



Alexi Tepponen

# Etäoperointikeskuksen kehitys

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Ylempi AMK-tutkinto

Ajoneuvotekniikka

Opinnäytetyö

19.4.2024

## Tiivistelmä

Tekijä:	Alexi Tepponen
Otsikko:	Etäoperointikeskuksen kehitys
Sivumäärä:	74 sivua + 1 liite
Aika:	19.4.2024
Tutkinto:	Ylempi AMK-tutkinto
Tutkinto-ohjelma:	Ajoneuvotekniikka
Ohjaajat:	Lehtori Pasi Oikarinen Hallituksen puheenjohtaja Mika Rytönen, Remoted Oy

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää konsepti automatisoitujen ajoneuvojen etäoperointiin. Konseptin oli määrä sekä seurata Suomen nykyistä kansallista lainsäädäntöä että ottaa huomioon sen valmisteilla olevat uudistukset. Koska työn tilaajayritys Remoted Oy pyrkii laajentamaan toimintaansa myös kansainvälisille markkinoille, oli tärkeää ottaa huomioon myös muiden, etenkin Euroopan maiden lainsäädännöt.

Käsitteet osuudessa käydään läpi automatisoituun ajamiseen ja etäoperointiin liittyviä käsitteitä sekä tarkastellaan toiminnallisen ja operatiivisen turvallisuuden määritelmiä. Työn tutkimus- ja kehittämismetodeina olivat kirjallisuustutkimus, työpajat, tietojen kerääminen suoraan tekniikka- ja ajoneuvovalmistajilta sekä operaattori-sekvenssikaavioiden käyttö.

Kehitystyö aloitettiin pitämällä yrityksen sisäisiä työpajoja, joissa ideoitiin konseptin visioita ja vaatimuksia. Tämän jälkeen siirryttiin analysoimaan etäoperoinnin todellisia tarpeita operaattori-sekvenssikaavioiden avulla. Dataa kaavioiden luontiin kerättiin käynnissä olevista operoinneista, joissa turvakuljettaja kirjasi vastaan tulevat erityistilanteet. Tilanteet suodatettiin ja ryhmitettiin, minkä jälkeen relevanteista tilanteista tehtiin kaaviot. Kaavioiden teossa oletettiin, että operaattorin pitää pystyä ratkaisemaan tilanteet etänä.

Projektin tuloksena syntyi kattavasti määritelty konsepti, joka toimii pohjana etäoperoinnin jatkokehitykselle yrityksessä. Valmis konsepti sisältää työkalut datan keräämiseen sekä ajoneuvoista että niiden käyttäjiltä, etäohjauksen tilat, tietoliikenneyhteydet, laitteet ja muut tarvittavat välineet. Lisäksi siihen sisältyy lainsäädännön määrittämät vastuut sekä selvitys siitä, miten liikenne- ja viestintäministeriön valmisteleva tieliikenteen automaatiota säätelevä lakiuudistus vaikuttaisi toimintaan, jos se menisi nykyisessä muodossaan läpi.

Työhön kuului etäoperoinnin riskienarviointi, joka tehtiin tunnistettujen riskien toteutumisesta aiheutuneiden vaarojen vaikutuksesta eri etäoperointitasoilla. Lopuksi kehitettiin toimenpiteet, joiden avulla riskit saatiin operoinnin kannalta siedettävälle tasolle. Työn lopussa esitetään myös etäohjauksen tulevia visioita, jotka eivät vielä ole osa konseptia teknologisten ja lainsäädännöllisten rajoitteiden vuoksi.

Avainsanat: LVM, ADS, ADAS, data, Traficom, tieliikenne

---

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

## Abstract

Author: Aleksi Tepponen  
Title: Development of a Remote Control Center  
Number of Pages: 74 pages + 1 appendix  
Date: 19.4.2024

Degree: Master of Engineering  
Degree Programme: Master's Degree Programme in Automotive Engineering  
Supervisors: Pasi Oikarinen Lecturer,  
Mika Rytönen, Chairman of the board, Remoted Oy

This master's thesis aimed to develop a concept for remotely operating driverless vehicles. The concept had to consider the current legislation in Finland and its upcoming renewals. Remoted Oy is seeking to expand its operations internationally, requiring a review of relevant legislation outside the country as well.

The automated driving-related concepts section includes terms related to automated driving and remote operations and introduces the concepts of functional and operational safety.

Research methods employed included a literature review, internal company workshops, data collection from technology and vehicle providers, and the utilization of operator sequence diagrams.

Initial workshops with subject matter experts yielded high-level requirements and vision for the concept. Subsequently, operator sequence diagrams were used to define the real operational needs. The diagrams were built upon data collected from ongoing pilots conducted with safety officers onboard. This data underwent analysis, identifying and categorizing situations requiring operator intervention. Thereafter, diagrams were constructed based on these scenarios, assuming all situations would be resolved remotely instead of the safety officer resolving them.

The outcome of the thesis is a well-defined concept serving as a foundation for further development within the company. The concept encompasses tools for data collection, facility design, connectivity, IT infrastructure, and relevant hardware. It also includes documentation outlining responsibilities derived from legislation, as well as an assessment detailing the anticipated impact of the forthcoming legislative changes.

Moreover, a risk assessment was conducted, analyzing hazards resulting from identified risks at each level of remote operation, with corresponding risk mitigation measures defined to ensure risks were reduced to an acceptable level. The thesis concludes with future visions that could not be realized at the time due to technological and legislative limitations.

Keywords: LVM, ADS, ADAS, data, Traficom, road traffic

---

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Työn tavoitteet	1
1.2	Työn kehittämistarve	2
1.3	Työn lähtökohdat	5
1.4	Työn tilaaja	6
2	Automatisoidun ajamisen käsitteet	7
2.1	Automatisoitu ajoneuvo	7
2.2	Automaation ja kuljettajaa avustavien järjestelmien tasot	9
2.2.1	SAE-automaatiotasot	10
2.2.2	Automaatiotasot lainsäädännön silmissä	12
2.3	Suunniteltu käyttöympäristö	12
2.4	Toiminnallinen turvallisuus	14
2.5	Operatiivinen turvallisuus	16
2.6	Etäoperointi	17
3	Tutkimus- ja kehitysmetodit	20
3.1	Sisäiset työpajat	20
3.2	Tiedonhaku teknologiatoimittajilta	21
3.3	Kirjallisuustutkimus	22
3.4	Operaattori-sekvenssikaavio	23
4	Kehitys- ja tutkimustyön tulokset	26
4.1	Konseptin yleinen esittely	26
4.2	Tiedon kerääminen	28
4.2.1	Lokikirja	28
4.2.2	Automaattinen datankeräys	30
4.3	Etäoperoinnin tasot	32
4.4	ADS-järjestelmien etäoperointitoiminnallisuudet	35
4.5	Etäoperoinnin työkalut	38
4.6	Tilat	39
4.7	Etäoperointikeskuksen maantieteellinen sijainti	42

4.8	Operoinnin lait ja vastuut	42
4.8.1	Suomen lainsäädännön nykytila	43
4.8.2	Tieliikenteen automaation tulevat säädökset	44
4.8.3	Tieliikenteen automaation säätely muissa Euroopan maissa	46
4.8.4	Ajoneuvovalmistajan vastuu lainsäädännön nykytilassa	49
4.8.5	Laki liikenteen palveluista	51
4.8.6	Sisäinen vastuunjako ajoneuvon operoinnista	52
4.9	Operatiivinen ja toiminnallinen turvallisuus	53
4.9.1	Turvallisuusriskit etäoperointitasojen näkökulmasta	53
4.9.2	Turvallisuusriskien hallinta	57
4.10	Konseptin implementointi	59
5	Tuleva kehitys	63
5.1	Useamman ajoneuvon samanaikainen operointi	63
5.2	ADS-järjestelmästä riippumattomat etäoperoinnin työkalut	64
6	Yhteenveto	65
6.1	Tiivistelmä	65
6.2	Tutkimuksen tulosten luotettavuus ja työn eettisyys	66
6.3	Pohdinta ja jatkokehitys	67
6.4	Tulosten disseminaatio	70
	Lähteet	71
	Liitteet	
	Liite 1: Operaattori-sekvenssikaavio esteen ohituksesta	

## Lyhenteet

ADS	<i>Automated Driving System</i> . Automaattinen ajojärjestelmä.
ASIL	Automotive Safety Integrity Level. Ajoneuvojen sähköisten ja elektronisen järjestelmien toiminnallisen turvallisuuden taso.
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> . Maailmanlaajuinen standardisointijärjestö.
LVM	Liikenne- ja viestintäministeriö.
MetaCCAZE	<i>Flexibly adapted MetaInnovations, use cases, collaborative business and governance models to accelerate deployment of smart and shared Zero Emission mobility for passengers and freight</i> . Projektin nimi, joka kuvastaa sen tavoitetta tuottaa metainnovaatioita, käytötapauksia sekä yhteistyöhön perustuvia liiketoiminta- ja hallintamalleja älykkäiden, jaettujen ja päästöttömien kuljetusratkaisujen käyttöönoton kiihdyttämiseen sekä matkustajien kuljetuksessa että logistiikassa.
ODD	<i>Operational design domain</i> . Suunniteltu käyttöympäristö. Lyhenteen laaja määritelmä luvussa 2.3.
PAS	<i>Publicly Available Specification</i> . Standardisointidokumentti, joka ei kuitenkaan ole virallinen standardi. Kehitetty mahdollistamaan nopeampi standardisointi tekemällä prosessista kevyempi.
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i> . Yhdysvaltainen ajoneuvotekniikan järjestö.

UNECE *United Nations Economic Commission for Europe*. Yhdistyneiden kansakuntien Euroopan talouskomissio.

# 1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää Remoted Oy:lle konsepti, jonka avulla automatisoituja ajoneuvoja voidaan valvoa ja kontrolloida etäyhteydellä. Etäoperointikeskukseksi nimetyn konseptin visiona oli mahdollistaa sulava tuki eri valmistajien automatisoiduille ajoneuvoille saman työpisteen äärestä. Tämä konsepti oli työn tekohetkellä ensimmäinen laatuaan.

Viime vuosikymmenen aikana automatisoitujen ajoneuvojen teknologian kehitys on ottanut suuria harppauksia eteenpäin. Vaikka kehitys on ollut nopeaa, ovat odotukset teknologian kehittymisestä osoittautuneet moneen kertaan ylioptimistisiksi (1, s. 42). Ymmärrys automatisoidun ajamisen monimutkaisuudesta on myös ajan myötä kasvanut, eikä monikaan teknologiayritys enää tavoittele täysin itsenäisesti kaikissa olosuhteissa toimivia ajoneuvoja. Nykyisin kehitys keskittyy pääasiassa automaatiojärjestelmiin, jotka kykenevät suorittamaan koko ajotehtävän rajatun käyttöympäristön sisällä.

Ajoneuvojen ei enää oleteta kykenevän itsenäisesti ratkaisemaan kaikkia liikenteessä kohtaamiaan tilanteita, vaan tekniikan rajoituksia pyritään kompensoimaan antamalla ajoneuvoa etänä operoivalle ihmiselle mahdollisuus avustaa sitä tarvittaessa. Avustuksen taso voi vaihdella tilanteen mukaan. Se voi kevyimmillään tarkoittaa matkustajien kanssa vuorovaikutusta ja esimerkiksi ajoneuvon ovien avaamista. Toisessa ääripäässä ajoneuvon dynaaminen hallinta voidaan siirtää automaattiselta ajojärjestelmältä etäoperaattorille. Vaikka termi etäoperointikeskus antaa olettaa kyseessä olevan tila, tarkoitetaan sillä tässä työssä konseptia kokonaisuudessaan.

## 1.1 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena oli konseptin kehitys, sen implementointi ja validointi. Konseptin kehitysvaiheen tavoitteiksi asetettiin sen korkean tason määrittely, Suomen nykyisen lainsäädännön sekä tulevan lainsäädännön ja muiden



Euroopan maiden lainsäädäntöjen kartoitus, etäoperoinnin tilojen ja sijainnin määrittely, tarvittavien työkalujen valinta, tietoliikenneyhteyksien määrittely sekä prosessien ja ohjeiden laatiminen. Lisäksi koko konseptin kattavaa dokumentointia pidettiin erityisen tärkeänä. Painottamalla laadukasta työtä konseptin kehitysvaiheessa pyrittiin varmistamaan vakaa pohja sen jatkokehitykselle. Kehitysvaiheen alatavoitteet asetettiin niin, että ne kattaisivat konseptin kriittisimmät osuudet. Konseptin kehityksessä ei suljettu pois mitään tiettyjä ajoneuvotyyppisiä. Tavoitteena oli, että se olisi sovellettavissa sekä julkisen liikenteen tarpeisiin että logistiikkakäyttöön.

Implementointivaiheen tavoitteena oli rakentaa etäoperointikeskuksen prototyyppi, jonka avulla konsepti voitaisiin validoida. Validointivaiheen tuloksia oli tarkoitus syöttää takaisin konseptin kehitykseen muodostaen näin iteratiivinen kehitysprosessi.

Kokonaisuudessaan työn tavoitteet asetettiin niin, että ne tukevat etäoperointikeskuksen kestävästä kehitystä ja auttavat välttämään niin sanotun teknisen velan kertymistä kannustamalla laadukkaan dokumentoinnin jatkuvaan päivittämiseen.

## 1.2 Työn kehittämistarve

Etäoperoinnin konseptille oli olemassa tilaajayrityksen sisäinen tarve, mutta sen kehittäminen tuo mukanaan myös laajempia yhteiskunnallisia ja sosioekonomisia hyötyjä.

Sisäinen tarve etäoperointikeskukselle tulee automatisoitujen ajoneuvojen kyvykkyyksien rajoitteista sekä juridisista vaatimuksista. Aikaisemmissa automatisoitujen ajoneuvojen kanssa tehdyissä kokeiluissa on huomattu, etteivät ajoneuvot kykene operoimaan täysin itsenäisesti eli autonomisesti. Tilanteissa, joissa automaatio ei kykene suoriutumaan tehtävästään, on operaattorilla oltava tapa avustaa sitä. Etäoperointikeskuksen konsepti rakentuu tämän tarpeen ympärille.

Etäoperoinnille tulee lainsäädännön näkökulmasta myös selvä vaatimus. Sekä Suomen että muiden maiden lainsäädännöt edellyttävät, että jokaisella tiellä liikkuvalla ajoneuvolla on oltava joko ajoneuvossa sisällä oleva vastuullinen kuljettaja tai siihen on kohdistuttava etävalvontaa. (1.)

Opinnäytetyön yhteiskunnallinen hyöty syntyy sen puitteissa tuotetun tutkimustiedon julkaisusta ja tieliikenteen automaatiota koskevan säätelyn valmisteluun osallistumisesta. Lisäksi välillisenä hyötynä voidaan pitää automatisoitujen ajoneuvojen käyttöönoton kiihdyttämistä luomalla sille avustavia prosesseja.

Tämän tutkimuksen tulosten avulla tilaajayritys voi tarjota laadukasta palautetta automaatiota kehittäville toimijoille ja edistää näin järjestelmien kehitystä. Teknologian kehityksen välillisenä hyötynä on automaation leviämisen nopeutuminen.

Liikenne- ja viestintäministeriö (LVM) on valmistelemassa uutta tieliikenteen automaation säätelyä. Valmistelutyön puitteissa on perustettu alan yrityksistä ja muista toimijoista koostuva työryhmä, jossa myös työn tilaaja on edustettuna. (2.) Tämän työn tutkimusta tullaan käyttämään hyödyksi uuden lainsäädännön muodostamisessa. Sen perusteella esitetään työryhmän kautta näkemyksiä lainsäädännön etenkin etävalvontaan liittyvistä vaatimuksista. Työn yhteydessä osallistuttiin myös LVM:n säätelyä valmistelevaan työhön vastaamalla uuden säätelyn arviomuistiota koskevaan lausuntopyyntöön ja esittelemällä konseptia työryhmälle.

Automaation laajan käyttöönoton sosioekonomisia hyötyjä ovat muun muassa perinteistä joukkoliikennettä kustannustehokkaampi toiminta, kuljettajapulan helpottaminen sekä korkeampi turvallisuus.

Perinteisillä linja-autoilla toteutettavassa joukkoliikenteessä suurin yksittäinen kuluryhmä on kuljettajien palkkakulut (3). Käyttämällä automaatiota ajotehtävän suorittamiseen ja mahdollistamalla usean ajoneuvon valvonnan yhden

operaattorin toimesta saadaan säästöjä operoinnin kustannuksissa. Alemmat operointikustannukset mahdollistavat joukkoliikenteen saavutettavuuden parantamisen, vuorovälien lyhentämisen sekä halvemman palvelun hinnan loppukäyttäjälle. Nämä kaikki vaikutukset auttavat tekemään joukkoliikenteestä houkuttelevamman liikkumismuodon yksityisautoiluun verrattuna, jolloin kynnyks oman auton omistamiselle suurenee. Ajoneuvojen etävalvonnan ratkominen on välttämätöntä automaation yleistymisen mahdollistamiseksi.

Kansainvälisen tieliikenteen kuljetusliiton toteuttaman tutkimuksen mukaan Euroopassa oli vuonna 2023 105 000 avointa linja-autonkuljettajan työpaikkaa, mikä vastaa kymmentä prosenttia kaikista alan työpaikoista. Tutkimus osoittaa, että kuljettajapula on jo nykyisellään merkittävä ja on vielä pahenemassa tulevaisuudessa (4). Linja-autojen automatisointi on yksi keino lieventää pulaa seuraavien vuosien aikana.

Entistä merkittävämpi hyöty automatisoidusta ajamisesta on sen turvallisuus ihmiskuljettajan ajamiseen verrattuna. Eräessä Yhdysvalloissa suoritetussa tutkimuksessa havaittiin, että automatisoidut ajoneuvot olivat merkittävästi turvallisempia kuin ihmisten ajamat ajoneuvot. Tutkimuksessa vertailtiin vakuutuskorvaushakemusten määrää perinteisten ja automatisoitujen ajoneuvojen aiheuttamien vahinkojen välillä. (5.)

Liikenteen automaation yleistymisen sosioekonomiset edut painottuvat etenkin yhteiskunnan alemmissa asemassa oleviin joukkoliikenteen kustannusten alenemisen ja liikkumisen turvallisuuden paranemisen myötä.

Työn yhteiskunnallista arvoa lisää se, että se on toteutettu osittain osana Horizon EU -rahoitteista MetaCCAZE-hanketta. Projektin nimi kuvastaa sen tavoitetta tuottaa metainnovaatioita, käyttötapauksia sekä yhteistyöhön perustuvia liiketoiminta- ja hallintamalleja älykkäiden, jaettujen ja päästöttömien kuljetusratkaisujen käyttöönoton kiihdyttämiseen sekä matkustajien kuljetuksessa että logistiikassa (6; 7). Työn tuloksia tullaan jakamaan laajasti

hankkeen sisällä, mikä edistää automaattisen liikenteen käyttöönottoa myös Euroopan tasolla.

### 1.3 Työn lähtökohdat

Työn lähtökohdina toimivat yrityksen aikaisempi versio etäoperointikeskuksen konseptista, aiheesta tehdyt tutkimukset ja muut kirjalliset lähteet sekä tekijän henkilökohtainen työkokemus automatisoitujen ajoneuvojen alalta.

Etäoperointikeskuksen konseptia on kehitetty yrityksessä sen perustamisesta lähtien, noin kahden vuoden ajan. Tämä kehitystyö sisältää fyysiset laitteistot, tiettyjä ajoneuvovalmistajakohtaisia ohjelmistoja sekä toimintaohjeita. Konsepti ei kuitenkaan sisällä suunnitteludokumentaatioita ja kaikkia prosesseja, eikä se ota laajasti huomioon kaikkia lainsäädännöllisiä näkökohtia.

Työssä hyödynnetään alalla tehtyjä tutkimuksia sekä muita luotettavia tietolähteitä. Koska konseptin tulee olla yhteensopiva eri maiden lainsäädäntöjen kanssa, nousevat lainsäädännölliset lähteet työn kannalta tärkeään rooliin. Valtaosa lähteistä on peräisin lainsäädännöistä sekä standardeista, joita voidaan yleisesti pitää luotettavina lähteinä. Tutkimuksiin ja verkkolähteisiin viitattaessa arvioitiin niiden luotettavuutta. Lähteinä käytettiin laajasti suomen- ja englanninkielisiä materiaaleja sekä yksittäisiä ruotsin- ja saksankielisiä viranomaislähteitä.

Työn tekijällä on verrattain laaja työkokemus automatisoidun tieliikenteen parista ottaen huomioon alan nopean kehityksen. Kokemukseen sisältyy työskentelyä automatisoitujen järjestelmien kehityksessä erilaisissa tuotekehityksen tehtävissä, kuten ajoneuvojen testaustoiminnan vetäjänä ja järjestelmäsuunnittelijana. Tätä monipuolista kokemusta ja tehtävissä hankittua osaamista hyödynnettiin työn aikana. Erityisesti perustiedot automatisoitujen ajoneuvojen teknologiasta osoittautuivat työn kannalta merkittäviksi.

## 1.4 Työn tilaaja

Työn tilaajana toimi Remoted Oy. Remoted on elokuussa 2022 perustettu yritys, joka toimittaa asiakkailleen itsestään ajavien ajoneuvojen operointipalveluita. Yhtiön visio on palauttaa kaupunkien kadut takaisin ihmisille tarjoamalla jaetun, kestävän ja ekologisen liikkumisen palveluita hyödyntäen moderneja teknologioita ja kaupunki-infrastruktuurin digitalisaatiota. Yrityksen tavoitteena on parantaa ja monipuolistaa kaupunkiliikennettä siten, että ihmiset alkavat kyseenalaistaa oman auton omistamisen tarpeellisuuden. (8.)

## 2 Automatisoidun ajamisen käsitteet

Automatisoituun ajamiseen liittyy monia alakohtaisia termejä, joiden määritelmät eivät varsinkaan suomen kielessä ole vakiintuneet. Tämän vuoksi on työn alussa oleellista käydä läpi automatisoituun ajamiseen ja ajoneuvojen etävalvontaan liittyvää teoriaa ja käsitteitä. Moneen automatisoituihin ajoneuvoihin liittyvään käsitteeseen liittyy myös väärinymmärryksiä. Seuraavassa alaluvussa annetaan myös lyhyt kuvaus nykyisten automatisoitujen ajoneuvojen toiminnallisista kyvykkyyksistä, jotta lukijalle syntyy käsitys kehityksen nykytilasta.

