



Autonomisten liikkuvien työko- neiden mahdollisuudet

Joni Vepsäläinen

OPINNÄYTETYÖ
Joulukuu 2022

Älyteollisuuden automaattoratkaisujen ylempi tutkinto-ohjelma

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Älyteollisuuden automaatoratkaisujen ylempi tutkinto-ohjelma

VEPSÄLÄINEN, JONI:
Autonomisten liikkuvien työkoneiden mahdollisuudet

Opinnäytetyö 70 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Joulukuu 2022

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Tampereen ammattikorkeakoulu. Taustana työlle toimi koulun tarve saada tukimateriaalia tuleviin projekteihin ja erilaisiin hankkeisiin. Taustalla oli myös lähitulevaisuudessa alkava projekti, jossa koululla olisi tarkoituksena automatisoida sähkökäyttöinen pieni työkone tai osia sen toiminnoista. Tavoitteena oli saada aikaiseksi State-of-the-Art-tyyppinen selvitys autonomisesti / automaattisesti liikkuvista työkoneista. Tämä tavoite jaettiin kolmeen osaan. Ensimmäisenä tavoitteena oli selvittää, minkälaisia ratkaisuja mahdollisesti oli jo olemassa ja minkälaista tekniikkaa niissä oli käytetty. Toisena tavoitteena oli selvittää tämän hetken suurimmat haasteet automaattisissa liikkuvissa työkoneissa ja toimenpiteet, joiden avulla saavutettaisiin suurempi automatisoitujen työkoneiden käyttöaste. Kolmantena tavoitteena oli selvittää kevyesti tämänhetkistä tilannetta näihin liittyvistä standardeista ja direktiiveistä. Tutkimusmenetelminä käytettiin kirjallisuustutkimuksen ja kyselytutkimuksen yhdistelmää.

Kirjallisuustutkimusosuudessa perehdyttiin hiukan automaation ja autonomian eroihin sekä ajoneuvon automaatiotasoihin standardin SAE J3016 pohjalta. Tarkasteltiin autonomisissa ajoneuvoissa käytössä olevia teknisiä ratkaisuja sekä ajoneuvojen kyberturvallisuutta. Katsaus yhteistyön merkityksestä autonomisten koneiden kehittämisessä sekä niiden mahdollisia hyötyjä, haasteita ja riskejä. Selvitettiin pieni otanta standardeja ja direktiivejä, jotka liittyivät automatisoituihin työkoneisiin. Kyselytutkimuksella selvitettiin nykyhetken ja tulevaisuuden tilannetta autonomisissa / puoliautonomisissa liikkuvissa työkoneissa.

Opinnäytetyöprosessi meni kokonaisuutena hyvin. Selvisi, että suurin osa käytössä olevista työkoneista on vielä manuaalisia. Automaatio on kuitenkin selvästi lisääntymässä ainakin kuljettajaa avustavissa toiminnoissa. Autonomisia teknisiä ratkaisuja on jo olemassa. Haastavaksi automaation käytön tekee teknisten ratkaisujen korkea hinta suhteessa saavutettuihin hyötyihin sekä ratkaisujen luotettavuuden taso vaihtelevissa toimintaympäristöissä. Nähtävissä on automaation lisääntyminen nopeasti lähitulevaisuudessa. Ajureina toimivat työvoiman vähyys, kilpailukyvyyn säilyttäminen, kehittyvät tekniset ratkaisut ja sähköistyminen. Haasteina ovat kuinka toteuttaa autonomisten toimien mahdollistava kehitystoimintaympäristö, turvata tulevaisuuden osaajat ja oikeiden tavoitteiden asettelu. Standardit ovat vielä puutteellisia autonomisten / automaattisten toimintojen osalta.

Asiasanat: autonominen, automaatio, liikkuva työkone

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Master's Degree Programme in Automation in Smart Industry

VEPSÄLÄINEN, JONI:
Possibilities of Autonomous Mobile Work Machines

Master's thesis 70 pages, appendices 2 pages
December 2022

This thesis study was commissioned by Tampere University of Applied Sciences. The purpose was to collect support material for the school's upcoming projects. The first objective was to clarify which kind of solutions were available and which kind of technologies were used. The second objective was to find out the toughest challenges in automatic mobile work machines today and which kind of actions are required to achieve greater automatic usage. The third objective was to investigate the current situation of standards and directives related to these systems. The used methods were a combination of literature research and survey research.

