitoring, and Emergency Maneuvers. Algorithms 2024, 17, 526. https://doi.org/10.3390/a17110526

Yang D G, Jiang K, Zhao D,et al. (2018) Intelligent and connected vehicles: Current status and future perspectives. Sci China Tech Sci, 61: 1446– 1471, https://doi.org/10.1007/s11431-017-9338-1

Yang, Zhan, Wang et al. (2022) Crossing or Not? Context-Based Recognition of Pedestrian Crossing Intention in the Urban Environment, IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS, VOL. 23, NO. 6, JUNE 2022 https://doi.org/10.1109/TITS.2021.3053031

Yu, Fanqing, LüBu, Xulin, Xundong (2023). Research on key technologies for autonomous vehicles. J. Phys.: Conf. Ser. 2478 062003. http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/2478/6/062003