### 2.1 Automatisoitu ajoneuvo

Automatisoitu ajoneuvo on ajoneuvo, jonka automaattinen ajojärjestelmä kykenee ajamaan ajoneuvoa ilman kuljettajan jatkuvaa tarkkailua. Kun automaattinen ajojärjestelmä on kytketty päälle, on sen vastuulla ajoneuvon koko dynaaminen kontrolli sekä esteisiin ja tapahtumiin reagoiminen tarpeen mukaan.

Automaattista ajojärjestelmää voidaan käyttää sekä perinteisissä ajoneuvoissa, joissa on kuljettajan paikka, että ajoneuvoissa, jotka on varta vasten suunniteltu käytettäväksi ainoastaan automatisoitu ajaminen silmällä pitäen. SAE (Society of Automotive Engineers) J3016 -standardi määrittelee näistä ensimmäiselle termin *dual mode vehicle*, ja toiselle termin *automated driving system dedicated vehicle*, lyhennettynä ADS-DV. (9, s. 23.) Standardin määrittelemille termeille ei ole vakiintunutta suomenkielistä käännöstä. Tämän työn luvussa 2.2 kuvataan automatisoidun ajamisen tasot, minkä yhteydessä kerrotaan tarkemmin ajoautomaation kyvykkyyksistä eri tasoilla.

Automatisoidut ajoneuvot jakautuvat lisäksi hitaasti ennalta määritetyllä alueella ja/tai reitillä ajaviin ajoneuvoihin sekä korkeampaan vauhtiin kykenevillä automaatiojärjestelmillä varustettuihin ajoneuvoihin. Nämä kaksi ryhmää eroavat teknologialtaan huomattavasti toisistaan. Tässä opinnäytetyössä

kehitetty konsepti on rajattu tukemaan ainoastaan ensimmäisenä mainittuja, hitaasti ajavia ajoneuvoja, ja kaikki teknologiaan liittyvät viittaukset koskevat pääasiassa ainoastaan näitä ajoneuvoja. Kuvassa 1 on esitetty tämänkaltainen ajoneuvo.



Kuva 1. EasyMilen kehittämä EZ10-ajoneuvo, joka on varustettu automaattisella ajojärjestelmällä.

On syytä huomata, että SAE J3016 -standardi suosittelee välttämään aiemmin vakiintuneiden termien, kuten autonominen ajoneuvo (*autonomous vehicle*) ja itseajava ajoneuvo (*self-driving vehicle*), käyttöä, sillä ne ovat epätarkkoja ja voivat olla käytöstä riippuen harhaanjohtavia (9, s. 34). Tässä työssä suositellaan käytettäväksi suomenkielisiä termejä *automatisoitu ajaminen* kuvaamaan tilannetta, jossa ajotehtävän suorittaa kone ihmisen sijaan, ja *automaattinen ajojärjestelmä* kuvaamaan tätä tehtävää suorittavaa tekniikkaa. Nämä termit ovat yhteneväiset liikenne- ja viestintäministeriön materiaalien sekä SAE J3016 -standardin kanssa.

Nykyiset kokeiluvaiheessa olevat automatisoidut ajoneuvot operoivat pääsääntöisesti automaatiotasojen 3 ja 4 mukaisesti. Ajoneuvojen suunniteltu käyttöympäristö (ODD) on tyypillisesti hyvin rajattu etenkin ympäristön ja

ympäristön olosuhteiden puolesta. Automatisoidun ajamisen tekniikka perustuu erityyppisiin antureihin ja kameroihin, minkä vuoksi ajoneuvot eivät kykene liikkumaan kovin hyvin epäedullisissa sääolosuhteissa, kuten rankassa lumi- ja vesisateessa (10, s. 21).

Ajoneuvot hyödyntävät ajamisessa lähes poikkeuksetta ennalta tehtyjä 3D-karttoja, joiden avulla ne pystyvät paikantamaan itsensä tarkasti. Näiden lisäksi ne käyttävät varta vasten automatisoituun ajamiseen tarkoitettu vektorikarttoja, joihin on määritelty tärkeitä ympäristön piirteitä, kuten tien kaistat, liikennevalot ja suojatiet. Ajoneuvot kykenevät havainnoimaan ympäristöä ja tunnistamaan niiden reitillä olevia esteitä. Esteen huomattessaan ne pyrkivät pysähtymään, eikä niillä tyypillisesti ole toiminnallisuuksia monimutkaisempien toimintojen tekemiseen, kuten esteiden väistämiseen ohjaamalla ajoneuvoa sivulle. Automatisoidun ajon huippunopeus on ajoneuvosta riippuen yleensä korkeintaan 20 km/h – 40 km/h.

Tämän työn kirjoitushetkellä laajasti kuluttajille suunnattuja automaattisia ajojärjestelmiä ei vielä ole olemassa. McKinseyn tutkimuksen perusteella ensimmäisien automaattisella ajojärjestelmällä varustettujen ajoneuvojen odotetaan saapuvan laajemmin kuluttajamarkkinoille 2026–2027. Ensimmäiset laajasti kuluttajille suunnatut ominaisuudet liittyisivät täysin automaattiseen pysäköintiin, kun taas laajemmat automaattisen ajamisen toiminnallisuudet olisivat saatavilla vasta aikaisinaan vuosien 2028–2029 aikana. (11.)

## 2.2 Automaation ja kuljettajaa avustavien järjestelmien tasot

Kuljettajaa avustavien järjestelmien ja automaattisten ajojärjestelmien luokitteluun on olemassa erilaisia malleja. Maailmanlaajuisesti laajimmin hyväksytty on Society of Automotive Engineersin määrittelemä tasojen järjestelmä.

Seuraavissa kahdessa alaluvussa esitellään SAE-tasojen lisäksi kansallisen ja kansainvälisten sopimusten ja säännösten valmisteluissa käytettyä jaottelua



automatisoituun ajamiseen ja kuljettajaa avustavien järjestelmien jakoon toisistaan.

### 2.2.1 SAE-automaatiotasot

SAE j3016 määrittelee kuusi tasoa ajoneuvojen automatisoiduille ajo-ominaisuuksille. Taso 0 edustaa täyttä automaation puutetta, niin että kuljettaja on yksin vastuussa ajamisesta. Tasolla 1 ajoneuvossa on kuljettajaa avustava järjestelmä, kuten aktiivinen vakionopeudensäädin. Tällä tasolla automaatio on vastuussa joko ajoneuvon pitkittäis- tai sivuttaissuuntaisesta ohjaamisesta muttei kuitenkaan molemmista. Tasolla 2 automaatio sisältää järjestelmiä, jotka vaikuttavat aktiivisesti sekä auton ohjaukseen että nopeuteen. Tasolla 3 ajoneuvo pystyy suorittamaan koko ajotehtävän, mutta kuljettajan on oltava valmis ottamaan ohjaus itselleen reaaliajassa. Tasolla 4 ajoneuvo kykenee suoriutumaan itsenäisesti koko ajosuoritteesta ODD:n rajojen sisällä eikä siten vaadi valmiudessa olevaa kuljettajaa. Korkeimman automaatiotason, tason 5, järjestelmät pystyvät käsittelemään kaikki liikennetilanteet itsenäisesti, vastaten kokeneen kuljettajan ajamista.

Tasojen 1 ja 2 järjestelmät toimivat kuljettajaa avustavina järjestelminä ja ovat jo yleisesti käytössä perinteisissä ajoneuvoissa. Tasojen 3–5 järjestelmät pystyvät suorittamaan itsenäisesti koko ajotehtävän, minkä vuoksi niitä kutsutaan automaattisiksi ajojärjestelmiksi.

Näiden järjestelmien käyttö on tällä hetkellä rajoittunut pääasiassa automatisoituihin ajoneuvoihin, jotka on erityisesti suunniteltu toimimaan ilman ihmiskuljettajan aktiivista osuutta ajamiseen, sekä jälkikäteen automaattisella ajojärjestelmällä varustettuihin ajoneuvoihin.

Kuvassa 2 esitetään automaatiotasojen 3–5 standardin mukaiset määritelmät. Taulukon ensimmäinen sarake vasemmalta kuvastaa automaation tasoa, toinen sen nimeä, kolmas sarake antaa tasolle lyhyen kuvauksen, ja neljäs, viides, kuudes ja seitsemäs sarake kuvailevat kunkin tason ominaisuuksia ja rajoitteita.

Huomionarvoista taulukossa on ero tasojen 3 ja 4 välillä. Tasolla 3 dynaamisen ajosuorituksen varajärjestelmänä toimii ihmiskuljettaja, kun taas tason 4 automaattisessa ajoneuvossa on varajärjestelmä, joka kykenee varmistamaan turvallisuuden myös vikatilanteissa. (9, s. 24–32.) Tämä mahdollistaa tason 4 ajoneuvon operoimisen ilman aktiivisesti valmiudessa olevaa kuljettajaa.

Toinen merkittävä seikka on, että tasojen 3 ja 4 järjestelmät ovat rajoittuneita ODD:n suhteen, kun taas tason 5 järjestelmä kykenee toimimaan ympäristöstä riippumatta.

Table 1 - Summary of levels of driving automation (continued)

Level	Name	Narrative Definition	DDT <sup>(1)</sup>		DDT Fallback	ODD	
			Sustained Lateral and Longitudinal Vehicle Motion Control	OEDR			
<b>ADS ("System") Performs the Entire DDT (While Engaged)</b>							
Automated Driving	3	Conditional Driving Automation	The <i>sustained</i> and <i>ODD</i> -specific performance by an <i>ADS</i> of the entire <i>DDT</i> with the expectation that the <i>DDT fallback-ready user</i> is receptive to <i>ADS</i> -issued requests to intervene, as well as to <i>DDT</i> performance-relevant <i>system failures</i> in other <i>vehicle</i> systems, and will respond appropriately.	System	System	<i>Fallback-ready user</i> (becomes the <i>driver</i> during <i>fallback</i> )	Limited
	4	High Driving Automation	The <i>sustained</i> and <i>ODD</i> -specific performance by an <i>ADS</i> of the entire <i>DDT</i> and <i>DDT fallback</i> without any expectation that a <i>user</i> will need to intervene.	System	System	System	Limited
	5	Full Driving Automation	The <i>sustained</i> and unconditional (i.e., not <i>ODD</i> -specific) performance by an <i>ADS</i> of the entire <i>DDT</i> and <i>DDT fallback</i> without any expectation that a <i>user</i> will need to intervene.	System	System	System	Unlimited

<sup>(1)</sup> The *DDT* does not include strategic aspects of the driving task, such as determining destination(s) and deciding when to travel.

Kuva 2. Automaatitason 3–5 ominaisuudet ja rajoitteet taulukoituna. Taulukosta on jätetty pois tasojen 0–2 tiedot, koska ne eivät ole olennaisia keskusteltaessa automatisoiduista ajoneuvoista. (9, s. 26.)

### 2.2.2 Automaatiotasot lainsäädännön silmissä

Liikenne- ja viestintäministeriön mukaan SAE-automaatiotasoja ei tulla käyttämään perustana niin uusissa kansallisissa kuin kansainvälisissäkään tieliikenteen automaatiota säätelevissä asetuksissa. Sen sijaan jako tehdään kuljettajaa avustavien järjestelmien ja automaattisten ajojärjestelmien välillä. Tämä perustuu siihen, että lainsäädännön kannalta on hyvin oleellista tunnistaa se, onko ajoneuvon kuljettamisesta vastuussa ihminen vai automaattinen ajojärjestelmä. Toinen oleellinen jako tehdään sen välillä, onko ajoneuvon sisällä valmiudessa oleva henkilö vai valvooko ajoneuvoa etäoperaattori. (1, s. 50.) Käytännössä vaikuttaa siltä, että ajoneuvon avustavat järjestelmät vastaavat pitkälti SAE-tasojen 1–3 määrittämiä ja automaattiset ajojärjestelmät SAE-tasoja 4 ja 5. Koska lainsäädännössä eri järjestelmien jaottelu on vielä kesken, tullaan tässä työssä viittaamaan pääasiassa SAE-automaatiotasoihin.

### 2.3 Suunniteltu käyttöympäristö

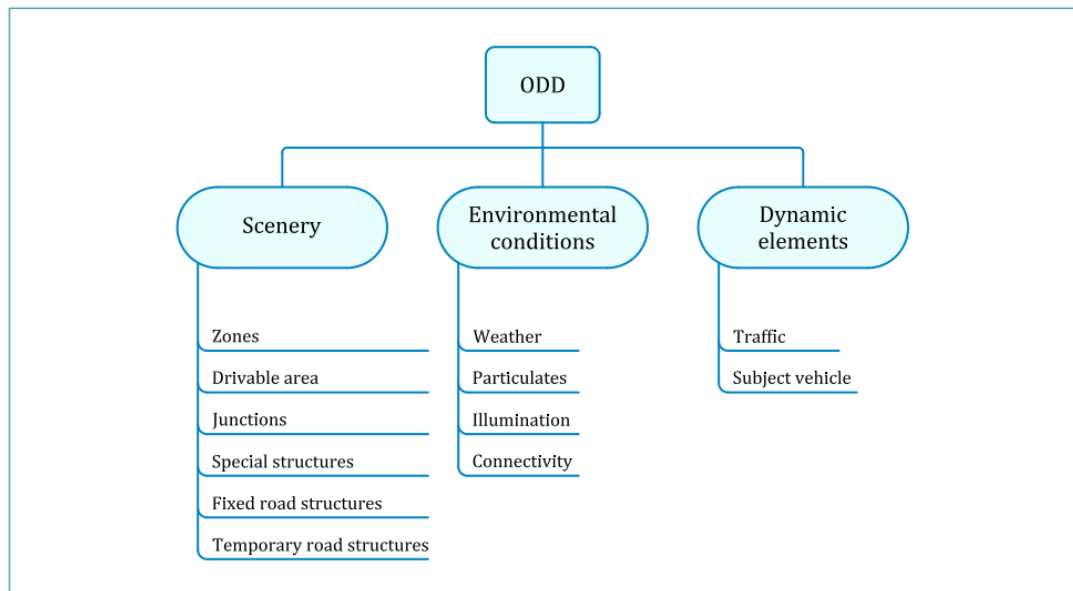
*Suunniteltu käyttöympäristö* on termi, joka on käännetty sen englanninkielisestä vastineesta *Operational Design Domain*, lyhyesti ODD. Operational Design Domain -termille ei ole vakiintunutta suomenkielistä käännöstä, joten tässä työssä tullaan selvyuden vuoksi käyttämään lyhennettä ODD puhuttaessa suunnitellusta käyttöympäristöstä. Tämä käsite on sellaisenaan käytössä myös liikenne- ja viestintäministeriön aineistoissa (1).

ODD-käsitteen käyttö automatisoitujen ajoneuvojen yhteydessä juontaa juurensa SAE J3016 -standardiin, jonka vapaasti käännetty määritelmä termistä on seuraava: Käyttöolosuhteet, joissa ajoautomaatiojärjestelmä tai automaatiotoiminto on suunniteltu toimimaan. Käyttöolosuhteiden määrittely sisältää ympäristöllisiä, maantieteellisiä ja vuorokaudenaikaan liittyviä rajoituksia sekä rajoituksia, jotka liittyvät tiettyjen tie- tai liikennepiirteiden olemassaoloon. (9, s. 17.)

Standardi perustelee ODD-konseptin merkityksen automatisoitujen ajoneuvojen kyvykkyyksien määrittelyssä toteamalla, että tarkka automaatiojärjestelmän kyvykkyyden määrittely vaatii sekä automaation tason että suunnitellun käyttöympäristön tarkan määrittelyn (9, s. 32).

ODD:n sisällöstä on tehty yksityiskohtaisempi määrittely standardissa PAS (Publicly Available Specification) 1883. Tämä standardi määrittelee piirteet, jotka tulisi ottaa huomioon ODD:n määrittelyssä, jotta kaikki olennainen tieto ajoneuvon käyttöympäristöön liittyen välittyisi valmistajalta käyttäjälle ja muille keskeisille sidosryhmille. Standardin mukaan ODD-määritelmä jaetaan kolmeen pääkategoriaan: ympäristö, ympäristön olosuhteet ja dynaamiset elementit. Ympäristön määritelmä kattaa alueet, tien pinnan ja geometrian sekä risteysiin liittyvät ominaisuudet. Ympäristön olosuhteet -ryhmä sisältää sääolosuhteet, ilmassa olevat partikkelit, valaistuksen ja ulkoiseen kommunikaation liittyvät ominaisuudet. Dynaamisten elementtien pääryhmä sisältää liikenteeseen ja muihin tienkäyttäjiin liittyvät rajoitukset. (12, s. 5.) ODD:n kolme pääryhmää on esitetty kuvassa 3.

Figure 1 – Top level taxonomy with ODD attributes



Kuva 3. Korkean tason kuvaaja ODD-määrittelyn sisällöstä (12, s. 5).

Suomen olosuhteet, erityisesti ympäristön olosuhteiden osalta, eroavat usein merkittävästi muista länsimaista. Siksi on erityisen tärkeää kiinnittää huomiota tähän kategoriaan liittyviin seikkoihin ajoneuvoja hankittaessa.

## 2.4 Toiminnallinen turvallisuus

Ajoneuvojen eri järjestelmiä kehittäessä on varmistettava, että ajoneuvon tieliikenneturvallisuus ei vaarannu siitä huolimatta, että jokin ajoneuvon järjestelmä vikaantuu. *Toiminnallinen turvallisuus* tarkoittaa kohtuuttomien riskien puuttumista vaaroista, jotka johtuvat järjestelmien toimintahäiriöistä (13).

Ajoneuvojen turvallisuuskriittisiä sähköisiä ja elektronisia järjestelmiä kehittäessä on käytävä läpi prosessi, joka sisältää vaarojen analysoinnin ja riskiarvioinnin (Hazard Analysis and Risk Assessment, HARA). HARA:ssa arvioidaan komponenttien vikaantumiselle kolmea eri muuttujaa: vakavuus (potentiaaliset vammat ajoneuvon matkustajille tai muille tienkäyttäjille), altistuminen (kuinka usein ajoneuvo on altistunut vaaralle) ja kuljettajan kyky hallita tilannetta vaaran realisoituessa. Näiden muuttujien perusteella määritetään komponenteille ASIL-luokka (Automotive Safety Integrity Level), jonka mukaan ne on suunniteltava. Mitä korkeampi ASIL-luokka on, sitä enemmän toimenpiteitä on toteutettava riskien hallitsemiseksi. (14). Kuvan 4 taulukossa on määritelty ASIL-luokat edellä mainittujen muuttujien mukaan.

Severity	Exposure	Controllability		
		C1 (Simple)	C2 (Normal)	C3 (Difficult, Uncontrollable)
<b>S1</b> LIGHT AND MODERATE INJURIES	E1 (Very low)	QM	QM	QM
	E2 (Low)	QM	QM	QM
	E3 (Medium)	QM	QM	A
	E4 (High)	QM	A	B
<b>S2</b> SEVERE AND LIFE THREATENING INJURIES – SURVIVAL PROBABLE	E1 (Very low)	QM	QM	QM
	E2 (Low)	QM	QM	A
	E3 (Medium)	QM	A	B
	E4 (High)	A	B	C
<b>S3</b> LIFE THREATENING INJURIES, FATAL INJURIES	E1 (Very low)	QM	QM	A
	E2 (Low)	QM	A	B
	E3 (Medium)	A	B	C
	E4 (High)	B	C	D

**QM (Quality Management)**  
Development supported  
by established Quality Management  
is sufficient.

A **lowest ASIL**  
Low risk reduction necessary

B  
⋮

C

D **highest ASIL**  
High risk reduction necessary

Kuva 4. ASIL tasot määritettynä vakavuuden, altistuksen ja hallittavuuden mukaan (15).

Ajoneuvon ajaessa tason 3 automaation mukaan, on sillä aina oltava valmiudessa oleva kuljettaja. Koska ajoneuvolla on kuljettaja, on vaarojen hallittavuus joissakin tilanteissa mahdollista, jolloin ajoneuvon kaikkia kriittisiä komponentteja ei välttämättä tarvitse suunnitella korkeimman ASIL-luokan mukaan. Koska tason 4 automaatio-ominaisuudet eivät edellytä valmiudessa olevaa kuljettajaa, niiden käytön aikana ilmaantuvat riskit eivät myöskään ole kuljettajan hallittavissa. Tämän vuoksi vertailtaessa kahta muuten samanlaista automaatiojärjestelmää, on tason 4 järjestelmän komponenttien oltava korkeammalla ASIL-tasolla kuin tason 3 järjestelmän komponenttien.

Yksi tapa hallita riskejä on järjestelmien dekompositio eli toimintojen jakaminen toisistaan erillisille komponenteille. Järjestelmä, jolle vaaditaan korkea ASIL-luokitus, voidaan jakaa useimpaan erilliseen, toisistaan riippumattomaan alajärjestelmään, joiden ASIL-vaatimus on alkuperäistä vaatimusta pienempi. ASIL D -vaatimus voidaan esimerkiksi toteuttaa kahdella rinnakkaisella ASIL C -tason järjestelmällä, jotka ovat hyväksytyjä käytettäväksi korvaamaan yhdessä

ASIL D -järjestelmä dekompositiossa. Näiden järjestelmien taso merkitään tällöin muodossa ASIL C (D). (16.)

## 2.5 Operatiivinen turvallisuus

Tässä luvussa tarkastellaan *operatiivista turvallisuutta* ajoneuvon teknologian turvallisuuden näkökulmasta. Operatiivinen turvallisuus voi laajemmassa määritelmässä kattaa myös ajoneuvon käytön ja operoinnin turvallisuutta ottaen huomioon toiminnan prosessit ja ohjeistukset. Tähän laajempaan määritelmään ottaa kantaa ajoneuvojen käyttöä koskeva lainsäädäntö, jota esitellään luvussa 4.8.