The most of working machines in use are still manual. The challenges of automation usage are high prices in technical solutions compared to achieved benefits and the level of solution's reliability in varying environments. The findings indicate that automation is clearly rising at least in driver helping functions. Autonomous technical solutions exist already. Automation is likely to rise rapidly in the near future. The drivers for this will be a small amount of workforce, maintaining competitiveness, developing technical solutions and electrification. These results suggest that standards are still inadequate to autonomous / automatic functions.

Key words: autonomous, automation, mobile work machine

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	9
1.1	Tausta	9
1.2	Tavoitteet	9
1.3	Työn rajaukset.....	9
1.4	Tutkimusmenetelmät.....	10
2	AUTONOMISET AJONEUVOT JA KONEET	11
2.1	Automaatio / autonomia	11
2.2	Automaattisen ajamisen tasot SAE J3016	12
2.2.1	Taso 0 ei automaatiota apuna	14
2.2.2	Taso 1 kuljettajan avustintoiminto.....	15
2.2.3	Taso 2 osittain automatisoitutaso	16
2.2.4	Taso 3 ehdollinen automaatiotaso.....	17
2.2.5	Taso 4 korkea automaatiotaso	18
2.2.6	Taso 5 täysi automaatiotaso.....	18
2.2.7	Automatisoinnin tasot raskailla liikkuvilla työkoneilla	19
2.3	Autonomisten ajoneuvojen teknisiä ratkaisuja	20
2.3.1	Valotutka	22
2.3.2	Tutka	23
2.3.3	Ultraäänianturit.....	26
2.3.4	Kamerat ja infrapunakamerat	28
2.3.5	Maailmanlaajuinen satelliittinavigointijärjestelmä.....	31
2.3.6	V2X kommunikointi.....	33
2.4	Autonomisten ajoneuvojen ja työkoneiden kyberturvallisuus	34
2.5	Verkostojen tärkeys autonomisten järjestelmien kehittämisessä .	37
2.6	Autonomisien koneiden ja laitteiden hyödyt, haasteet sekä riskit.	39
3	LIIKKUVIEN KONEIDEN DIREKTIIVEJÄ JA STANDARDEJA	43
3.1	Euroopan parlamentin ja neuvoston konedirektiivi 2006/42/EY ...	44
3.2	Toiminnallinen turvallisuus EN 62061	45
3.3	Toiminnallinen turvallisuus EN 13849-1	46
3.4	ISO 17757	47
3.5	Maantieajoneuvot toiminnallinen turvallisuus ISO 26262	47
3.6	Maantieajoneuvot kyberturvallisuustekniikka ISO/SAE 21434	48
4	AUTONOMISET LIIKKUVAT TYÖKONEET NYKYHETKI JA TULEVAISUUS.....	50
4.1	Työkoneiden nykyhetken tilanne	50
4.2	Työkoneet tulevaisuudessa.....	55

5	KYSELYTUTKIMUKSEN JOHTOPÄÄTÖKSET	59
5.1	Johtopäätökset nykyhetken tilanteesta	59
5.2	Johtopäätökset tulevaisuuden tilanteesta	60
6	POHDINTA	63
	LÄHTEET	65
	LIITTEET	69
	Liite 1. Kysely nykyhetken ja tulevaisuuden tilanne autonomisissa / puoliautonomisissa liikkuvissa työkoneissa.....	69

LYHENTEET JA TERMIT

ABS	Anti-lock Braking System
ACC	Adaptive Cruise Control
AEBS	Autonomous Emergency Braking System
AI	Artificial Intelligence
APA	Automated Parking Assistance
ASAM	Autonomous or Semi-Autonomous Machines
ASAMS	Autonomous or Semi-Autonomous Machine Systems
ASIL	Automotive Safety Integrity Level
AV	Autonomous Vehicle
CAL	Cybersecurity Assurance Level
CCF	Common Cause Failure
CEN	European Committee for Standardization / Comité Européen de Normalisation
CW	Continuous Wave
drive-by-wire	Toimilaitteen ohjaukseen käytetään pelkästään elektronisia / sähköisiä ratkaisuja ja reitityksiä ilman mekaanista yhteyttä
EMI	Electro Magnetic Interference
EN	European Norm
ESC	Electronic Stability Control
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FIR	Far InfraRed
FMCW	Frequency Modulated Continuous Wave
FOV	Field Of View
F/RCW	Front and Rear Collision Warning
FSK	Frequency Shift Keying
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
HC	Highway Chauffeur
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
Ionosfääri	Ionikerä, joka on ilmakehän ylin osa