Jos toiminnallinen turvallisuus tarkoittaa kohtuuttomien riskien puuttumista järjestelmävirian sattuessa, operatiivinen turvallisuus merkitsee turvallisuutta järjestelmän toimiessa sille suunnitellulla tavalla. EU:n automaattisten ajojärjestelmien tyyppihyväksyntää koskeva implementointiasetus EU 2022/1426 määrittelee, että operatiivinen turvallisuus varmistaa, ettei kohtuuttomia riskejä ilmene silloin, kun vaarat johtuvat suunnitellun toiminnon puutteista, toiminnallisista häiriöistä tai ennakoitavissa olevista järjestelmän väärinkäytöksistä (17, s. 5).

Asetus edellyttää, että ajoneuvon valmistaja osoittaa, että operatiivinen turvallisuus on asianmukaisesti huomioitu järjestelmän suunnittelussa. Turvallisuuden takaavien toimenpiteiden on varmistettava, että automaattisen ajojärjestelmän käytön aikana ei esiinny kohtuuttomia riskejä. Asetus ei kuitenkaan suoraan määrittele tarkempia turvallisuusvaatimuksia.

Erytyisesti ADAS- ja ADS-järjestelmien (Advanced Driver Assistance System ja Automated Driving System) operatiivisen turvallisuuden varmistamiseksi on kehitetty ISO-standardi (International Organization for Standardization) SOTIF 21488:2021 (Safety Of The Intended Functionality), joka antaa ohjeita järjestelmien suunnitteluun, testaamiseen ja käytön aikaisiin aktiviteetteihin (18).

Sekä toiminnallinen että operatiivinen turvallisuus on otettava huomioon kehitettäessä automatisoitujen ajoneuvojen etäohjausjärjestelmiä. Tässä työssä nämä turvallisuusnäkökohdat otetaan huomioon komponenttien valinnassa, järjestelmätason suunnittelussa ja järjestelmien rakentamisessa yhteistyössä automaattisten ajojärjestelmien toimittajien kanssa.

## 2.6 Etäoperointi

Automatisoidun ajoneuvon etäoperoinnilla on kaksi pääasiallista tarkoitusta: Ensinnäkin se avustaa ajoneuvoa tilanteissa, joissa sen automaattinen ajojärjestelmä ei kykene suoriutumaan ajotehtävästä tai siihen liittyvistä toiminnoista itsenäisesti. Toiseksi, se tarjoaa vastuulliselle kuljettajalle tavan puuttua ajoneuvon käyttöön, jos hän näkee turvallisuutta vaarantavia tilanteita, erityisesti kun automaattinen ajojärjestelmä operoi SAE-automaatiotason 3 mukaisesti. Lähtökohtana on aina kuitenkin se, että kytkettynä ollessaan automaattinen ajojärjestelmä on vastuussa ajamisen turvallisuudesta. Joissakin tilanteissa ajoneuvon dynaaminen kontrolli voidaan siirtää automaattiselta ajojärjestelmältä ajoneuvon etäoperaattorille.

Toissijainen syy etäoperoinnin tarpeellisuudelle tulee lainsäädännöstä. Eri maiden lainsäädännöt lähtevät tällä hetkellä siitä oletuksesta, että jokaisella ajoneuvolla on oltava vastuullinen kuljettaja. Näin tekee myös Suomen tieliikennelaki. Maan uudistettu tieliikennelaki on kuitenkin kirjoitettu niin, ettei se edellytä kuljettajan olemista ajoneuvossa, mikä mahdollistaa näin automatisoitujen ajoneuvojen etävalvonnan (1, s. 29). Lainsäädännön vaatimuksia etäoperointikeskukselle esitellään yksityiskohtaisemmin työn tulokset -osiossa.

Automatisoitujen ajoneuvojen etäoperaattorin tehtäviä ei ole standardisoitu, eikä käytössä ole yhtä laajasti tunnustettua mallia. Tutkimuksissa ja julkaisuissa on kuitenkin esitetty erilaisia luokitteluita etäoperoinnin roolin perusteella. Esimerkiksi UNECE (United Nations Economic Commission for Europe) on jakanut etäoperoinnin kolmeen kategoriaan: etäavustaminen, etähallinta ja



etäajaminen (2). Liikenne- ja viestintäministeriön tieliikenteen automaation säätelyn valmisteleavassa työssä etäoperointi jaetaan kahteen kategoriaan: etäavustamiseen ja etäajamiseen. Tässä jaottelussa etäavustaminen pitää sisällään ajamisen strategisia elementtejä, kun taas etäajaminen sisältää etänä tehtävät taktiset ja operatiiviset tehtävät. (1, s. 62.)

Tässä kehitetyssä konseptissa päätettiin mukailla Nottinghamin yliopiston tutkimuksessa esitettyä mallia, joka sisältää edellä mainittujen UNECEn tasojen lisäksi neljännen tason, etävalvonnan (19). Tasojen määritelmiä on hieman muokattu vastaamaan paremmin tämän konseptin tarpeita.

### Etävalvonta

Ajoneuvon toiminnan ja ympäristön valvonta ilman suoraa avustamista. Valvonta voi olla joko aktiivista, jossa operaattori ylläpitää jatkuvaa tilannekuvaa ajoneuvon ympäristöstä, tai passiivista, jossa operaattori seuraa toimintaa ainoastaan ajoittain tai tarpeen mukaan.

### Etäavustus

Operaattori kommunikoi ajoneuvossa tai sen ympäristössä olevien henkilöiden kanssa ja avustaa heitä ilman suoraa osallistumista itse ajamiseen. Tämä sisältää myös kommunikoinnin muiden sidosryhmien kanssa tietyissä ajoneuvoon liittyvissä tilanteissa, kuten hätäkeskuksen kanssa tapahtuvan viestinnän onnettomuustilanteissa.

## Etähallinta

Operaattori tukee ajoneuvoa antamalla sille strategisia ohjeita silloin, kun ajoneuvon automaatio ei kykene jatkamaan itsenäisesti. Ohjeet voivat sisältää esimerkiksi luvan ajon jatkamiseen hätäjarrituksen jälkeen tai ohittamiseen tiellä olevan esteen kohdalla.

## Etäajaminen

Operaattorilla on ajoneuvon reaaliaikainen dynaaminen hallinta, eli hän ohjaa ajoneuvoa etänä. Tämä taso tuo mukanaan merkittäviä riskejä, joten etäajamista vältetään, mikäli on mahdollista käyttää etäoperoinnin aiempia tasoja. (19.)

### 3 Tutkimus- ja kehitysmetodit

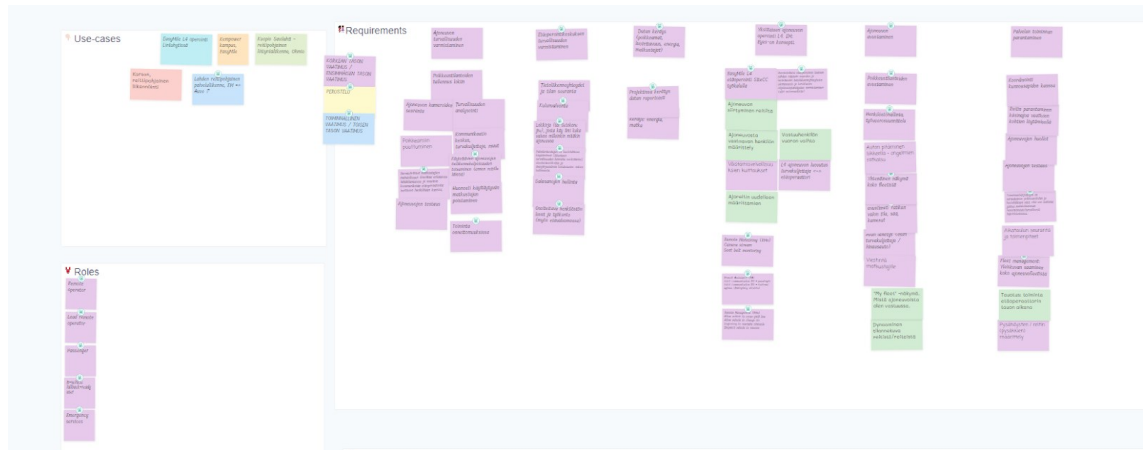
Työssä käytettiin kahta tutkimusmetodia: operaattori-sekvenssikaavioita ja kirjallisuustutkimusta. Lisäksi käytettiin kahta kehitysmetodia: sisäisiä työpajoja ja tiedonhankintaa teknologiatoimittajilta. Näiden menetelmien valinnalla tavoiteltiin työlle laajaa tietopohjaa samalla pyrkien säilyttämään kehitys käytännönläheisenä osallistamalla laajasti yrityksen työntekijöitä prosessiin. Jotta konseptin jalkauttaminen myöhemmin yrityksen sisällä olisi mahdollisimman tehokasta, nähtiin käytännönläheinen ja osallistava kehitystapa tärkeänä.

#### 3.1 Sisäiset työpajat

Työ aloitettiin korkean tason konseptin luomisella, johon osallistettiin yrityksen henkilöstöä yhteisien työpajojen avulla. Työpajoissa kerättiin aikaisempia kokemuksia ja asiantuntemusta automatisoitujen ajoneuvojen operoinnista. Työpajat järjestettiin etänä hyödyntäen MetroRetro-nimistä selainpohjaista työkalua, joka mahdollisti interaktiivisen työskentelyn. Konseptin kehittämiseen varattiin yhteensä kolme työpajaa.

Ensimmäisessä työpajassa hahmoteltiin konkreettiset käyttökohteet etäoperointikeskukselle ja laadittiin ensimmäinen luonnos eri käyttökohteiden korkean tason vaatimuksista. Jotta vaatimukset vastaisivat mahdollisimman hyvin varsinaisten käyttötapausten tarpeita, aloitettiin työ määrittelemällä käyttötapaukset. Seuraavissa työpajoissa jatkettiin vaatimusten hahmottelua konkreettisempaa suuntaa kohti.

Kuvassa 5 esitetään ensimmäisen työpajan lopputulos. Vasemmalla ylhäällä on esitetty käyttötapausten määrittely, ja oikealla on kuuteen eri ryhmään jaotellut vaatimukset. Kunkin ryhmän ylimmällä lapulla on korkean tason vaatimus, jonka alle on kerätty niihin liittyviä alemman tason vaatimuksia.



Kuva 5. Työpajan tulos MetroRetro työkalulla tehtynä.

### 3.2 Tiedonhaku teknologiatoimittajilta

Suuri osa työstä koostui eri automatisoituja ajajärjestelmiä kehittävien yritysten teknologioihin ja niiden kyvykkyyksiin tutustumisesta. Yritysten kanssa käytiin keskusteluja eri tasoilla, mukaan lukien etäpalaverit, sähköpostiviestit ja vierailut. Osassa yritysvierailuja päästiin myös tutustumaan teknologiatoimittajien omiin etäoperointikeskuksiin. Yhteensä keskusteluja käytiin noin 10:n eri yrityksen kanssa ja niiden perusteella saatiin kattava yleiskuva sekä automatisoidun ajamisen että etäohjauksen kyvykkyyksistä. Yritysten kanssa käydyt keskustelut ovat salassapitosopimuksien alaisia, joten niistä saatuja tietoja ei tulla yksityiskohtaisesti avaamaan.

Työn alussa, luvussa 2.1 kerrottiin yleisesti ADS-järjestelmien ominaisuuksista ja työn tulokset -osuudessa kerrotaan yleisellä tasolla ajoneuvojen etäoperointiin liittyvistä toiminnallisuuksista.

Tietoa teknologian nykytilasta saatiin lisäksi MetaCCAZE-projektin Brysselissä käydyistä konferenssista ja sen materiaaleista.

### 3.3 Kirjallisuustutkimus

Työssä suoritettiin kattava kirjallisuustutkimus, joka käsitti aiheeseen liittyvien tutkimusten, lainasäädösten, standardien ja aiempien projektidokumenttien läpikäynnin.

Automatisoitujen ajoneuvojen tutkimuksia on runsaasti saatavilla esimerkiksi ResearchGate-palvelussa. Tämän työn aikana käytiin läpi noin 10 eri tutkimusta, joiden pohjalta pyrittiin muodostamaan käsitys niin etäoperoinnin toiminnallisista tarpeista kuin myös nykyisen saatavilla olevan teknologian kyvykkyyksistä.

Automatisoitujen ajoneuvojen ala on vielä suhteellisen uusi, eikä sen säätely ole yhtä kehittyntä kuin perinteisten ajoneuvojen. Työtä säätelyn parantamiseksi on kuitenkin käynnissä useilla eri osa-alueilla, ja ensimmäiset EU-tason säännökset oli jo työn kirjoitushetkellä julkaistu. Alan säätely voidaan karkeasti jakaa kahteen osa-alueeseen: automatisoidun ajamisen teknisen toteutuksen säätelyyn tyyppihyväksyntäsäännöksillä sekä automatisoitujen ajoneuvojen käytön säätelyyn. Tekninen säätely tapahtuu yleisesti ottaen EU-tasolla, kun taas käytön säätely on tällä hetkellä pääosin kansallista ja vaihtelee merkittävästi eri maiden välillä. Työssä perehdyttiin sekä tekniseen että käytön säätelyyn eri maissa.

Ajoneuvojen teknistä kehitystä ohjataan säätelyn lisäksi myös standardeilla. Työssä tarkasteltiin pääasiassa ajoneuvojen sähköisiä ja elektronisia järjestelmiä koskevia standardeja. Vaikka nämä standardit eivät suoraan säätele ajoneuvojen toiminnallisuuksia, ne asettavat vaatimuksia järjestelmien tuotekehitykselle. Koska etäohjauskeskuksen toiminnot voivat vaikuttaa suoraan ajoneuvon ajoon ja hallintaan, oli tärkeää ymmärtää näitä standardeja ylätasolla.

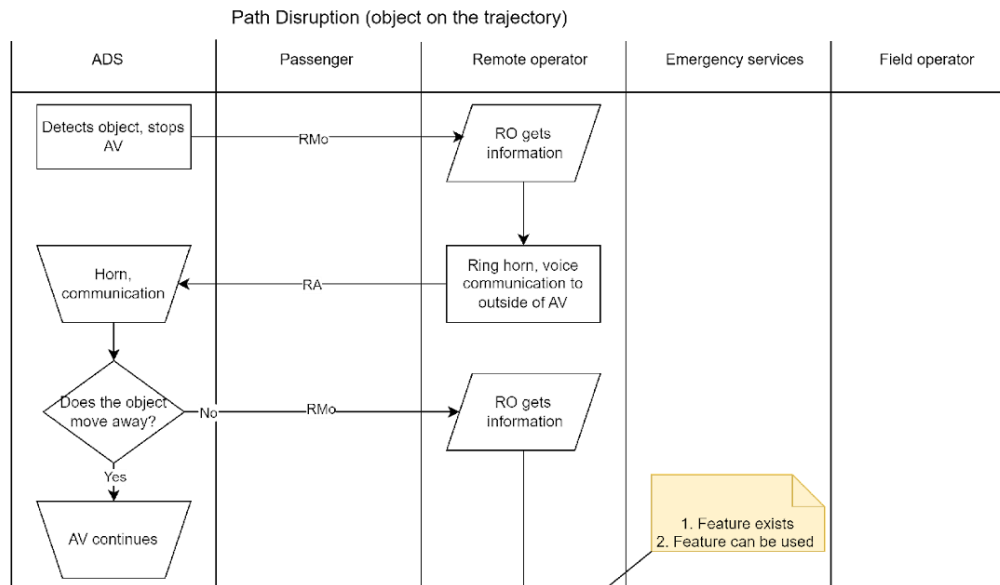
Automatisoitujen ajoneuvojen parissa on tehty laajalti kokeiluja ympäri maailmaa, usein julkisin varoin rahoitettuna. Näiden kokeilujen tuloksia on

raportoitu laajasti, ja projektien loppuraportit ovat usein vapaasti saatavilla. Aiempien projektien raportteja tutkimalla voitiin saada hyvä käsitys tehtyjen kokeilujen haasteista ja tuloksista, mikä auttoi etäohjauskeskuksen kehitystyössä ottamaan huomioon aiempien projektien opit ja välttämään niiden kohtaamat haasteet.

### 3.4 Operaattori-sekvenssikaavio

Operaattori-sekvenssikaavioita käytetään kuvaamaan graafisessa muodossa järjestelmän eri toimijoiden vuorovaikutuksia toistensa kanssa. Jokaisella toimijalla tai järjestelmällä kaaviossa oma sarake. Toimijoiden välistä vuorovaikutusta kuvataan ennalta määritetyillä kuvioilla, joilla on jokaisella oma merkityksensä. Eri kuvioiden käytölle tai niiden merkitykselle ei ole olemassa yhtä yleisesti käytössä olevaa mallia. Tässä työssä päätettiin noudattaa Nottinghamin yliopiston tutkimuksessa käytettyä lähestymistapaa niiden käytössä. Kaavioiden käyttöä voidaan helposti muokata lisäämällä niihin uusia sarakkeita, jotka edustavat järjestelmän eri toimijoita. (19.)

Kuvassa 6 on havainnollistava esimerkki tässä työssä tehdystä kaaviosta, joka on luotu diagrams.net-verkkotyökalulla. Kaaviossa suorakulmiokuvio kuvastaa yleistä tehtävää, suunnikas kuvaa tiedon vastaanottamista, ylhäältä levenevä puolisuunnikas ajoneuvon suorittamaa tehtävää ja neljäkäs tehtävää valintaa. Viivat kuvioiden välillä kuvastavat tiedon kulkua, ja niiden yhteydessä olevat tekstit selittävät, mihin etäoperoinnin tasoon ne liittyvät.



Kuva 6. Esimerkki operaattori-sekvenssikaaviosta, joka kuvastaa automatisoidun ajojärjestelmän, matkustajan, etäoperaattorin, pelastusviranomaisten ja kenttäoperaattorin välistä vuorovaikutusta.

Tässä työssä käytettiin operaattori-sekvenssikaavioita etäoperoinnin vaatimusten tarkasteluun kuvitteellisissa tilanteissa, joissa automatisoitu ajoneuvo tarvitsee ihmiskuljettajan avustusta erityistilanteissa, joista se ei selviydy itsenäisesti.

Jotta kyettäisiin analysoimaan operoinnille relevantteja erityistilanteita, päätettiin niistä kerätä tietoa käynnissä olevista operoinneista automatisoiduilla ajoneuvoilla. Tietoa kerättiin manuaalisesti ajoneuvoista, jotka ajoivat tason 3 automaation mukaisesti sekä suljetun alueen reiteillä että avoimessa liikenteessä. Tiedon keräyksen aikana ajoneuvon sisällä oleva operaattori

merkitsi lokikirjaan muistiin ne tilanteet, joissa hän joutui avustamaan ajoneuvon toimintaa. Tämän tiedon keräämiseen käytettiin Google Sheets -pohjaista lokikirjaa, jonka kehitys oli myös tämän työn piirissä.

Työn aikana tunnistettiin noin 20 yksilöllistä erityistilannetta. Osa tilanteista kohdattiin ajoneuvojen operointien aikana, kun taas osa etenkin harvinaisemmista tilanteista identifioitiin kuvittelemalla eri vaara- ja erityistilanteita, joita liikenteessä voi tulla vastaan. Koska monet näistä tilanteista olivat samankaltaisia keskenään ja niiden ratkaisemiseen tarvittavien menetelmien arvioitiin olevan samat, päätettiin laatia kaaviot kahdeksasta yksilöllisestä tilanteesta. Analysoimalla valmiita kaavioita saavutettiin hyvä käsitys etäoperaattorin tehtävien vaatimuksista. Kaavioiden analysoinnin tulokset on esitetty luvussa 4.3.



## 4 Kehitys- ja tutkimustyön tulokset

Tämän työn tuloksena syntyi kokonaisvaltainen konsepti, jolla tason 3 ja 4 automaatiojärjestelmillä varustettuja ajoneuvoja voidaan operoida etänä.

Tavoitteena oli kehittää konsepti, jonka avulla voitaisiin operoida ajoneuvoja ilman, että niissä tarvitsee olla erillistä turvakuljettajaa. Koska kuitenkin tekniikan kehitys on vielä vaiheessa ja ollaan usein tilanteessa, jossa turvallisuuden varmistamiseksi ajoneuvossa on oltava turvakuljettaja, päätettiin tässä työssä ottaa huomioon myös nämä käyttötapaukset.

Etäoperoinnin käyttötapaukset jaettiin kolmeen pääryhmään: tason 4 automaatiolla olevan ajoneuvon operointi, tason 3 ajoneuvon etäoperointi sekä automaatiotason 3 ajoneuvon turvakuljettajan avustus. Näistä viimeiseksi mainitussa etäoperaattorin tehtävä on puhtaasti avustaa ajoneuvon turvakuljettajaa, esimerkiksi kirjaamalla lokikirjaan tietoja tai ohjeistamaan kuljettajaa erityistilanteissa. Kahdessa ensimmäisessä käyttötapauksessa etäoperaattori on vastuussa ajoneuvon operoinnista.

Työn aikana konseptin implementointia aloitettiin hankkimalla etäoperoinnissa käytettävä tila, laitteita sekä ohjelmistoja. Implementointia ei kuitenkaan ehditty saattamaan valmiiksi eikä konseptin validointivaihetta kyetty kunnolla aloittamaan.

### 4.1 Konseptin yleinen esittely

Vaikka nimi "etäoperointikeskus" voisi antaa ymmärtää kyseessä olevan pelkkä fyysinen tila, se kattaa todellisuudessa paljon laajemman konseptin. Konseptiin kuuluu kaikki etäoperointikeskuksen toimintaan liittyvät osa-alueet, joista merkittävimmät ovat tilat ja niiden maantieteellinen sijainti, etäoperoinnissa käytettävät ohjelmistoratkaisut, tietoliikenneyhteyksien määrittelyt sekä ohjeistukset. Suunnitelma ottaa huomioon laajasti lainsäädännölliset vaatimukset, ja siihen kuuluu riskikartoitus sekä niiden hallintatoimet.

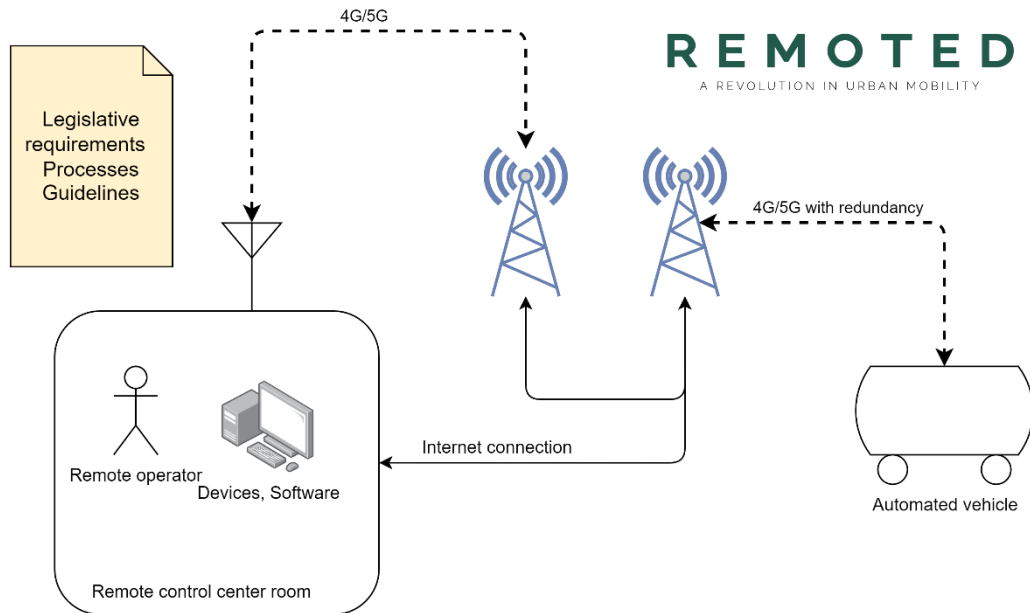
Etäoperointikeskuksen avulla etäoperaattori pystyy pääsääntöisesti suorittamaan neljää erilaista etäoperaation tehtävää: etävalvontaa, etäavustusta, etähallintaa ja etäajamista. Riippuen käytössä olevista ajoneuvoista jotkut tehtävät voivat olla rajoitettuja. Automatisoidut ajoneuvot vastaavat ajoneuvon dynaamisesta hallinnasta ja siten ajon turvallisuudesta kaikilla etäoperoinnin tasoilla lukuun ottamatta etäajamista.

Etäoperointia tehdään erityisesti sille varatusta tilasta, etäoperointikeskuksesta. Tästä tilasta yksi tai useampi etäoperaattori voi operoida ajoneuvoja, jotka toimivat samassa maassa, jossa tila sijaitsee. Tilan tulisi mahdollisuuksien mukaan sijaita lähellä ajoneuvojen reittejä.

Yksittäisen ajoneuvon etäoperoinnista vastaa koulutuksen saanut etäoperaattori. Etäoperaattorin tehtäviin kuuluu aktiivisen operoinnin lisäksi datan analysointi ja raportointi. Muita työssä määriteltyjä tehtävänimikkeitä ovat kenttäoperaattori ja etäoperoinnin vuorovastaava.

Konseptissa on otettu huomioon laaja joukko ei-toiminnallisia vaatimuksia, kuten eri säädöksistä johtuvat vaatimukset. Ei-toiminnallisten vaatimusten soveltamisesta on tehty tarvittava dokumentaatio. Lisäksi on dokumentoitu etäoperoinnin ohjeistukset ja koulutusmateriaali.

Kuvassa 7 esitetään konseptin yksinkertaistettu graafinen yleiskuvaus. Etäoperaattori on esitetty etäoperointikeskuksen tilassa, jossa olevalla tietokoneella on asennettuna tarvittavat etäoperointiohjelmistot. Tilasta on kaksi erillistä internetyhteyttä: langaton 4G/5G-yhteys ja fyysinen verkkoyhteys. Verkkoyhteyksien avulla etäoperointikeskuksesta luodaan tietoliikenneyhteys automatisoituun ajoneuvoon. Ajoneuvon verkkoyhteys on kahdennettu 4G/5G-mobiiliverkkoyhteys. Lisäksi havainnekuvan vasemmassa etukulmassa visualisoidaan dokumentaatio ja säännökset, jotka ohjaavat toimintaa.



Kuva 7. Ylätason kaavio etäoperointikeskuksen konseptista.

## 4.2 Tiedon kerääminen

Työn alun työpajoissa tunnistettiin tarve kerätä dataa ajoneuvojen operoinnista kahdella tavalla: manuaalista lokikirjaa käyttäen sekä keräämällä ajoneuvojen tuottamaa dataa automaattisesti. Datan keräys ei ole suoranaisesti ajoneuvojen etäoperointia, mutta koska datan seuraaminen ja etenkin lokikirjan manuaalinen täyttö sopii hyvin etäoperaattorin työnkuvaan, päätettiin se liittää samaan kokonaisuuteen.

### 4.2.1 Lokikirja

Tarve manuaaliselle lokikirjalle tulee pääasiassa vaatimuksesta seurata ajoneuvojen päivittäistä käyttöä sekä sitä, kuka henkilö on operoinut mitäkin ajoneuvoa tietyllä ajanhetkellä. Vaatimus on vielä tällä hetkellä sisäinen, mutta on odotettavissa, että vastaava vaatimus toiminnan seuraamisesta tulee lainsäädäntöön, joka säätelee automatisoitujen ajoneuvojen käyttöä ja etäoperointia.

Lokikirjasta oli olemassa aikaisempi versio, jonka kirjauksia analysoimalla löydettiin parannuskohteita uuteen ratkaisuun. Uuden lokikirjan tärkeimmät suunnittelun lähtökohdat olivat sen käytön helppous, yhdenmukaisten kirjausten varmistus sekä datan vaivaton analysointi. Kirja päätettiin toteuttaa Google Sheets -alustalle, jotta se on helposti saatavilla Googlen pilvipalveluiden kautta.

Kuvassa 8 esitetään ote lokikirjasta. Lokikirjan vasemmassa reunassa sijaitsevilla sarakkeiden soluissa on aikaleima, joka kirjautuu automaattisesti, kun sen viereiseen soluun valitaan sisältöä. Lokikirjaan merkitään tiedot kirjauksen tyyppistä, ajoneuvon ja reitin yhdistelmästä sekä kirjauksen tekijästä (piilotettu kuvasta henkilötietojen suojelemiseksi). Lisäksi siinä on osiot vapaamuotoisille selityksille tilanteesta, niiden jälkeen tehdyistä toimenpiteistä sekä solu tunnisteelle, joka helpottaa toisiinsa liittyvien tapahtumien löytämistä listasta.

Timestamp (auto)	Type	Site - vehicle	Description	Actions	TAG
3/4/2024 7:20:30	Mode change to manual	Kempower - EasyMile EZ10 1	Auto parkkeerattu väärin,	kuva otettu ja lisään kansioon Immolle	Obstacle on the route
3/4/2024 7:31:17	Mode change to manual	Kempower - EasyMile EZ10 1	lumivallin esteenä	kuva otettu ja lisään kansioon Immolle	Snow
3/4/2024 8:20:15	Mode change to manual	Kempower - EasyMile EZ10 1	Auto parkkeerattu väärin,	sama paikka kun ensimmäisellä kierroksella	Obstacle on the route
3/4/2024 12:04:01	Mode change to manual	Kempower - EasyMile EZ10 1	trukki ei päässyt turvallisesti station3:lla ajoneuvon luo, (eli ajoneuvo kyllä pärjäsi täysin autonomisesti)	manuaalilla siirryin sulaan kohtaan	Snow
3/5/2024 11:56:05	Mode change to manual	Lintuhytti - Säde	vettä ja jäätä risteyksessä, ei mennyt kuin manuaalilla		Snow

Kuva 8. Opinnäytetyön yhteydessä kehitetty lokikirja. Kuvasta on piilotettu operaattorin ja raportojan sisältävät sarakkeet henkilötietojen suojelemiseksi.

Lokikirjaa varten luotiin erilaisia suodatinnäkymiä Google Sheets -työkalujen avulla. Näitä näkymiä voi käyttää datan suodattamiseen ja etsimiseen, ilman että itse lokikirjan perusnäkyä tarvitsee muokata. Tämä mahdollistaa uusien merkintöjen lisäämisen tiedostoon häiriöttä samanaikaisesti, kun toinen käyttäjä analysoi dataa. Lisäksi laadittiin kirjalliset ohjeet lokikirjan käyttöä varten, jotta pystyttiin varmistumaan sen oikeasta ja yhdenmukaisesta käytöstä.

#### 4.2.2 Automaattinen datankeräys

Datan automaattinen keräys nähtiin myös tärkeänä operointia tukevana toimintona. Automatisoitujen ajoneuvojen ADS-järjestelmät sisältävät suurten määrän erityyppisiä antureita, jotka keräävät jatkuvasti dataa ympäristöstä. Antureiden tiedot käsitellään järjestelmän sisäisessä tietokoneessa tuottaen monipuolista valmiiksi käsiteltyä dataa, kuten ajoneuvon nopeus, kiihtyvyys, tarkka sijainti ja suunta. Lisäksi ajoneuvon diagnostiikkajärjestelmä tuottaa viestejä eri vioista ja varoituksista.

Varsinkin vielä tässä vaiheessa, kun automaatiojärjestelmien kehitys on kesken, on olennaista kerätä syvällistä tietoa teknologian toiminnasta. Tämän saavuttamiseen keskeisenä työkaluna toimii ajoneuvon datan systemaattinen kerääminen. Esimerkiksi hätäjarrutusten määrän tarkastelu tietyn ajanjakson aikana mahdollistaa ajoneuvon turvallisuuden ja matkustusmukavuuden arvioinnin. Erilaisten datatyypien yhdistäminen mahdollistaa ilmiöiden tarkemman tarkastelun, kuten hätäjarrutusten ja ajoneuvon sijainnin samanaikaisen analyysin lämpökartan avulla, jolloin voidaan havaita niiden yleisyys tietyn reitin osuuksilla.

Tutkimuksessa arvioitiin erilaisia ratkaisuja datan keräämiseen. Vaihtoehtoisiksi ratkaisuiksi tunnistettiin kahden eri toimittajan valmiit järjestelmät, jatkossa järjestelmä 1 ja järjestelmä 2, jotka on kehitetty erityisesti automatisoitujen ajoneuvojen datan keräämiseen. Kolmas tunnistettu vaihtoehto oli oman järjestelmän kehitys. Viimeksi mainitun vaihtoehdon arvioinnissa havaittiin, ettei yrityksellä ollut sillä hetkellä tarvittavia resursseja tai osaamista uuden järjestelmän kehittämiseen tyhjästä. Sen sijaan päätettiin kokeilla jo olemassa olevia järjestelmiä ja kerätä niistä käyttäjäkokemusta, mikä tarjoaisi paremmat lähtökohdat mahdolliselle oman järjestelmän kehittämiseksi tulevaisuudessa.

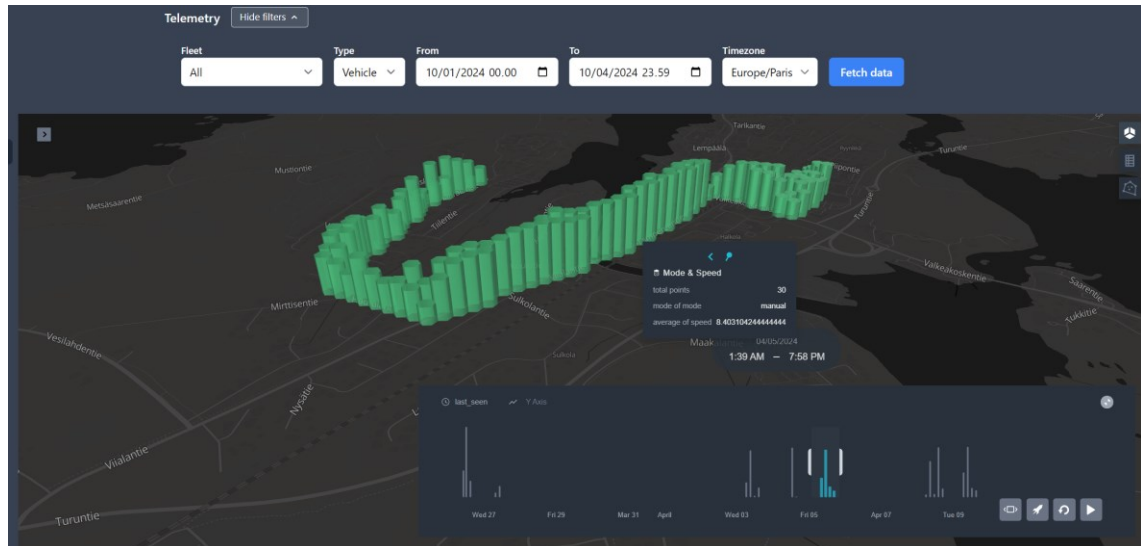
Lopulta päädyttiin kokeilemaan molempia vaihtoehtoisia järjestelmiä rajatun ajan verran, minkä jälkeen tehtäisi päätös järjestelmien väliltä. Järjestelmää 1 päätettiin kokeilla yhden ajoneuvon kanssa, kun taas järjestelmään 2 päätettiin

yhdistää kaksi ajoneuvoa, kumpikin eri valmistajalta. Päätös ajoneuvojen jakamisesta järjestelmien välillä tehtiin suurimmaksi osaksi taloudellisista syistä. Järjestelmä 1 saatiin käyttöön käynnissä olevan projektin yhteydessä ilman erillistä korvausta, mutta muiden ajoneuvojen liittäminen tähän järjestelmään määräaikaisen kokeilun ajaksi osoittautui kalliiksi. Järjestelmän 2 toimittajan kanssa päästiin neuvottelujen jälkeen tyydyttävään tulokseen 10 kuukauden määräaikaisen sopimuksen suhteen. Tähän järjestelmään liitettyjen ajoneuvojen valmistajat eivät myöskään perineet erillistä maksua rajapinnan tarjoamisesta datankeruuseen, joten kokonaiskustannus pysyi kohtuullisena.

Alkuperäisenä tavoitteena oli myös kerätä dataa neljännessä ajoneuvosta, joka oli tarkoitus liittää järjestelmään 2. Neuvottelut kyseisen ajoneuvon toimittajan kanssa eivät kuitenkaan johtaneet sopimukseen, joka olisi mahdollistanut rajapinnan avaamisen kohtuullisenhintaista lisenssimaksua vastaan.

Kuvassa 9 on esitetty havainnekuva työkalun 1 telemetriatoiminnallisuudesta. Kuvassa vihreät pylväät esittävät ajoneuvon paikka reitillä. Pylväiden korkeus kuvastaa ajoneuvon keskinopeutta reitin kohdalla tarkastellun aikaikkunan sisällä. Kuvan keskellä olevassa harmaassa laatikossa on statistiikkaa tietyistä kohtaa reittiä. Tämä laatikko saadaan näkyviin valitsemalla hiirellä yksi vihreistä pylväistä.

Nopeuden visualisoinnin lisäksi työkalulla voidaan visualisoida myös muita muuttujia reitin varrella, kuten kiihtyvyyksiä, virheilmoituksia ja siirtymisiä ajotilojen välillä.



Kuva 9. Työkalusta 1 otettu ruutukaappaus.

### 4.3 Etäoperoinnin tasot

Etäoperoinnin käytännön työtä tutkittiin luvussa 3.4 esitellyn operaattori-sekvenssikaavion avulla. Tämän työkalun käytön tarkoituksena oli mallintaa, mitä etäoperoinnin tasoja ja tehtäviä etäoperaattorin pitäisi kyetä tekemään, jotta ajoneuvon toiminta voisi jatkua operoinnin erityistilanteiden sattuessa.

Kuten luvussa 3.4 mainittiin, analysoitiin eri operoinnin erityistilanteita kahdella tavalla: seuraamalla jo liikenteessä olevien ajoneuvojen operointia lokikirjasta, sekä arvioimalla muita tilanteita, joita liikenteessä saattaisi tulla vastaan

Tämän työn perusteella päädyttiin tekemään operaattori-sekvenssikaaviot kahdeksasta eri erityistilanteesta

- tiellä oleva este
- varattu bussipysäkki
- mekaaninen vika ajoneuvossa
- ohjelmistovika ADS-järjestelmässä
- törmäys toisen ajoneuvon kanssa
- ADS-järjestelmän toimintakyvyttömyys sääolosuhteen vuoksi

- tunnistamaton hätäjarrutus
- sairaskohtaus ajoneuvon sisällä.

Opinnäytetyön tekijä teki kaavioista ensimmäiset versiot. Niitä tarkasteltiin yrityksen kokoneiden turvaoperaattoreiden kanssa, joiden kommenttien perusteella tehtiin korjauksia.

Kaavioita analysoidessa voitiin helposti todeta, että yleisin käytettävä etäoperoinnin taso on etävalvonta. Tämä johtuu yksinkertaisesti siitä, että ajoneuvon operaattori saa käytännössä aina tiedon erityistilanteesta etävalvontaa tehdessä.

Etäavustuksen todettiin oleva tärkeä työkalu etäoperaattorilla tilanteissa, joihin liittyy ajoneuvossa tai sen ympärillä olevia henkilöitä. Useimmissa erityistilanteissa käytettiin etäavustusta, kun tiedotettiin tilanteista matkustajille. Hätätapauksissa, kuten sairastapausta käsittelevässä kaaviossa, laskettiin myös pelastusviranomaisten kanssa kommunikointi etäavustukseksi.

Tasojen etähallinta ja etäajaminen välinen jakautuminen todettiin olevan jokseenkin ajoneuvo- ja tekniikkariippuvaista. Esimerkiksi kaaviossa, jossa mallinnettiin estettä ajoneuvon reitillä, pystyttäisiin käyttämään tekniikan kyvykkyyksien mukaan sekä etähallintaa että etäajamista. Joissakin ADS-järjestelmissä on toiminnallisuus, jonka avulla järjestelmä pystyy ehdottamaan etäoperaattorille kiertoreitin esteen ympäri. Operaattorin hyväksyessä vaihtoehtoisen reitin hoitaa ADS-järjestelmä esteen ohittamisen pitäen samalla kaikki turvajärjestelmät päällä. Tämäntyyppinen toiminnallisuus lasketaan etähallinnaksi.

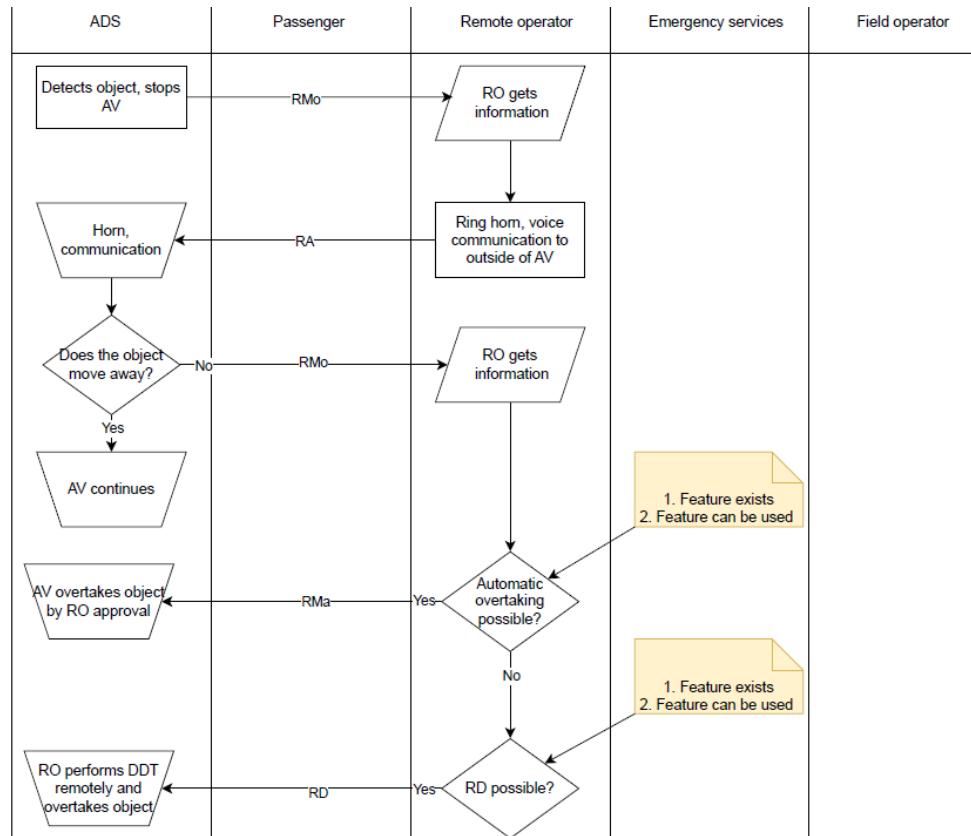
Toisessa järjestelmässä tätä toimintoa ei välttämättä ole saatavilla, mutta ajoneuvoa on mahdollista ohjata reaaliajassa etänä.

Turvallisuuden kannalta on aina pyrittävä käyttämään mahdollisimman alhaista etäoperoinnin tasoa. Mitä enemmän ajoneuvon hallintaan vaikutetaan etänä,



sen suurempi onnettomuusriski on olemassa. Etäoperointi on aina riippuvainen tietoliikenneyhteydestä ajoneuvon ja etäoperointikeskuksen välillä. Kun käytetään etävalvontaa tai etäavustusta, ei yhteyden katkeamisella ole kovin suurta merkitystä turvallisuuden kannalta. Kun taas ajoneuvolle annetaan lupa poiketa tien vastaantulevalle kaistalle tai etenkin kun ajoneuvoa ajetaan reaaliajassa etänä, saattaa yhteyden katkeamisella olla vakavat seuraukset.