IoT	Internet of Things
IR	Infrared
ISO	International Organization for Standardization
ITU	International Telecommunication Union
ITU-T	International Telecommunication Union-Telecommuni- cation Standardization Sector
LiDAR	Light Detection And Ranging
LKA	Lane Keeping Assistance
LRR	Long-Range Radar
MIR	Mid InfraRed
MMW	Millimeter Wave
MRR	Medium-Range Radar
NIR	Near InfraRed
PA	Park Assist
Peittoalue	Alue, jonka anturi / tutka tunnistaa
PFHd	Probability of a dangerous Failure per Hour
PNT	Positioning Navigation and Timing
PSK	Phase Shift Keying
RADAR	Radio Detection And Ranging
RGB-D	Red Green Blue-Depth
RTK	Real-Time Kinematic
SAE	Society of Automotive Engineers
SDL	Secure Development Lifecycle
SIL	Safety Integrity Level
SRCF	Safety-Related Control Function
SRECS	Safety Related Electrical Control System
SRR	Short-Range Radar
State-of-the-Art	Alan kehittyneintä tasoa edustavaa tekniikkaa
TAMK	Tampereen ammattikorkeakoulu
TCS	Traction Control System
TJA	Traffic Jam Assist
TJC	Traffic Jam Chauffeur
TKI	Tutkimus-, kehittämis- ja innovaatiotoiminta
ToF	Time-of-Flight
Troposfääri	Ilmakehän alin kerros

UPA	Ultrasonic Park Assist
V2I	Vehicle-to-Infrastructure
V2N	Vehicle-to-Network
V2P	Vehicle-to-Person
V2V	Vehicle-to-Vehicle
V2X	Vehicle-to-Everything
2D	Two-Dimensional
3D	Three-Dimensional

1 JOHDANTO

1.1 Tausta

Työn toimeksiantajana toimi Tampereen ammattikorkeakoulu (TAMK). Työn taustalla on tarve saada koululle tukimateriaalia tuleviin projekteihin ja erilaisiin hankkeisiin. Taustalla on myös lähitulevaisuudessa koululla alkava projekti, jossa tarkoituksena on automatisoida sähkökäyttöinen pieni työkone tai osia sen toimintoista. Työkone on tarkoitus varustella useilla anturoinneilla ja apulaitteilla. Tämä työkone tulee toimimaan eräänlaisena testausalustana pk-yrityksille. Tässä yritykset voivat testata erilaisia käyttötarkoituksia ja mahdollisuuksia automatisoidulla laitteistolla. Tämä antaa näkemyksiä sekä kokemuksia erilaisten toimintojen testauksesta, ilman isoja omia investointeja tällaisen toimintaympäristön hankkimiseen.

1.2 Tavoitteet

Tehtävänantona on tehdä State-of-the-Art-tyyppinen selvitys autonomisesti / automaattisesti liikkuvista työkoneista. Yksi tavoitteista on selvittää, minkälaisia ratkaisuja mahdollisesti on jo olemassa ja minkälaista tekniikkaa niissä on käytetty. Toisena tavoitteena on selvittää, tämän hetken suurimmat haasteet automaattisissa liikkuvissa työkoneissa ja mitä toimenpiteitä pitäisi tehdä, että saavutettaisiin suurempi automaattisten liikkuvien työkoneiden käyttöaste tulevaisuudessa. Kolmantena tavoitteena on selvittää kevyesti tämänhetkistä tilannetta automatisoituihin työkoneisiin liittyvistä standardeista ja direktiiveistä.

1.3 Työn rajaukset

Autonomisten liikkuvien työkoneiden mahdollisuudet -aihetta on lähdetty rajamaan tarkasteluna yleisellä tasolla, menemättä kauhean syvälle eri osa-alueisiin.