Kuvassa 10 nähdään esimerkki siitä, miten eri etäoperoinnin tasoja voidaan käyttää erikoistilanteen ratkaisemiseksi. Tämä esimerkki mallintaa tilannetta, jossa ajoneuvon reitillä on este, jonka taakse ajoneuvo on pysähtynyt. Tässä tilanteessa etäoperaattori pyrkii ensin ratkaisemaan tilanteen alempia etäoperoinnin tasoja käyttäen. Jos tilannetta ei pysty ratkaisemaan tietyllä etäoperoinnin tasolla, siirtyy operaattori käyttämään tätä seuraavaa, korkeampaa tasoa. Huomionomaista on keltaisille muistilapuille tehdyt kommentit; etähallinnan ja etäajamisen työkalut ovat toiminnallisuuksiltaan erilaisia, ja niiden käytön mahdollisuus on tilannekohtaista.



Kuva 10. Operaattori-sekvenssikaavio esteen ohittamisesta. Kuvan lyhenne RMo tarkoittaa etävalvontaa, RA etäavustusta, RMa etähallintaa ja RD etäajamista. Koko kaavio ja kuvioden selitykset löytyvät liitteestä 1.

Tutkimus etäoperoinnin tasoista arvioitiin suhteellisen luotettavaksi. Se perustui laajaan kokemukseen automatisoitujen ajoneuvojen kyvykkyyksistä, ja sen tekoon osallistettiin ajoneuvoja runsaasti operoivia turvakuljettajia.

Tutkimustulokset tullaan vahvistamaan mahdollisuuksien mukaan konseptin validointivaiheessa. Tutkimus palvelee yrityksen omaa toimintaa, eikä sen tekemiseen liittynyt eturistiriitoja.

#### 4.4 ADS-järjestelmien etäoperointitoiminnallisuudet

Kuten luvussa 3.3 alustettiin, tutustuttiin tämän työn puitteissa usean ajoneuvotoimittajan tekniikkaan etenkin etäoperointiin keskittyen. Keskusteluja käytiin jo ajoneuvoja Remotedille toimittavien valmistajien kuten myös uusien teknologiayritysten kanssa. Pääpaino tiedonvaihdossa oli nykyisten tekniikoiden

kyvykkyydet, mutta osassa tapauksista keskusteltiin myös teknologian parantamiseen tähtäävistä suunnitelmista. Työn aikana tehtiin myös yhden ajoneuvoimittajan kanssa tukihakemus monikansalliseen projektiin, jonka puitteissa etäoperointia ja etenkin etäajamista kehitettäisiin yhdessä eteenpäin.

Taulukossa 1 on esitetty neljän eri teknologiatoimittajan etäoperointiin kehittämiä toiminnallisuuksia jaettuna etäoperointitasojen mukaan. Koska toimittajien kanssa on solmittu salassapitosopimukset ja tieto on osittain salassa pidettävää, esitetään tiedot tässä työssä anonymisoituna.

Taulukosta huomataan, että ajoneuvojen etäoperointitoiminnallisuudet vaihtelevat huomattavan paljon valmistajien välillä. Yhdelläkään toimittajalla ei ollut ominaisuuksia jokaisella tasolla.

Tämä johtuu osittain siitä, että eri valmistajien strategiat erityistilanteiden ratkomiselle ovat erilaisia. Osa teknologian kehittäjistä uskoo siihen, että ajoneuvon tulee aina olla vastuussa dynaamisesta ajosuoritteesta vaikkakin ihmisen avustamana. Toisen valmistajan strategiaan kuuluu taas etäajamisen tukeminen, jolloin monimutkaisia ajoneuvon etäavustukseen liittyviä toiminnallisuuksia ei välttämättä ole tarpeellista kehittää.

Mielenkiintoista oli myös huomata, kuinka harva toimittaja oli sisällyttänyt tuotteeseen etäavustusta tukevia toiminnallisuuksia. Nämä toiminnallisuudet ovat suhteellisen helppoja toteuttaa, ja koska ne eivät lähtökohtaisesti ole turvallisuuskriittisiä, on niiden kehitys suoraviivaisempaa.

Etäavustukseen käytettävien toiminnallisuuksien puuttuminen ei ole kuitenkaan suuri haaste operoinnille, koska arvioitiin, että tällainen järjestelmä on mahdollista jälkiasentaa ajoneuvoihin suhteellisen kustannustehokkaasti. Tämän projektin sisällä päätettiin hankkia etäavustukseen soveltuva järjestelmä, josta kerrotaan lisää seuraavassa luvussa.

Taulukko 1. Ajoneuvotoimittajien etäoperoinnin toiminnallisuudet etäoperointitaso mukaan luokiteltuna.

	Valmistaja 1	Valmistaja 2	Valmistaja 3	Valmistaja 4
<b>Etävalvonta</b>	Kamerakuvien reaaliaikainen välitys, paikka ja tilatieto	Kamerakuvien reaaliaikainen välitys, paikka ja tilatieto	Kamerakuvien reaaliaikainen välitys, paikka ja tilatieto	Ei ole
<b>Etäavustus</b>	Puheysteys matkustajien ja etävalvojan välillä	Ei ole	Ei ole	Puheysteys matkustajien ja etävalvojan välillä
<b>Etähallinta</b>	Mahdollisuus pysäyttää ajoneuvo	Mahdollisuus säätää nopeutta, pysäyttää ajoneuvo sekä antaa muita yksinkertaisia käskyjä	?	Ei toiminnallisuuksia. Tulevaisuuden visiona kehittää yksinkertaisia komentoja ajoneuvon hallintaan
<b>Etäajaminen</b>	Ei ole	Mahdollisuus hankkia lisämoduulina	Ei ole tällä hetkellä, ratkaisu tuotekehitysvaiheessa	Ei toiminnallisuuksia

Vertailemalla tässä luvussa esitettyjä ajoneuvojen toiminnallisuuksia ja edellisessä luvussa kuvattuja etäohjauksen todellisia tarpeita, on havaittavissa, että nykyiset automatisoitujen ajoneuvojen etäoperoinnin toiminnallisuudet eivät täysin vastaa operoinnin tarpeita. Puutteita voidaan kompensoida joko

hankkimalla lisäksi kolmannen osapuolen järjestelmiä, yksinkertaistamalla käyttöympäristöä tai mahdollistamalla kenttäoperaattorin suorittaman ajoneuvon paikan päällä tapahtuvan avustamisen.

#### 4.5 Etäoperoinnin työkalut

Tätä työtä tehtäessä ei ollut olemassa yhteistä standardia, joka määrittelisi kommunikaation ja toiminnallisuudet ajoneuvojen ADS-järjestelmien ja etäoperointijärjestelmien välillä. Lisäksi, kuten edellisessä kappaleessa mainittiin, mahdollisuudet etänä suoritettaviin toiminnallisuuksiin vaihtelevat merkittävästi valmistajien välillä. Tämän vuoksi järjestelmiä, joilla voisi etäoperoida usean eri valmistajien ajoneuvoja, ei ollut olemassa.

Valtaosalla ADS-järjestelmien toimittajista on kuitenkin olemassa omat järjestelmät myös ajoneuvojen etäoperointiin. Ominaisuudet näiden eri järjestelmien välillä poikkeavat huomattavasti toisistaan. Etäoperoinnin tasoilla tarkastellessa, suurimmassa osassa järjestelmiä oli etävalvontaan ja etähallintaan liittyviä ominaisuuksia. Näillä toiminnallisuuksilla pystytään valvomaan ajoneuvojen toimintaa reitillä kameroiden ja ajoneuvon paikannuksen avulla sekä antamaan ajoneuville yksinkertaisia käskyjä, kuten seuraava pysäkki ja käsky pysähtyä.

Koska etäavustuksen ominaisuuksia ei löytynyt ajoneuvotoimittajien omista järjestelmistä, tutkittiin kolmannen osapuolen järjestelmien asennusta ajoneuvoihin. Tähän tarkoitukseen soveltuva järjestelmä löydettiin erään yrityksen valikoimasta ja se päätettiin asentaa koekäyttöön yhteen ajoneuvoon. Tässä järjestelmässä yhdistyy ajoneuvon sisätilojen videovalvonta, automaattinen matkustajalaskenta sekä hätäpalvelu, jonka avulla ajoneuvon matkustaja saa tarvittaessa yhteyden etävalvojaan. Tämä järjestelmä soveltuu kaikentyyppisille ajoneuvoille, ja sen asennus olisi mahdollista kaikkiin yrityksen käytössä oleviin automatisoituihin ajoneuvoihin. Yhtenäisen järjestelmän käyttö koko ajoneuvolaivueessa mahdollistaisi etäoperointikeskuksen, prosessien

sekä etäoperaattorin työn yksinkertaistamista. Tällöin operaattorin ei tarvitsisi jatkuvasti siirtyä eri valmistajien omien järjestelmien välillä.

#### 4.6 Tilat

Etäoperointikeskuksen tilojen suunnittelu oli keskeinen osa projektia. Tilojen tärkeimmiksi suunnittelukriteereiksi tunnistettiin konseptin monistettavuus, skaalautuvuus operaattoreiden määrän kasvaessa, kulunvalvonta, etäoperaattoreiden häiriötön työskentely sekä työergonomia.

Näiden suunnittelukriteereiden perusteella harkittiin kahta vaihtoehtoa: tilojen suunnittelua perinteiseen toimistoympäristöön tai niiden integroimista kaupallisesti saatavilla oleviin toimisto- tai neuvotteluhuonemuoduihin.

Toimistomoduuli nähtiin erityisen hyvänä vaihtoehtona monistettavuuden kannalta. Moduuli voidaan suunnitella valmiiksi hyvinkin yksityiskohtaisesti, jolloin uutta etävalvomoa perustaessa voidaan suoraan tilata tarvittavat tarvikkeet ja lähettää ne paikkaan, johon etävalvomo pystytetään. Valvomon rakentamiseen voidaan myös tehdä tarkat ohjeet, jolloin uuden yksikön pystyttäminen on nopeaa. Operaattoreiden määrän skaalautuvuus on kuitenkin haastavaa toimistomoduulissa rajoitetun tilan vuoksi. Toisaalta rajoitettu määrä henkilöitä samassa tilassa voi vähentää häiriöitä ja parantaa operaattorien työskentelyolosuhteita.

Kulunvalvonnan järjestäminen toimistomoduuliin on sujuvaa, ja moduulien toimittaja tarjoaa tätä myös vaihtoehtona moduuleita tilatessa.

Moduuleja on saatavana erikokoisina. Tässä hankkeessa keskityttiin tarkastelemaan valitun toimittajan kahta suurinta mallia. Näistä kahdesta vaihtoehdosta valittiin suurempi malli, koska arvioitiin sen soveltuvan paremmin 2–3 työntekijälle, kun taas pienempään malliin mahtuisi yksi työpiste vähemmän.

Moduulitoimittajalla oli laaja valikoima räätälöintivaihtoehtoja, ja sen verkkopohjaisella työkalulla oli mahdollista valita erilaisia yksityiskohtia. Moduuleja voidaan toimittaa erilaisin sisustuksin, värein ja lisävarustein. Tähän käyttötarkoitukseen arvioitiin parhaaksi valita sisustamaton moduuli, joka voidaan kalustaa halutuilla työpisteillä itse. Mahdollisuudet hyvään ergonomiaan toimistomodulin sisällä arvioitiin hyväksi. Toimistomodulit ovat hyvin äänieristettyjä, niissä on oma tehokas ilmanvaihto, ja niiden valaistus on tavanomaista toimistoa parempi. Kuvassa 11 näkyy havainnekuva toimistomodulista, jota käytetään kokoustilana.



Kuva 11. Havainnekuva toimistomodulista (20).

Toinen vaihtoehto tilojen rakentamiselle oli perinteinen toimistoympäristö. Tämän vaihtoehdon monistettavuuden ei arvioitu olevan yhtä hyvä toimistomoduliin verrattuna. Tämä johtuu siitä, että erilaiset toimistotilat voivat vaihdella mitoitukseltaan ja muodoiltaan, mikä voi tehdä yhdenmukaisen konseptin soveltamisen haasteelliseksi. Operaattoreiden määrän kasvattaminen saman keskuksen sisällä on perinteisessä toimistossa helpompaa, sillä tilaa on yleensä enemmän käytettävissä. Etäoperointia ei kuitenkaan haluttu toteutettavan avotoimiston tyyppisessä ympäristössä, koska se altistaa työntekijät monille häiriötekijöille. Toimistoympäristö nähdään myös yleisesti ottaen vähemmän rauhallisena kuin toimistomoduli.

Vaikka työergonomiset asiat vaihtelevatkin toimistojen välillä, ne ovat yleensä helposti muutettavissa esimerkiksi valaistuksen säätämisen avulla, eikä niillä todettu olevan suurta vaikutusta valintaan.

Kahdesta esitetystä vaihtoehdosta päätettiin lopulta valita toimistomoduli. Päätöksen painavin peruste oli moduulin helppo monistettavuus. Suunnittelemalla etäoperointikeskus modulaariseksi toimistomoduliksi, joka on helposti toistettavissa, voidaan tarjota tätä konseptia etäoperoinnin ratkaisuna helposti maailmanlaajuisesti.

Moduulirakenteen merkittävimpänä haasteena nähtiin sen rajallinen sisätila. Yhdessä moduulissa voi työskennellä enintään kolme henkilöä samanaikaisesti, joten mikäli tarvitaan enemmän operaattoreita työskentelemään samassa toimipisteessä, moduulien määrää on kasvatettava. Lisäksi samassa toimipisteessä työskentelevien operaattoreiden välinen kommunikaatio voi olla haastavaa, kun he työskentelevät omilla äänieristetyillä alueillaan.

Työn aikana hankittiin yksi toimistomoduli, jota tullaan käyttämään etäoperointikeskuksen kehityksen prototyyppinä. Moduuli sijoitettiin yrityksen varikolle, jossa osaa yrityksen automatisoiduista ajoneuvoista säilytetään päivittäisen operoinnin ulkopuolella.



#### 4.7 Etäoperointikeskuksen maantieteellinen sijainti

Etäoperointikeskuksen sijaintia suunniteltiin useasta näkökulmasta, mukaan lukien lainsäädäntö, päivittäinen operatiivinen toiminta ja toimintavarmuus erikoistilanteissa. Sijainnilla tarkoitetaan tässä yhteydessä suhteellista sijaintia etäoperoitavien ajoneuvojen suhteen, jotta samaa määrittelyä voidaan käyttää eri puolilla maailmaa oleville keskuksille.

Liikenne- ja viestintäministeriön tieliikenteen automaation säätelyn valmistelusta käy ilmi, että etäoperointi tulisi suorittaa erillisestä etäoperointikeskuksesta, joka sijaitisi Suomessa. Asianmukaisten tietoliikenneyhteyksien lisäksi tämä mahdollistaisi kulunvalvonnan, fyysisen turvallisuuden sekä etäoperaattoreiden sisäisen valvonnan. Lisäksi viranomaisilla olisi mahdollisuus tarkastaa toiminta oikeuksiensa puitteissa. (1, s. 64.)

Päivittäisen operatiivisen toiminnan kannalta nähtiin, että kehityksen alkuvaiheessa keskuksen olisi lähtökohtaisesti hyvä sijaita lähellä ajoneuvojen reittejä. Tämä siitä syystä, että tällöin sama henkilökunta, joka valvoo ja avustaa ajoneuvoja, voi myös lähettää ne reitille. Poikkeuksen tähän tekevät reitit, joissa on ainoastaan yksittäisiä ajoneuvoja. Tällöin saattaa olla tehokkaampaa valvoa ajoneuvoja keskitetysti pidemmän matkan päästä ja käyttää ajoneuvojen lähettämiseen reiteille esimerkiksi ulkoista toimijaa.

#### 4.8 Operoinnin lait ja vastuut

Työn oleellisena osana oli määritellä operoinnin vastuut konseptin käyttöä varten. Vastuulla tarkoitetaan tässä yhteydessä vastuuta tieliikenneturvallisuuden varmistamisesta, muita lainsäädännöstä tulevia vaatimuksia sekä yrityksen omia ohjeistuksia vastuiden selventämiseksi.

#### 4.8.1 Suomen lainsäädännön nykytila

Suomen nykyinen lainsäädäntö ei suoraan ota kantaa automatisoitujen ajoneuvojen vastuukysymyksiin. Tästä syystä niihin on sovellettava perinteisiä ajoneuvoja koskevaa lainsäädäntöä soveltuvilta osin. Tieliikennettä ja ajoneuvojen teknisiä seikkoja säätelee Suomessa tieliikennelaki ja ajoneuvolaki. Lisäksi tieliikenteessä suoritettavaa kaupallista toimintaa säätelee laki liikenteen palveluista.

Tieliikennelaki määrittelee tienkäyttäjän henkilöksi, joka kuljettaa ajoneuvoa tiellä. Lain mukaan tienkäyttäjä on vastuussa ajoneuvosta, ja hänen tulee esimerkiksi kyetä pysäyttämään ajoneuvo edessä olevan tien näkyvällä osuudella. Tienkäyttäjän on myös kyettävä hallitsemaan ajoneuvo kaikissa eri tilanteissa, mukaan lukien eri sääolosuhteet, tien kunto ja näkyvyys (21, 5 §). Tämä olosuhteiden määritelmä on lähellä ODD:n määritelmää standardissa PAS 1883, joten voidaan todeta, että tienkäyttäjä on vastuussa siitä, että automatisoitua ajoneuvoa operoidaan ainoastaan sen ODD:n rajojen sisällä.

Tieliikennelaki ei vaadi, että tienkäyttäjän tulee olla ajoneuvossa sisällä. Tämä mahdollistaa tienkäyttäjän eli ajoneuvon kuljettajan sijoittamisen etäoperointikeskukseen. (21, 2 §.)

Koska tienkäyttäjä on tieliikennelain mukaan vastuussa ajoneuvon hallinnasta, on hänellä vähintään oltava reaaliaikainen yhteys etäoperointikeskuksesta ajoneuvon. Tämän yhteyden kautta hänen on pystyttävä muodostamaan samantasoinen tilannekuva, kuin tavallisella kuljettajalla on perinteisen ajoneuvon kuskin paikalla.

Suomessa tieliikenteessä tapahtuvia automatisoitujen ajoneuvojen kokeiluja säätelee ajoneuvolaki. Koska nykyiset automaattisella ajojärjestelmällä varustetut ajoneuvot eivät täysin täytä tyyppihyväksyntävaatimuksia, niitä ei voida rekisteröidä käytettäväksi Suomen tieliikenteessä sellaisenaan. Ajoneuvolaki antaa kuitenkin mahdollisuuden yrityksille hakea

koenumerotodistusta Liikenne- ja viestintävirasto Traficomilta, joka sallii rekisteröimättömien ajoneuvojen kokeilemisen tieliikenteessä. Prosessi koenumerotodistuksen saamiseksi automaattisella ajojärjestelmällä varustettuun ajoneuvoon on selkeästi määritelty ajoneuvolaissa.

Koenumerotodistuksen haltijan on myös sitouduttava raportoimaan kokeilujen tuloksista virastolle kokeilun päätyttyä. (22, 116 §.)

#### 4.8.2 Tieliikenteen automaation tulevat säädökset

Suomen liikenne- ja viestintäministeriö aloitti vuonna 2021 hankkeen, jonka tavoitteena on valmistella tieliikenteen automaation säätelyä. Tämän hankkeen keskeisenä tarkoituksena on mahdollistaa tieliikenteen automaation kehityksen hyödyntäminen Suomessa. Aiemmin Wienin kansainvälinen tieliikennesopimus, jota Suomikin noudattaa, vaati, että jokaisessa ajoneuvossa on oltava ihmiskuljettaja. Sopimukseen lisättiin kuitenkin vuonna 2022 artikla 34, joka mahdollistaa automatisoidun ajojärjestelmän toimimisen kuljettajan roolissa. (2.)

Liikenne- ja viestintäministeriö on hankkeen puitteissa perustanut työryhmän, jonka tarkoitus on valmistella Suomeen uutta kansallista automatisoitujen ajoneuvojen käyttöä koskevaa lainsäädäntöä (2). Työn tilaajana toimiva Remoted Oy on myös tässä työryhmässä edustettuna.

Liikenne- ja viestintäministeriön vuonna 2024 julkaisemassa arviomuistiossa on esitetty tulevien asetusehdotusten suuntaviivat, kuitenkin korostaen, että lopulliset asetukset voivat voimaan tullessaan poiketa näistä vielä merkittävästi. Arviomuistiossa keskeisiä näkökohtia etäoperoinnille ovat ajoneuvojen operoinnin luvanvaraisuus, automatisoitujen ajoneuvojen erillinen hyväksyminen Suomen tieliikenteeseen sekä erinäiset vaatimukset etäoperointikeskukselle ja sen sijainnille.

LVM:n muistiossa ehdotetaan, että jokaisella automatisoidulla ajoneuvolla tulee olla joko valmiudessa oleva kuljettaja tai etäoperaattori. Etäoperaattorin tehtävänä olisi ylläpitää vähintään korkean tason tilannekuvaa, johon sisältyisi

ajoneuvon sijainnin ja tilan tiedot. Ehdotuksen mukaan etäoperaattorin olisi mahdollista valvoa useita ajoneuvoja samanaikaisesti.

LVM esittää, että lakiin lisättäisiin määräykset kahdesta uudesta toimijasta: automaattiajamisen tarjoaja ja etähallintapalvelun tarjoaja. Koska ajoneuvon automaattinen ajojärjestelmä hoitaa ajoneuvon koko dynaamisen hallinnan eikä ajoneuvon kuljettajalla ole käytännössä mahdollisuutta vaikuttaa ajoneuvon ajoon automaattisen toiminnan aikana, ei ole perusteltua pitää kuljettajaa vastuussa ajoneuvon toiminnasta liikenteessä. Ajamisen oikeudellista vastuuta ei myöskään voida asettaa ajoneuvon ohjelmistolle. Näin ollen ehdotetaan, että vastuullinen oikeudellinen henkilö olisi automaattiajamisen tarjoaja. Tällä oikeudellisella henkilöllä tulisi olla suora mahdollisuus vaikuttaa ajoneuvon käyttäytymiseen liikenteessä, joten tehtävä olisi luonnollista asettaa ajoneuvon valmistajalle tai sen ADS-järjestelmän toimittajalle. Ehdotuksessa ei kuitenkaan suoraan suljeta pois muita toimijoita tästä roolista.

Etähallintapalveluiden tarjoaja olisi vastuussa ajoneuvojen operoinnista valvomalla niitä etäoperointikeskuksesta käsin. Ajoneuvoa valvova etäoperaattori ei olisi ajoneuvon kuljettaja, mutta hänen tehtävänään olisi ylläpitää korkean tason tilannekuvaa ajoneuvon toiminnasta. Sekä automaattiajamisen tarjoajan että etähallinnan tarjoajan tehtävät olisivat vähintään ilmoitusvelvollisuuden piirissä, mutta ne voitaisiin myös säätää luvanvaraisiksi tehtäviksi.

Ehdotukseen sisältyy myös automatisoitujen ajoneuvojen erillinen hyväksyminen Suomessa. Automatisoidut ajoneuvot olisivat lähtökohtaisesti EU-tyyppihyväksytyjä, mutta tämä yksin ei riittäisi niiden käyttöön maassa. Tyyppihyväksynnän lisäksi ehdotetaan erillistä luonteeltaan teknistä hyväksyntää, jossa varmistetaan, että ajoneuvon tekniset ominaisuudet vastaavat automatisoitujen ajoneuvojen kansallisia sääntelyvaatimuksia. Hyväksymisestä ja ajoneuvojen rekisteröinnistä olisi vastuussa automaattiajamisen tarjoaja, joka samalla vakuuttaisi olevansa vastuussa ajoneuvojen liikenteessä tapahtuvasta käytöstä. (1.)

### 4.8.3 Tieliikenteen automaation säätely muissa Euroopan maissa

#### Yhdistyneet kansakunnat

Yhdistyneissä kansakunnissa ei ole työn tekohetkellä voimassa olevaa lainsäädäntöä automatisoitujen ajoneuvojen käyttöä koskien. Uudesta lainsäädännöstä on kuitenkin annettu ehdotus maan parlamentille syksyllä 2023. Tämä lakiehdotus on kirjoitettu korkealla tasolla, ja sen lisäksi tullaan vielä antamaan ehdotuksia, jotka sisältävät yksityiskohtaisempia vaatimuksia.

Lakiehdotuksen mukaan ajoneuvot on erikseen hyväksyttävä Suomessa itsestään ajaviksi. Tämä tapahtuu dokumentaatiolla varmistamalla, että ajoneuvo täyttää teknisiltä osin automatisoidun ajoneuvon vaatimukset eikä kuljettajan tarvitse aktiivisesti valvoa ajamista. Hyväksyntä voi koskea ainoastaan yhtä ajoneuvoyksilöä, tai se voi olla tyyppihyväksyntä.

Jokaisella ajoneuvolla on oltava joko kuljettaja, joka pystyy tarvittaessa ajamaan ajoneuvoa paikan päältä, tai sitä on valvottava etänä. Valvonta pitää tehdä vähintään sillä tasolla, että tiedetään, missä ajoneuvo on.

Jokaisesta automatisoidusta ajoneuvosta on vastattava jokin nimetty, toimiluvan saanut taho. Tahot ovat merkitty rekisteriin, josta käy myös ilmi, mikä taho on vastuussa mistäkin ajoneuvosta.

Tämän tahon lisäksi lakiehdotus määrittelee erikseen tahon, joka on vastuussa ajoneuvon etäoperoinnista tilanteessa, jossa sillä ei ole paikalla olevaa, vastuullista kuljettajaa. Tämä vastannee Suomen lainsäädäntömuutosten ehdotuksessa määritettyä etäoperoinnin tarjoajaa. (23.)

## Ruotsi

Ruotsissakaan ei ole tällä hetkellä voimassa automatisoitujen ajoneuvojen käyttöä koskevia säännöksiä, jotka ottaisivat huomioon tyyppihyväksytyt ajoneuvot, joilla on automaattisia ajo-ominaisuuksia. Maassa on kuitenkin tehty laaja selvitystyö aiheesta ja lakiehdotuksia on valmistelu.

Automatisoidun ajamisen vastuukysymyksiin keskittyvän selvityksen mukaan jokaisella ajoneuvolla tulee jatkossakin olla kuljettaja. Automaation ollessa vastuussa dynaamisesta ajotehtävästä, kuljettajan tehtävänä olisi olla ”förare i beredskap” eli valmiudessa oleva kuljettaja. Valmiudessa olevan kuljettajan rooli säilyy henkilöllä siihen asti, kunnes automatisoitu ajojärjestelmä otetaan pois käytöstä tai rooli siirretään toiselle henkilölle. Valmiudessa oleva kuljettaja voisi mahdollisesti myös tehdä tehtävänsä etänä.

Valmiudessa oleva kuljettaja ei olisi vastuussa ajoneuvon käyttäytymisestä, kun automaattinen ajojärjestelmä ajaa autoa. Kuljettaja voi tehdä samalla muita asioita, kunhan hän pystyy ottamaan itselleen ajoneuvon hallinnan järjestelmän niin pyytäessä.

Selvityksen mukaan ajoneuvon valmistajan tulisi olla vastuussa ajoneuvon turvallisesta ajosta tuoteturvavastuun kautta. Jos ajoneuvossa esiintyy turvallisuuteen vaikuttavia virheitä, on ajoneuvovalmistajan tehtävä tiettyjä toimia turvallisuuden uudelleen varmistamiseksi. (24.)

Ruotsin valmistelutyöstä käy ilmi, että maassa suunnitellaan rajoitettavan EU-tyyppihyväksytyjen automatisoitujen ajoneuvojen käyttö ainoastaan erikseen sallituille alueille. Tämän esityksen on tarkoitus tulla voimaan heinäkuussa 2024. (25.)

## Ranska

Ranskan voimassa oleva lainsäädäntö sallii tyyppihyväksytyjen automatisoitujen ajoneuvojen käyttämisen maassa. Säännökset erittelevät käyttötapaukset, joissa ajoneuvolla on sisällä vastuullinen kuljettaja, ja tapaukset, jossa kaikki ajoneuvossa olevat henkilöt ovat matkustajia tai sillä kuljetetaan ainoastaan tavaraa.

Ensimmäisessä tapauksessa ajoneuvon kuljettaja ei ole vastuussa ajoneuvon toiminnasta silloin, kun automaattinen ajojärjestelmä on kytkettynä. Tämän on kuitenkin pidettävä tietyn tasoista tilannetietoisuutta ja on esimerkiksi reagoitava poliisin ja hälytysajoneuvojen toimintaan. Automatisoidun ajon aikana ajoneuvon valmistaja tai sen edustaja on vastuussa ajoneuvon toiminnasta liikenteessä.

Valmistajan on määritettävä ajoneuvon automaattiselle ajojärjestelmälle käyttöehdot, jotka vastuullinen kuljettaja hyväksyy käyttäessään järjestelmää.

Ilman vastuullista ajoneuvossa olevaa kuljettajaa olevia ajoneuvoja saa käyttää ainoastaan ennalta määritetyillä alueilla tai reiteillä, ja niihin on kohdistettava etävalvontaa. Etävalvontaa saa tehdä ainoastaan luvan saanut henkilö. Etävalvoja ei ole suoraan vastuussa ajoneuvon ajamisesta, mutta voi olla rikosoikeudellisessa vastuussa, jos hän laiminlyö tehtävänsä valvoa ajoneuvoa. Etävalvontaa järjestävä yritys on vastuussa yleisestä toiminnan järjestämisestä (1, s. 37.)

## Saksa

Saksan ensimmäinen automatisoituja ajoneuvoja koskeva lainsäädäntö tuli voimaan jo vuonna 2017, ja se koskee SAE-tason 3 ajoneuvoja. Se määrittelee toiminnalliset vaatimukset, jotka järjestelmän tulee täyttää. Säädöksen mukaan valmistajan on sitovasti vakuutettava, että ajoneuvo täyttää sen vaatimukset. Vaikka ajoneuvon kuljettaja ei tässä automaation kytkettynä ollessa tee

ajoneuvon dynaamista hallintaa, pidetään häntä tämän säännöksen mukaan silti ajoneuvon vastuullisena kuljettajana. Hän saa ajon aikana tehdä muita kuin ajamiseen liittyviä asioita, mutta hänen on oltava valmis ottamaan ajoneuvon hallinta itselleen tarpeen niin vaatiessa. Kuljettajan on myös pystyttävä tunnistamaan olosuhteet, joiden vallitessa automaatiota pystyy käyttämään. (26.)

Vuonna 2021 Saksaan tuli myös voimaan laki, joka sallii ja säätelee SAE-tason 4 automaatiotoiminnallisuuksilla varustettujen ajoneuvojen käyttöä maan teillä. Tämän mukaan ajoneuvoja saa käyttää ennalta määritetyillä alueilla myös ilman paikalla olevaa turvakuljettajaa, mutta tässä tapauksessa siihen on kohdistettava etävalvontaa.

Säädös määrittelee automaattiselle ajojärjestelmälle myös tarkat tekniset vaatimukset. Näihin sisältyy muun muassa vaatimus siitä, että ajoneuvon on kyettävä itsenäisesti noudattamaan liikennesääntöjä, sen on tarjottava toiminnallisuus, joka mahdollistaa ajoneuvon siirtymisen minimiriskitilaan, ja etäoperaattorin on kyettävä deaktivoimaan järjestelmä tarvittaessa.

Etäoperaattorista käytetään nimitystä ”Technical supervisor”. Tämän tehtäviin kuuluu ajoneuvon valvonnan lisäksi sen varmistaminen, että ajoneuvon matkustajat seuraavat liikennesääntöjä muiden kuin ajamiseen liittyvien asioiden osalta. Lähtökohtaisesti vastuu tehtävästä on rekisteriotteeseen merkityllä omistajalla, mutta hän voi halutessaan delegoida tehtävän muulle luonnolliselle henkilölle. (27.) Tehtävässä toimivalla henkilöllä tulee kuitenkin olla tekninen koulutus, jonka taso vastaa vähintään insinöörin koulutustasoa (28, 14 §).

#### 4.8.4 Ajoneuvovalmistajan vastuu lainsäädännön nykytilassa

Ajoneuvon kuljettaja on pääsääntöisesti vastuussa ajoneuvosta, kun hän ajaa sitä tieliikennelakia noudattaen ja ajoneuvovalmistajan ohjeistuksen mukaisesti. On kuitenkin tärkeää huomata, että ajoneuvon valmistajalla on myös



tuottamuksesta riippumaton tuoteturvavastuu, jonka mukaan se on vastuussa ajoneuvosta löytyvistä virheistä. Tuotevastuu on riippumaton siitä, johtuuko virhe huolimattomuudesta vai katsotaanko sen aiheutumiseen liittyvän tahallisuutta (1, s. 27).

EU:n tuotevastuusäntely on tätä työtä kirjoittaessa muutoksen alaisena. Tällä hetkellä vastuu tuotteiden virheiden osoittamisella on vahinkoa kärsineellä henkilöllä. Digitaalisten laitteiden, kuten automaattisten ajojärjestelmien, virheitä on ulkopuolisen kuitenkin vaikea osoittaa. Säännösten muutokset pyrkivät tasapainottamaan todistustaakkaa yritysten ja vahinkoa kärsineiden henkilöiden välillä. (1, s. 27.)

Muutoksissa otetaan myös entistä paremmin huomioon tuotteet, joiden valmistaja on EU:n ulkopuolelta. Näissä tapauksissa saatetaan jatkossa vaatia, että EU:n sisällä on taloudellinen toimija, jolle korvausvaatimukset voidaan esittää. (1, s. 27.) Koska automatisoitujen ajoneuvojen markkinat ovat maailmanlaajuisesti hajautetut, tulee tämä todennäköisesti koskemaan vahvasti myös tätä alaa.

Perinteisissä ajoneuvoissa suunnitteluvirheiden esiintymistä on pyritty minimoimaan säätämällä asetuksia ja standardeja, jotka koskevat ajoneuvojen järjestelmien kehitystä. Luvussa 2.4 esitellään esimerkki standardista, joka määrittelee tuotekehitysprosessin, jonka mukaan on edettävä ajoneuvojen sähköisten ja elektronisten järjestelmien kehittämisessä.

Koska automatisoitujen ajoneuvojen tekniikka on vielä hyvin uutta eikä sitä vielä ymmärretä yhtä laajasti kuin ajoneuvojen perinteisiä järjestelmiä, on riski suunnitteluvirheistä johtuville toimintavirheille tavallista suurempi. Automatisoituja ajoneuvoja ei vielä myöskään ole tyyppihyväksytty samalla tavalla kuin perinteisiä ajoneuvoja, joten valmistajat eivät aina ole tarkastuttaneet tuotekehitysprosessejaan ulkopuolisella toimijalla.

Tämän työn suosituksena on kiinnittää jatkossa erityistä huomiota automaattisten ajojärjestelmien virhetilanteista johtuvien onnettomuuksien vastuisiin tehdessä sopimuksia ajoneuvoimittajien kanssa. Näissä sopimuksissa olisi hyvä erikseen mainita turva- ja etäoperaattorin vastuut ja velvollisuudet. Operaattorin noudattaessa näitä ohjeistuksia ja tekemällä parhaansa liikenneturvallisuuden takaamiseksi olisi selkeää, että vastuu mahdollisista ajoneuvon virhetilanteista johtuvista vahingoista olisi ajoneuvon valmistajalla.

#### 4.8.5 Laki liikenteen palveluista

Laki liikenteen palveluista säätelee ammattiliikenteen palvelutarjoajien toimintaa muun muassa liikennelupien ja poikkeusoloihin varautumisen kautta.

Suomen teillä henkilöiden kuljettaminen tulonhankkimistarkoituksessa edellyttää henkilöliikennelupaa. Henkilöliikennelupa on tarpeen silloin, kun henkilöitä kuljetetaan ammattimaisesti linja-autoksi rekisteröidyillä ajoneuvoilla. (29, 3 §.) Koska osa yrityksen käytössä olevista ajoneuvoista on rekisteröity linja-autoiksi, on noudatettava liikenteen palveluja koskevaa lakia (29). Tämän lain pykälässä 18 velvoitetaan yrityksiä valmistautumaan poikkeusoloihin seuraavasti:

Henkilöliikenneluvan haltijan, jolla on liikennekäytössä enemmän kuin 15 linja-autoa, tai tavaraliikenneluvan haltijan, jolla on liikennekäytössä enemmän kuin 15 ajoneuvoa tai ajoneuvoyhdistelmää, jonka suurin sallittu kokonaismassa on yli 3 500 kiloa, on varauduttava normaaliolojen häiriötilanteisiin ja poikkeusoloihin ja huolehdittava siitä, että yrityksen toiminta jatkuu mahdollisimman häiriöttömästi myös valmiuslaissa (1552/2011) tarkoitetuissa poikkeusoloissa ja normaaliolojen häiriötilanteissa. Luvanhaltijan on arvioitava toimintansa jatkuvuutta vaarantavat riskit ja osallistuttava toimintansa edellyttämällä tavalla valmiussuunnitteluun. Luvanhaltijan on laadittava valmiussuunnitelma, jonka laadinnassa on otettava huomioon yrityksen harjoittaman henkilö- tai tavaraliikenteen erityispiirteet. (29, 18 §.)

Pykälässä mainittuja poikkeusoloja ovat esimerkiksi maahan kohdistuva aseellinen hyökkäys, erityisen vakava suuronnettomuus ja vakavuudeltaan suuronnettomuuden tasoinen laajalle levinnyt tartuntatauti (30, 3 §). Koska Remoted on nopeasti kasvava yritys ja odotettavissa on, että sillä tulee tulevaisuudessa olemaan yli 15 linja-autoa liikenteessä, päätettiin, että etäoperoinnin kehittämisessä olisi otettava huomioon palvelun mahdollisimman häiriötön jatkuvuus myös poikkeusoloissa.

Tarve suunnitelmalle toiminnan jatkamisesta poikkeusolojen aikana tunnistettiin, mutta rajattiin tämä työn ulkopuolelle. Kun suunnitelma tehdään, tulee siinä kiinnittää erityistä huomiota automatisoitujen ajoneuvojen luontaisiin heikkouksiin, kuten niiden riippuvuuteen satelliittipaikannuksesta ja mobiiliverkkoyhteyksistä.

#### 4.8.6 Sisäinen vastuunjako ajoneuvon operoinnista

Koska sekä tekniikka että lainsäädäntö olivat tämän työn teon aikaan vielä kehitysvaiheessa, oli tärkeää selventää vastuunjakoa myös sisäisellä ohjeistuksella.

Operoinnissa saattaa esimerkiksi esiintyä tilanteita, joissa ajoneuvoa valvoo samanaikaisesti sekä ajoneuvossa paikalla oleva turvakuljettaja että etäoperaattori. Kummallakin voi olla mahdollisuus olla vastuussa ajoneuvosta. Ilman selkeää ohjeistusta tilanne voisi johtaa siihen, että kumpikin henkilö luulee toisen olevan vastuussa ajoneuvosta, mikä saattaisi johtaa siihen, että kumpikaan ei välttämättä seuraisi ajoneuvon toimintaa. Tähän pätee vanha sanonta, jonka mukaan jaettu vastuu on kadotettu vastuu.

Vastuunjako päätettiin toteuttaa niin, että edellä kuvatussa tilanteessa vastuu on pääsääntöisesti aina ajoneuvon sisällä olevalla turvakuljettajalla. Vastuu voidaan kuitenkin siirtää myös ajoneuvon etäoperaattorille, mutta tästä on nimenomaisesti sovittava turvakuljettajan ja etäoperaattorin välillä. Vastuun siirrosta on myös aina tehtävä merkintä lokikirjaan.

On tärkeää huomioida, että vaikka tieliikenneturvallisuudesta on vastuussa yksi henkilö, mikä ei estä toista henkilöä reagoimasta vaaratilanteisiin. Esimerkiksi vaikka etäoperaattorilla on vastuu, turvakuljettaja voi tarvittaessa painaa hätäpysäytysnappia ajoneuvon sisällä, jos hän havaitsee välittömän tieliikenneturvallisuuutta vaarantavan tilanteen.

#### 4.9 Operatiivinen ja toiminnallinen turvallisuus

Operoinnin turvallisuuden takaaminen oli yksi tämän työn kriittisimmistä osista. Työn aikana otettiin turvallisuus huomioon kahdesta eri näkökulmasta: operatiivinen turvallisuus ja toiminnallinen turvallisuus. Kuten luvussa 2.4 kerrottiin, toiminnallinen turvallisuus tarkoittaa kohtuuttomien riskien puuttumista vaaroista, jotka johtuvat järjestelmien toimintahäiriöistä. Operatiivisesta turvallisuudesta kerrottiin luvussa 2.5, ja se tarkoittaa riskien puuttumista vaaroista silloin, kun järjestelmä ei toimii sille suunnitellulla tavalla.

##### 4.9.1 Turvallisuusriskit etäoperointitasojen näkökulmasta

Yleinen näkemys turvallisuuden vastuunjaosta on se, että tason 4 kaltaisessa automatisoidussa ajossa koko ajotehtävän vastuu on ajoneuvon automaattisella ajamisjärjestelmällä. Tämä on myös uuden LVM:n lakiuudistusta valmisselevan työn viesti sekä lähtökohta muiden maiden lainsäädännöissä (1). Täysi vastuu ajotehtävästä on automaattisella ajojärjestelmällä kaikissa muissa tapauksissa etäajamista lukuun ottamatta.

Itse ajotehtävän vastuun lisäksi ajoneuvojen operointiin liittyy kuitenkin muun tapaisia velvoitteita, kuten vastuu matkustajien turvallisuudesta muilta uhilta ja matkustajien avustaminen sairastapausten sattuessa. Tieliikennelaki velvoittaa tienkäyttäjän avustamaan onnettomuuspaikalla loukkaantuneita ja osallistumaan tarvittaviin tehtäviin (21, 7 §). Automatisoidun ajoneuvon etäoperaattori voi parhaiten täyttää tämän velvollisuuden ilmoittamalla hätäkeskukselle onnettomuudesta ja tarjoamalla viranomaisille jälkikäteen

kuvamateriaalia tilanteesta. LVM on myös huomionnut avustamisvelvollisuuden lainsäädännön muuttamisen selvitystyössä ja huomauttaa, että etäoperaattorin rooliin onnettomuustilanteissa auttamiseen on syytä ottaa kantaa uusien säädösten laatimisessa. (1, s. 45.)

Pääasiallinen turvallisuusriski etäoperoinnin kannalta arvioitiin olevan tietoliikenneyhteyksien katkeaminen keskuksen ja ajoneuvon välillä. Muita riskejä ovat sähkönsaannin katkeaminen, tietokoneiden vikaantuminen, ohjelmistojen väärin toimintaan liittyvät riskit, fyysinen uhka etäoperointikeskuksessa, kyberhyökkäys sekä tulipalo.

Muita operointiin liittyviä riskejä, jotka eivät liity suoraan etäoperointikeskukseen, identifioitiin myös. Tällaisia riskejä ovat ilkeältä ajoneuvolle (etenkin kameroiden peittäminen tekee tilannekuvan saamisen lähes mahdottomaksi), ajoneuvon reitin tahallinen tukkiminen sekä muu ilkeältä. Näitä riskejä käsitellään yleistä ajoneuvojen operointia ohjaavassa prosessissa etäoperointiprosessin sijaan, joten niihin ei oteta enempää kantaa tässä työssä.

Turvallisuusriskien realisoinnin vaikutukset etävalvonnan ja etäavustuksen aikana

Etävalvonnan ja etäavustuksen näkökulmasta eri riskien realisoinnin vaikutukset arvioitiin pieniksi. Koska nämä kaksi tasoa ovat passiivisia ajosuorituksen näkökulmasta, eivät niiden aikana realisoidut riskit vaikuta suoraan tieliikenneturvallisuuteen.

Valmisteilla oleva lainsäädäntö kuitenkin sellaisenaan toteutuessaan vaatisi, että ajoneuvoja operoivalla taholla on oltava koko ajan vähintään korkean tason tilannetiekuva jokaisesta ajoneuvosta, joten ajoneuvon valvontaa ja yhteyksiin liittyvien riskien toteutuessa on ajoneuvojen ajo liikenteessä syytä lopettaa ja ajoneuvojen on mentävä turvalliseen tilaan.

## Turvallisuusriskien realisoitumisen vaikutukset etähallinnan aikana

Etähallintaa tehdessä operaattorilla ei ole vastuuta ajoneuvon tieliikenneturvallisuudesta, mutta hänellä on edellisiin tasoihin verrattuna enemmän mahdollisuuksia vaikuttaa ajoneuvon käyttäytymiseen. Tällä tasolla operaattori tekee strategisia ja taktisia päätöksiä, ja pystyy vaikuttamaan dynaamiseen ajosuoritteeseen pysäyttämällä ajoneuvon. Etähallinnan toiminnot on kuitenkin suunniteltu siten, että ne eivät vaadi yhtä reaaliaikaisen tilannekuvan muodostamista kuin mitä itse ajamiseen vaaditaan.

Riskien realisoituminen etähallinnan aikana ei vaikuta suoranaisesti ajoneuvon tieliikenneturvallisuuteen, mutta niillä voi olla toissijaisia vaikutuksia.

Tilanteessa, jossa etäoperaattori antaa ajoneuvolle luvan ohittaa tiellä oleva este vastaantulevien kaistan puolelle, on hyvin tärkeää, että ajoneuvo kykenee suorittamaan ohituksen onnistuneesti loppuun saakka. Jos ajoneuvo jäisi pysähdyksiin vastaantulevien kaistalle, tukkisi se liikenteen tai pahimmassa tapauksessa voisi aiheuttaa onnettomuuden.

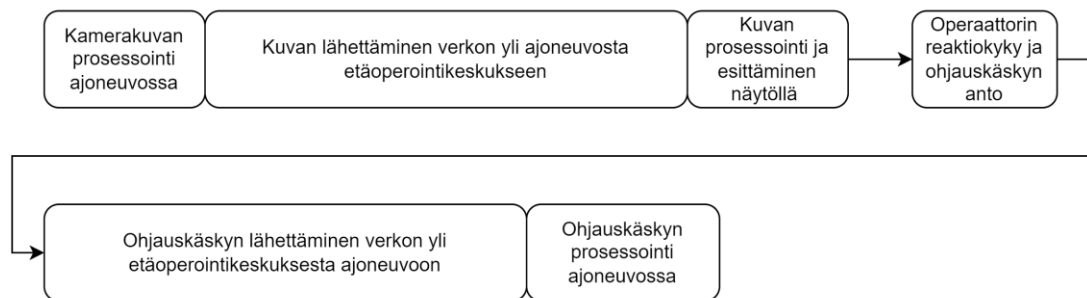
Koska operaattorilta vaaditaan aina jonkintasoisen tilannekuvan ylläpitämistä etenkin etähallintaa tehdessä on ajoneuvot tyypillisesti ohjelmoitu pysähtymään turvallisella tavalla, jos yhteys operaattoriin katkeaa. Yhteyden katkeaminen normaalissa ajossa tarkoittaisi ajoneuvon pysähtymistä turvallisesti tien sivuun, mutta ohitustilanteen aikana riskin realisoituessa ajoneuvon toivottu käytös ei ole yhtä suoraviivaisesti määritettävissä.

Koska ajoneuvojen käytös erityistilanteissa eroaa huomattavasti valmistajien välillä, päätettiin tämän tilanteen tarkempi analysointi rajata työn ulkopuolelle. On kuitenkin huomattava, että näiden riskien arviointiin on tehtävä jatkotutkimusta ennen täyttä etäoperointikokeilujen aloittamista.

## Turvallisuusriskien realisoitumisen vaikutukset etäajamisen aikana

Etäajamisen aikana etäoperaattorilla on täysi vastuu ajoneuvon dynaamisesta hallinnasta, ja sitä kautta hän on ajoneuvon vastuullinen kuljettaja. Ajoneuvon ajaminen vaatii hyvin reaaliaikaisen tilannekuvan muodostamista, jotta kuljettaja pystyy tekemään oikeita liikkeitä. Myös ajoneuvojen ohjaukskäskyjen viiveiden operaattorin hallintalaitteilta ajoneuville on oltava pieniä.

Kuvassa 12 on esitetty etäajamisen viiveiden eri komponentit. Kaavio on havainnollinen, ja kokonaisviiveen komponenttien koot antavat suuntaa viiveiden suuruuksista toisiinsa nähden. Tietokoneen tekemän prosessoinnin viiveet arvioidaan suhteellisen pieniksi, kun taas verkkoyhteyksien viiveet ovat huomattavan paljon suurempia. On myös huomattavaa, että normaalitilanteessa operaattori pystyy itse kompensoimaan viiveitä toiminnallaan, jos viive pysyy tasaisena. Yllättävien tilanteiden ja muuttuvan kokonaisviiveen kompensointi ei kuitenkaan ole mahdollista.



Kuva 12. Visualisointi etäajamisen viiveistä.

Viiveiden lisäksi toinen tietoliikenneyhteyksiin liittyvä riski on yhteyksien katkeaminen kokonaan. Tässä tapauksessa operaattori menettäisi välittömästi koko tilannekuvan ajoneuvosta sekä kyvyn ohjata ajoneuvoa.

Myös muut tunnistetut riskit voivat realisoituessaan olla vakavia etäajamista tehtäessä. Tietokoneiden toimintaan ja virran saantiin liittyvät riskien realisoituminen tekisi tehtävän suorittamisesta mahdotonta, kuten myös tulipalo tai muu fyysinen vahinko etäoperointikeskuksessa.

Fyysinen uhka ja kyberhyökkäys etäoperointikeskukseen muodostavat omanlaatuisensa riskit, jotka saattavat vaikuttaa suoraan negatiivisesti tieliikenneturvallisuuteen. Ajoneuvon etäajamisella voidaan pahimmassa tapauksessa aiheuttaa terroritekoja, kuten ajaminen ajoneuvolla väkijoukkoon. Hallinta voidaan saada joko tunkeutumalla fyysisesti etäoperointikeskuksen tiloihin tai kaappaamalla etäajamisen hallinta itselleen kyberhyökkäyksen kautta.

#### 4.9.2 Turvallisuusriskien hallinta

Riskien hallintaa tehtiin eri metodeilla, joiden avulla kokonaisriskitaso saatiin pidettyä siedettävänä. Seuraavaksi esitellään riskien hallinta yleisellä tasolla. Turvallisuus- ja luottamuksellisuussyistä kaikkia riskienhallintakeinoja ei käydä läpi yksityiskohtaisesti.

Verkkoyhteyksien luotettavuuteen liittyvien riskien hallinta päätettiin toteuttaa käyttämällä useita eri verkkoyhteyksiä sekä ajoneuvon että keskuksen päässä. Ajoneuvojen verkkoyhteyksien tekniikka on ajoneuvotoimittajien hallinnassa, joten mahdollisten muutosten tekeminen niissä pitää koordinoida ajoneuvotoimittajien kanssa.

Tyypillisesti yhteydet ovat kuitenkin jo valmiiksi vähintään kahdennettuja tai käyttävät vielä kahta useampaa eri verkkoa. Ajoneuvojen mobiiliverkkoyhteydet perustuvat kaupallisiin 4G- ja 5G -teknologioihin. Muita mahdollisia tekniikoita on lyhyen kantaman 5G, Wifi ja satelliittiverkkoyhteys, mutta näitä ei nähty tarpeelliseksi lähteä testaamaan tässä työssä.



Etäoperointikeskuksen verkkoyhteydet päätettiin toteuttaa eri tekniikoita käyttäen toimintavarmuuden varmistamiseksi. Saatavilla olevat tekniikat riippuvat etäoperointikeskuksen sijainnista, mutta mahdollisiksi vaihtoehdoiksi tunnistettiin ainakin 4G- ja 5G -mobiiliverkko, valokuitu ja perinteinen kaapeliverkko. Työssä huomioitiin myös, että tietokoneen on kyettävä käyttämään useampaa verkkoa samanaikaisesti tai sen on vähintään kyettävä vaihtamaan saumattomasti toiseen verkkoon tarpeen niin vaatiessa.

Toiminnan jatkumiselle sähköverkon vikaantuessa päätettiin varautua varustelemalla etäoperointikeskuksen kriittiset laitteet UPS-järjestelmällä, joka pitää laitteet toiminnassa sähkökatkoksen aikana. Vaadittava aika sähköjen ylläpitämiselle tullaan määrittelemään konseptin seuraavissa iteraatioissa.

Tietokoneiden ja ohjelmiston toimintaan liittyviin riskeihin varautuminen päätettiin toteuttaa pitämällä varajärjestelmiä saatavilla. Vaikka toiminta hetkellisesti loppuisikin tietokoneen vikaantuessa, se saataisiin tällöin nopeasti jatkumaan ottamalla varatietokone käyttöön.

Etäoperoinnin keskeytyessä on tärkeää informoida matkustajia tilanteesta. Tämänkaltaisessa poikkeustilanteessa operaattorilla ei välttämättä kuitenkaan ole käytössään normaaleja kommunikaatiokanavia matkustajien kanssa. Keskeytys voi johtua esimerkiksi tietoliikenneyhteyden katkeamisesta, jolloin myöskään etäavustamisessa käytettävät työkalut eivät toimi.

Jos yhteys ajoneuvon ja etäoperaattorin välillä katkeaa, ajoneuvo ei saa jatkaa matkaansa vaan sen on pysähdyttävä turvallisesti. Ajoneuvon pysähtyttyä matkustajien ei aina voida antaa poistua ajoneuvosta, erityisesti jos pysähdys tapahtuu vilkkaasti liikennöidyn tien varrella; tämä saattaisi olla vaarallista. Matkustajien ohjaaminen tässä erityistilanteessa rajattiin työn ulkopuolelle, mutta tämä vaatii lisätutkimusta ja kehitystyötä.

Fyysiseen uhkaan päätettiin varautua kahdella keinolla: ensinnäkin salaamalla etäoperointikeskuksen tarkka sijainti yleisöltä ja toiseksi varmistamalla vain

valtuutettujen henkilöiden pääsy tiloihin lukitsemalla ovet. Tulipalon sattuessa etäoperaatiotilassa perinteiset toimistorakennuksissa käytössä olevat varautumismetodit arvioitiin riittäviksi.

Työssä havaittiin myös tarve kehittää prosessit mahdollisten etäoperoinnin tai automatisoidun ajamisen riskien toteutumisten varalta. Vaikka yrityksellä onkin jo aiempi versio kriisiprosessista, sitä on tarpeen päivittää erityisesti etäoperoinnin näkökulmasta.

Kriisiprosessin tulisi kattaa ainakin ensiaputoimet, hätäpuhelun soittaminen, tilanteen yleinen hallinta sekä kriisiviestinnän runko. Lisäksi prosessissa tulee määritellä selkeästi kriisin tunnusmerkit, jotta asianosaiset voivat tunnistaa, milloin kriisiprosessiin on ryhdyttävä.

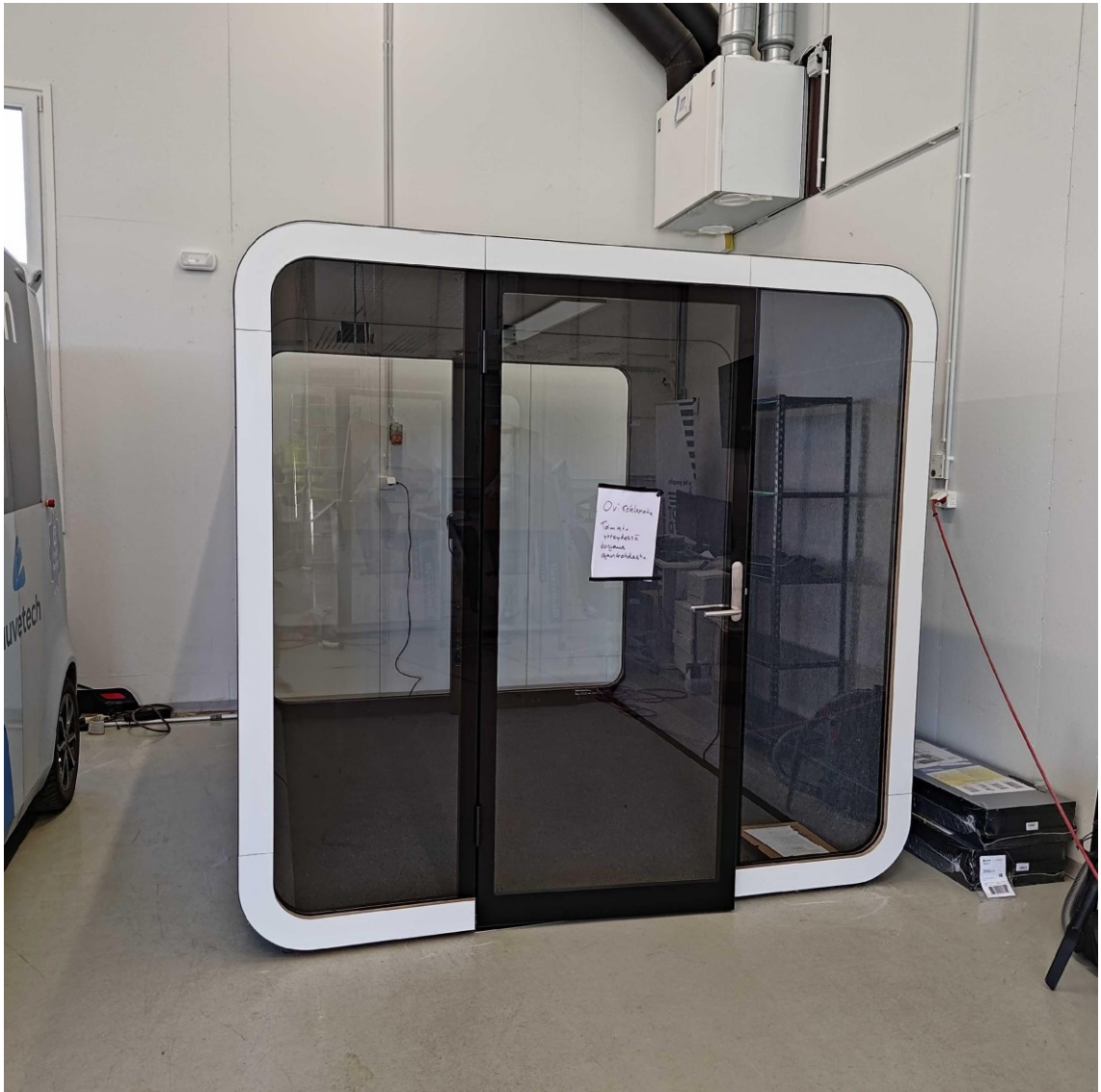
#### 4.10 Konseptin implementointi

Opinnäytetyön aikana aloitettiin konseptin fyysinen implementointi. Toimistomoduuli tilattiin ja koottiin yrityksen varikolle, jossa se kalustettiin työpisteillä. Lisäksi suunnitellut datankeräysohjelmistot hankittiin ja otettiin osittain käyttöön. Keskuksen tilan kokoaminen yrityksen varikolle näkyy kuvassa 13. Moduuleita myyvä ja valmistava yritys tekee yhteistyötä toisen yrityksen kanssa, joka kokoonpanee ne asiakkaan tiloihin.



Kuva 13. Toimistomoduuli kokoaminen yrityksen tiloihin.

Kuvassa 14 nähdään varikolle koottu mutta vielä tyhjillään oleva moduuli. Moduulin ulkonäköä tullaan vielä muokkaamaan teippaamalla se yrityksen brändin mukaiseksi. Projektin edetessä harkitaan mahdollisuutta kehittää konseptille oma brändi, jonka alla voidaan markkinoida ja myydä etäoperointia palveluna.



Kuva 14. Valmiiksi koottu mutta kalustamaton moduuli.

Opinnäytetyön aikataulun puitteissa implementointivaihetta ei saatu vietyä loppuun asti. Tästä vaiheesta jäi puuttumaan verkkoyhteyksien asentaminen, kulunvalvonta sekä kaiken toiminnan kattava ohjausten ja prosessien laatiminen.

Työ kuitenkin jatkuu, ja ensimmäisen implementoinnin on tarkoitus valmistua kesäkuuhun 2024 mennessä. Tämän jälkeen konsepti aiotaan validoida ja jatkaa sen kehitystä iteratiivisesti.

Konseptin kehitys nähdään jatkuvana prosessina eikä sille ole asetettu lopullista ajallista tavoitetta. Toteutuksen valmistuttua tarkastellaan konseptia ja sen validoinnin tuloksia kriittisesti ja suunnitellaan seuraavat tutkimuskysymykset ja kehityskohteet.

## 5 Tuleva kehitys

Työn aikana kävi ilmi, että nykyisten automatisoitujen ajoneuvojen teknologioiden kypsyys ei vastaa todellisia tarpeita ajoneuvojen operoimiseen kaupalliselta pohjalta. Tekniikan kehitys on kuitenkin nopeaa, ja nähtiin tärkeänä muodostaa myös kuva siitä, miltä etäoperointi nähdään tulevaisuudessa, kun teknisistä rajoitteista päästään yli. Tulevaisuuden vision luonti auttaa myös osaltaan yritystä kommunikoimaan ajoneuvotoimittajien suuntaan tosielämän tarpeista. Tässä luvussa tarkastellaan visiota tulevaisuuden kehityksestä.

### 5.1 Useamman ajoneuvon samanaikainen operointi

Tätä työtä kirjoittaessa nähtiin, että ajoneuvojen tekniikan ja lainsäädännön taso ei ole vielä siinä pisteessä, että yksi ajoneuvoa operoiva henkilö voisi valvoa ja avustaa useampaa ajoneuvoa samanaikaisesti. Kehittyneimmät ajoneuvot kykenevät operoimaan noin 98 % ajasta itsenäisesti, jos toimintaympäristö on suhteellisen yksinkertainen. Ajoneuvoja operoidessa on havaittu, että kuljettajan saattaa olla tarpeen puuttua ajoneuvon itsenäiseen toimintaan keskimäärin muutamien minuuttien välein.

On kuitenkin selvää, että tämä toimintamalli ei ole pitkällä aikavälillä taloudellisesti kannattava. Yksi automatisoidun liikenteen suurimmista hyödyistä on säästöt henkilöstökustannuksissa perinteisiin ajoneuvoihin verrattuna.

Automatisoidut ajoneuvot antureineen ja ohjelmistoineen ovat huomattavasti perinteisiä ajoneuvoja kalliimpia, joten jos kustannussäästöjä ei synny henkilöstön osalta, ei ajoneuvojen operointi ole kilpailukykyistä. Yleinen näkemys on, että tulevaisuudessa yksi operaattori voisi valvoa noin 5–10:tä ajoneuvoa yhtäaikaisesti. Tämän toteutuminen vaatisi sen, että ajoneuvot tarvitsisivat operaattorin apua ainoastaan harvoissa poikkeustapauksissa. Kuten luvussa 4.8 todettiin, tulee Suomen valmistelussa oleva lainsäädäntö todennäköisesti tukemaan usean ajoneuvon samanaikaista operointia.

## 5.2 ADS-järjestelmästä riippumattomat etäoperoinnin työkalut

Työn tilaajan strategiana on säilyä toimittajariippumattomana toimijana. Arvioidaan, että tulevaisuudessa voisi käytössä olla ajoneuvoja jopa 5–10 toimittajalta. Jotta yksi etäoperaattori kykenisi avustamaan peräkkäin useita eri valmistajien ajoneuvoja, olisi hyödyllistä, että käytetyt käyttöliittymät ja työkalut operoinnissa olisivat riippumattomia ajoneuvoista.

Tämä edellyttäisi, että ajoneuvovalmistajat tarjoaisivat kaikki tarvittavat toiminnot avoimen rajapinnan kautta, jotta etäoperointijärjestelmiä kehittävät yritykset voisivat hyödyntää niitä. Lisäksi on tärkeää, että käytössä olevat ajoneuvot tarjoavat pääosin samat etäoperoinnin toiminnallisuudet. Koska tämän vision toteutuminen on hyvin riippuvaista teknologian kehityksen suunnasta, on vaikea sanoa, tuleeko se toteutumaan.

## 6 Yhteenveto

### 6.1 Tiivistelmä

Tämän työn tuloksena syntyi korkean tason konsepti automatisoitujen ajoneuvojen etäoperointia varten. Konsepti kattaa muun muassa tilojen määrittelyn, niiden maantieteellisen sijainnin, tietoliikenneyhteydet ja operointiprosessit. Konseptin kehityksessä käytettiin erilaisia tutkimusmenetelmiä, kuten kirjallisuustutkimusta, työpajoja, tiedonkeruuta ajoneuvo- ja teknologiatoimittajilta sekä operaattori-sekvenssikaavioita.

Kehityksessä päätettiin käyttää neljää etäoperoinnin tasoa ja tutkia niiden merkitystä automatisoitujen ajoneuvojen operoinnissa. Nämä etäoperoinnin tasot ovat etävalvonta, etäavustus, etähallinta ja etäajaminen. Tutkimuksen päätelmänä oli, että nykyisellä automatisoitujen ajojärjestelmien kypsyiden tasolla kaikki neljä etäoperoinnin tasoa ovat välttämättömiä sujuvan operoinnin varmistamiseksi.

Ajoneuvo- ja teknologiatoimittajien kanssa käydyissä keskusteluissa saatiin ymmärrys teknologian kyvyistä ja toiminnallisuuksista etäoperoinnin näkökulmasta. Havaittiin, että nykyisten ajoneuvotoimittajien teknologian kypsyys ei täysin vastaa toiminnan todellisia tarpeita.

Etäoperointikeskuksen konseptin kehityksessä otettiin huomioon Suomen nykyinen lainsäädäntö sekä siihen tulevat muutokset liikenne- ja viestintäministeriön tieliikenteen automaation säätelyn valmistelevan työn pohjalta. Työssä osallistuttiin myös lainsäädäntömuutosten arviomuiston lausuntoprosessiin. Lisäksi otettiin huomioon muiden Euroopan maiden lainsäädäntö siltä osin, kuin se oli olemassa. Vertaillen eri maiden lainsäädäntöjä voitiin todeta, että ne ovat yltäosalla toistensa kaltaisia. Kaikkien tutkimuksessa mukana olleiden maiden lainsäädännöt ja niitä valmistelevat työt vaativat ajoneuvon valvonnan joko sen sisältä tai etäoperointikeskuksesta. Vastuiden lähtökohdat olivat myös samankaltaisia; automaation suorittaessa



dynaamista ajotehtävää, sen valmistajalla tai valmistajan edustajalla on vastuu ajoneuvon toiminnasta.

Operatiivinen ja toiminnallinen turvallisuus otettiin huomioon tekemällä riskikartoitus. Kartoituksessa tunnistettuja vaaroja, jotka johtuvat riskien toteutumisesta, analysoitiin erikseen jokaisella etäoperoinnin tasolla. Tämän jälkeen suunniteltiin tarvittavat riskienhallintatoimenpiteet, jotta toiminnan riskit saatiin hallittavalle tasolle.

Lopuksi esitettiin visioita tulevaisuuden kehitykselle sellaisissa osa-alueissa, joita ei teknologian puutteiden ja lainsäädännöllisten rajoitusten vuoksi voitu toteuttaa alkuperäisessä suunnitelmassa.

Työn tutkimusosuuksien tuloksien luotettavuutta tullaan tarkastelemaan konseptin validointivaiheessa. Työssä tehdyt tutkimukset perustuivat faktatietoihin ja laajaan alan kokemukseen, minkä vuoksi niiden tulosten arvioidaan olevan luotettavia. Työn kehitysosuuden onnistumista tullaan myös arvioimana projektin jatkovaiheissa ja siihen tullaan tarvittaessa tekemään muutoksia.

## 6.2 Tutkimuksen tulosten luotettavuus ja työn eettisyys

Työssä noudatettiin korkeita eettisiä standardeja. Tutkimustulokset julkaistiin muuttamattomina, eikä mahdollisia eturistiriitoja havaittu. Tiedonhankinta toteutettiin hyvien käytäntöjen mukaisesti, ja kaikki lähteet merkittiin asianmukaisesti. Lähteet arvioitiin luotettaviksi.

Luvussa 2.4 viitattiin kahteen verkkolähteeseen, lähteisiin 14 ja 15. Näiden lähteiden laatu arvioitiin muiden lähteiden laatua alemmaksi, sillä niiden tiedot perustuvat palveluitaan myyvien yritysten verkkosivuihin. Lähteitä käytettiin, koska työn tekijällä ei ollut käytettävissään ISO 26262 -standardia eikä sen hankintaa katsottu työn kannalta välttämättömäksi. Nähtiin kuitenkin, että luvussa oleva asia oli työn kannalta esittämisen arvoinen. Työn tekijä oli

aiemmin tutustunut kyseiseen standardiin ja arvioi lähteistä saadun tiedon oikeaksi.

Tarvittaessa työstä anonymisoitiin henkilöiden nimet. Salassapitosopimuksen alaisia tietoja ei julkaistu. Lisäksi ajoneuvovalmistajille mahdollisesti arkaluonteisia teknisiä tietoja julkaistiin siten, että tietojen alkuperää ei pystytä päättämään. Raportointi toteutettiin riittävän yksityiskohtaisesti, mutta tietoisena siitä, että työn tulos on tilaajan omaisuutta, tarkat suunnitelmat, tarkat ohjeistukset ja prosessikaaviot jätettiin pois. Työ tehtiin kokonaisuudessaan itse, eikä sen sisällön tuottamiseen käytetty tekoälyä.

### 6.3 Pohdinta ja jatkokehitys

Työn tavoitteisiin päästiin hyvin konseptin kehityksen osalta. Kaikki konseptoinnin alitavoitteet saavutettiin ja osa tavoitteista ylitettiin. Työn alkuperäiseen suunnitelmaan ei kuulunut LVM:n säädäntötyöhön osallistuminen, mutta se toi huomattavaa lisäarvoa työlle.

Konseptin suunnittelu painottui enemmän julkisen liikenteen tarpeisiin kuin muihin käyttötapauksiin. Tämä johtui siitä, että ihmisten kuljettaminen asetti konseptille selkeämpiä ja laajempia vaatimuksia kuin esimerkiksi pakettien kuljettaminen. Vaikka suunnittelu painottui tähän, konsepti ei sulje muita käyttötarkoituksia pois ja sitä voidaan tulevaisuudessa kehittää enemmän myös muiden käyttökohteiden näkökulmasta.

Työ ei myöskään ottanut suoraa kantaa henkilöstön työvuoroihin tai tehtäviin. Varsinaisen toiminnan kannalta operaattoreiden työvuorot ja päivittäinen työskentely tulevat kuitenkin olemaan avainasemassa. Näin ollen jatkokehitys, prosessien suunnitteleminen ja ohjeistuksien antaminen ovat välttämättömiä ennen täysimittaista käyttöönottoa.

Opinnäytetyön palautusaikataulun vuoksi työ ei kattanut kokonaan suunniteltuja implementointi- ja validointivaiheita. Viivästykset alkuperäiseen aikatauluun

johtuivat odotettua suuremmasta työmäärästä konseptointivaiheessa. Toisaalta konseptin suunnitteluvaiheessa tehty perusteellinen työ nähtiin tärkeämpänä kuin viiveen aiheuttama haitta toteutuksessa. Työn arvioitiin täyttävän helposti opinnäytetöiden ohjeistuksessa suositellun laajuuden myös ilman jälkimmäisiä työvaiheita, ja niiden sisällyttäminen olisi saattanut tehdä työstä jopa turhan laajan. Jälkikäteen ajateltuna työn laajuus olisi jo alkujaan tullut rajata ainoastaan konseptin suunnitteluun ja panostaa siinä laadukkaaseen työhön.

Työn tutkimusosuuden aikana tekijän käsitys automatisoitujen ajoneuvojen teknisistä kyvykkyyksistä kirkastui entisestään. Automatisoitujen ajoneuvojen tekniikka on kehittynyt huomattavasti viimeisten vuosien aikana toiminnallisten kyvykkyyksien osalta, ja ajoneuvojen operointi liikenteessä on aiempaa sujuvampaa.

Kuitenkin vertaillen tyyppihyväksyntäsäännösten, automatisoitujen ajoneuvojen käytön lainsäädännön ja standardien asettamaa vähimmäistasoa ajoneuvojen todelliseen tekniseen tasoon etenkin toiminnallisen ja operatiivisen turvallisuuden osalta, huomattiin, että ajoneuvojen laaja käyttöönotto vaatii vielä huomattavaa tekniikan kehittymistä. Automatisoitujen ajoneuvojen kehitys on myös selvästi keskittynyt itse ajamiseen, eikä niiden etäoperointiin ole panostettu riittävästi.

Työn tekijälle on jäänyt epäselväksi, miten Yhdysvalloissa on ollut mahdollista toteuttaa niinkin laajoja kokeiluja ilman ajoneuvoissa olevia turvaoperaattoreita, kun eurooppalaiset säännökset tekisivät tämänkaltaiset kokeilut nykyteknologialla hyvinkin haastaviksi. Onko Yhdysvalloissa käytettävä teknologia merkittävästi eurooppalaisten valmistajien teknologiaa edellä, vai ovatko yhdysvaltalaiset turvallisuusvaatimukset vastaavia eurooppalaisia vaatimuksia matalammat? Voiko laajempaan käyttöönottoon olla vielä muita syitä?

Työn aikana identifioitiin itse konseptin jatkokehityksen lisäksi useita aiheita jatkotutkimukselle. Työssä tutkittiin Euroopan maiden lainsäädäntöjä sekä

eurooppalaisia tieliikennettä ohjaavia sopimuksia. Tutkimuksellisesti mielenkiintoista olisi tehdä kirjallisuuskatsaus, joissa olisi näiden säädösten lisäksi mukana myös Yhdysvaltojen, Aasian sekä mahdollisesti muiden kehittyneiden alueiden tieliikenteen automaatiota koskevia säädöksiä. Tämän ja laajemman teknologiatutkimuksen avulla voitaisi yrittää ymmärtää, miten lainsäädäntö vaikuttaa teknologian kehitykseen ja käyttöönottoon. Lisäksi tarkastelemalla automatisoitujen ajoneuvojen onnettomuustilastoja, mikäli niitä on saatavilla, voitaisi päätellä, miten lainsäädäntö ja teknologian vaikuttavat turvallisuuteen.

Työssä kehitetty etäoperoinnin konsepti itsessään mahdollistaa mainiosti jatkotutkimuksen. Se sisältää työkaluja sekä ajoneuvodatan keräämiseen että manuaaliseen tiedonkeruuseen lokikirjan avulla. Etäoperoinnin jatkotutkimuksen aiheita ovat etäoperoinnin turvallisuuden tutkiminen empiirisin menetelmin, usean ajoneuvon samanaikaisen etäoperoinnin tutkiminen käytännön kokeiluissa sekä etäoperaattorin rasitukseen, keskittymiseen ja työhyvinvointiin liittyvät asiat.

On tärkeää jatkaa etäoperointikonseptin kehittämistä uuden lainsäädännön mukaiseksi sekä uusien teknologiatoimittajien etsimistä. Konseptia jatkokehitetään tämän työn pohjalta, ja tavoitteena on saada se täysimittaisesti toimintakykyiseksi uusien tieliikenteen automaatiota säätelevien lakien astuessa voimaan syksyllä 2025. Samoin tavoitteena on siihen mennessä löytää ajoneuvoja, joiden tekninen kyvykkyys riittäisi automatisoitujen ajoneuvojen EU-tyyppihyväksyntään, ja päästä täten testaamaan uuden lainsäädännön mukaista automatisoitua, etäoperointikeskuksesta valvottua liikennettä ensimmäisenä Suomessa.

Ottaen huomioon yllä mainitut näkökohdat sekä työn yleinen laatu, työn laatija on hyvin tyytyväinen lopputulokseen ja arvioi sen onnistuneen erinomaisesti.

## 6.4 Tulosten disseminaatio

Työn aikana sen tuloksia jaettiin pitämällä vierailijaluento Tampereen yliopiston kurssilla nimeltä Designing Automated Transport Systems. Luennolla käytiin laajasti läpi tässä työssä esitettyjä aiheita.

Työssä suunniteltuun konseptiin perustuva prototyyppi on tarkoitus kuljettaa kesäkuussa 2024 Tampereelle järjestettäville Imagine-messuille. Messuilla Remoted esittelee automatisoitujen ajoneuvojen etävalvontaa yhteistyössä VTT:n ja Business Tampereen kanssa.

Lisäksi konseptia esitellään MetaCCAZE-projektin konferensseissa sekä EU Horizon -rahoitteisen SHOW-projektin (Shared automation Operating models for Worldwide adoption) (29) loppuseminaarin yhteydessä. Työstä tullaan myös julkaisemaan englanninkielinen artikkeli.

## Lähteet

- 1 Miettinen, Kirsi; Riihilä, Atte & Suomento, Juuso. Tieliikenteen automaation edellyttämät lainsäädäntömuutokset Suomessa. Arviomuistio 28.2.2024. Liikenne- ja viestintäministeriö. Verkkoaineisto. <<https://www.lausuntopalvelu.fi/FI/Proposal/DownloadProposalAttachment?proposalId=f34c4626-af7b-4b67-b9e7-c4c1430b27ad&attachmentId=22061>>. Luettu 23.3.2024.
- 2 Tieliikenteen automaation sääntelyhanke. 2024. Verkkoaineisto. Valtioneuvosto. <<https://valtioneuvosto.fi/hanke?tunnus=LVM032:00/2021#:~:text=Ministeri%C3%B6t%20toteuttavat%20hallitusohjelmaa%2C%20valmistelevat%20lakeja,erilaisissa%20hankkeissa%2C%20ty%C3%B6ryhmiss%C3%A4%20ja%20toimielimiss%C3%A4.&text=Valmistellaan%20tieliikennett%C3%A4%20koskevaa%20yleissopimuksen%20muutosten%20hyv%C3%A4ksymist%C3%A4%20sek%C3%A4%20kansallista%20s%C3%A4%C3%A4tely%C3%A4.>>>. Luettu 20.3.2024.
- 3 Tirachini, Alejandro & Antoniou, Constantinos. 2019. The economics of automated public transport: Effects on operator cost, travel time, fare and subsidy.
- 4 Driver Shortage Report 2023 Passenger – Europe. International Road Transport Union.
- 5 Lillo, Luigi Di; Gode, Tilia; Zhou, Xilin; Atzei, Margherite; Chen, Ruoshu & Victor, Trent. 2023. Comparative Safety Performance of Autonomous- and Human Drivers: A Real-World Case Study of the Waymo One Service.
- 6 MetaCCAZE. 2024. Connected cooperative & automated mobility. Verkkoaineisto. <<https://www.ccam.eu/projects/metaccaze/>>. Luettu 14.4.2024.
- 7 Welcome to MetaCCAZE. 2024. MetaCCAZE Project. Verkkoaineisto. <<https://www.metaccaze-project.eu/>>. Luettu 26.02.2024.
- 8 Remoted Oy. 2024. Verkkoaineisto. <<https://www.remoted.fi/>>. Luettu 14.4.2024
- 9 SAE J3016. Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles. 2021. Society of Automotive Engineers.

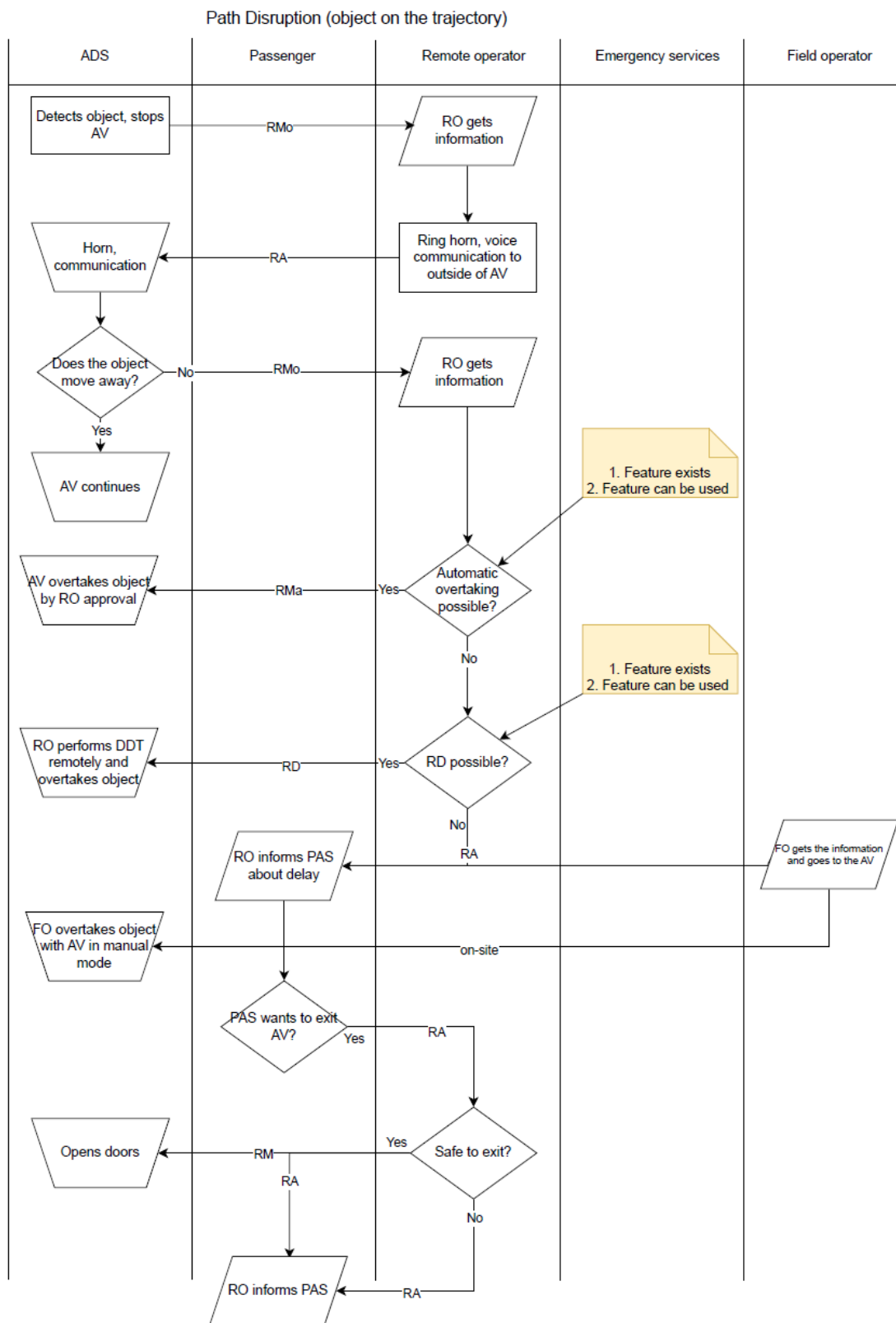
- 10 Heineke, Kersten; Kampshoff, Philipp & Möller, Timo. 2024. Spotting the Mobility Trends. Verkkoaineisto. McKinsey. <[https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/spotlight-on-mobility-trends?utm\\_medium=DSMN8&utm\\_source=LinkedIn&utm\\_user=14419234647345250#section-header-3](https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/spotlight-on-mobility-trends?utm_medium=DSMN8&utm_source=LinkedIn&utm_user=14419234647345250#section-header-3)>. 12.3.2024. Luettu 1.4.2024.
- 11 Diba, Dil Samina; Gore, Ninad & Pulugurtha, Srinivas S. 2023. Autonomous Shuttle Implementation and Best Practices. Mineta Transportation Institute. San José State University.
- 12 PAS 1883:2020. Operational Design Domain (ODD) taxonomy for an automated driving system (ADS) – Specification. British Standard Institution.
- 13 ISO 26262-1:2018. Road vehicles - Functional Safety. International Organization for Standardization.
- 14 What is Asil D. 2023. Verkkoaineisto. Synopsys.<<https://www.synopsys.com/automotive/what-is-asil.html#:~:text=There%20are%20four%20ASILs%20identified,highest%20degree%20of%20automotive%20hazard>>. Luettu 15.03.2024.
- 15 What is Asil D. 2023. Verkkoaineisto. Aptiv.<<https://www.aptiv.com/en/insights/article/what-is-asil-d>>. 15.7.2020. Luettu 15.3.2024.
- 16 Frigerio, Alessandro; Vermeulen, Bart & Goossens, Kees. 2018. A Generic Method for a Bottom-Up ASIL Decomposition.
- 17 Komission täytäntöönpanoasetus sääntöjen vahvistamisesta Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EU) 2019/2144 soveltamiseksi siltä osin kuin on kyse täysin automatisoitujen ajoneuvojen automatisoidun ajojärjestelmän (ADS) tyyppihyväksynnässä sovellettavista yhdenmukaisista menettelyistä ja teknisistä eritelmistä. (EU) 2022/1426.
- 18 ISO 21448:2022. Road vehicles - Safety of the intended functionality. International Organization for Standardization.
- 19 Parr, Hanna; Harvey, Catherine & Burnett, Gary E. 2023. Investigating Levels of Remote Operation in High Level On-Road Autonomous Vehicles using Operator Sequence Diagrams. University of Nottingham.
- 20 A Huddle Room Brings Colleagues Together in the Hybrid Workplace. 2024. Verkkoaineisto. Framery Oy.

- <<https://www.frameryacoustics.com/en/huddle-room/>>. 1.12.2020. Luettu 10.4.2024.
- 21 Tieliikennelaki. 2018. 10.8.2018/729.
- 22 Ajoneuvolaki. 2021. 15.1.2021/82.
- 23 Automated Vehicles Bill. 2024. House of Lords. Verkkoaineisto. <<https://bills.parliament.uk/publications/54189/documents/4416>>. 6.2.2024. Luettu 4.4.2024.
- 24 Ansvarsfrågan vid automatiserad körning samt nya regler i syfte att främja en ökad användning av geostaket. 2021. Regeringen. Verkkoaineisto. <<https://www.regeringen.se/contentassets/5a3eda60c80b4b5e9d19fb56352259cc/ansvarsfragan-vid-automatiserad-korning-samt-nya-regler-i-syfte-att-framja-en-okad-anvandning-av-geostaket/>>. 5/2021. Luettu 4.4.2024.
- 25 Förslag till förordning om förarlösa fordon skickas på remiss. 2023. Regeringskansliet. Verkkoaineisto. <<https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2023/10/forslag-till-forordning-om-forarlosa-fordon-skickas-pa-remiss/>>. 6.10.2023. Luettu 26.02.2024.
- 26 Eight Act amending the Road Traffic Act. 2017. The German Bundestag. Verkkoaineisto. <[https://bmdv.bund.de/SharedDocs/EN/Documents/DG/eight-act-amending-the-road-traffic-act.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://bmdv.bund.de/SharedDocs/EN/Documents/DG/eight-act-amending-the-road-traffic-act.pdf?__blob=publicationFile)>. 16.6.2017. Luettu 4.4.2024.
- 27 Gesley, Jenny. 2021. Germany: Road Traffic Act Amendment Allows Driverless Vehicles on Public Roads. Library of Congress. Verkkoaineisto. <<https://www.loc.gov/item/global-legal-monitor/2021-08-09/germany-road-traffic-act-amendment-allows-driverless-vehicles-on-public-roads/>>. 9.8.2021. Luettu 4.4.2024.
- 28 Ordinance on the approval and operation of motor vehicles with autonomous driving functions in specified operating areas. 2022. Verkkoaineisto. The German Bundestag. <<https://www.gesetze-im-internet.de/afgbv/index.html#BJNR098610022BJNE001900000>>. 24.6.2022. Luettu 4.4.2024.
- 29 Laki liikenteen palveluista. 2017. 24.5.2017/320.
- 30 Valmiuslaki. 2021. 29.12.2011/1552.



- 31 About SHOW. 2024. SHOW Project. Verkkoaineisto. <<https://show-project.eu/>>. Luettu 14.4.2024

## Operaattori-sekvensikaavio esteen ohituksesta



Glossary:  
RMo: Remote Monitoring  
RA: Remote Assistance  
RMa: Remote Management  
RD: Remote Driving

RO: Remote Operator  
FO: Field Operator  
PAS: Passenger

## Assumptions

AV is incapable of overtaking the object in an automated way  
AV may or may not have capabilities for RO approved automatic overtaking of object  
AV may or may not have Remote Driving capabilities