Tässä opinnäytetyössä käydään lävitse:

- Autonomisia ajoneuvoja ja koneita
 - o Yleisellä tasolla automaation ja autonomisen toiminnan eroja
 - o Ajoneuvojen eri automaatiotasoja standardin SAE J3016 mukaan
 - o Muutamia teknisiä ratkaisuja, joita on tällä hetkellä autonomisissa ajoneuvoissa käytössä
 - o Hiukan autonomisten ajoneuvojen kyberturvallisuutta
 - o Hiukan yhteistyön merkityksen tärkeydestä autonomisten koneiden kehittämisessä ja saattamisessa markkinoille
 - o Ottamalla kantaa autonomisten liikkuvien työkoneiden mahdollisiin hyötyihin, haasteisiin ja riskeihin
- Pieni otanta automatisoituihin työkoneisiin liittyviä standardeja sekä direktiivejä, menemättä niihin kovinkaan syväälle

1.4 Tutkimusmenetelmät

Tutkimusmenetelminä opinnäytetyössä käytetään kirjallisuustutkimuksen ja kyselytutkimuksen yhdistelmää. Tarkoituksena on perehtyä autonomisten ajoneuvojen / työkoneiden käytössä oleviin tekniikoihin ja näihin liittyviin kokonaisuuksiin. Kirjallisuustutkimukseen on kerätty tietoa kirjallisuudesta, artikkeleista, konferenssijulkaisuista, internet-lähteistä ja standardeista. Lähdemateriaali on pääasiassa englanninkielistä.

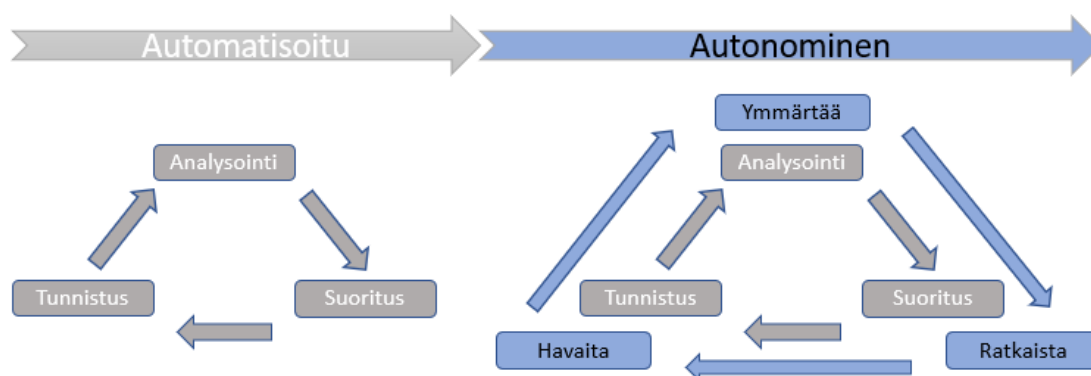
Opinnäytetyössä perehdytään kevyesti standardeihin, jotka liittyvät autonomisiin ajoneuvoihin ja liikkuviin työkoneisiin. Standardeja tutkitaan, jotta tiedettäisiin, mikä on tämän hetken tilanne standardoinnissa autonomisten liikkuvien työkoneiden osalta. Kappaleessa neljä käsitellään autonomisten liikkuvien työkoneiden nykyhetkeä ja tulevaisuutta. Tämä kappale on tehty kyselytutkimuksena. Kyselyn vastaukset on objektiivisesti referoitu ja vastauksista on vedetty johtopäätöksiä kirjallisuusosuuden kanssa kappaleessa viisi kyselytutkimuksen johtopäätökset.

2 AUTONOMISET AJONEUVOT JA KONEET

2.1 Automaatio / autonomia

Automaatio on tullut vahvaksi osaksi teollisuutta ja tässä liiketoiminnan vetäjinä ovat toimineet tuottavuuden, tehokkuuden ja laadun lisääminen (Tavallaey & Ganz 2019, 31). Automaatiota on nykyisin lähes kaikkialla, myös kuluttajatuotteissa kuten autoissa. Automaatiota on käytössä erilaisissa elektroniikkatuotteissa sekä erilaisissa järjestelmissä teollisuuden koneissa ja laitteissa. (Koskinen 2018, 8.) Automaation on tarkoitus helpottaa ihmisten tekemää työtä, ilman ihmisen jatkuvaa tarvetta valvoa toimintaa tai tehdä toimenpiteitä. Näin tapauksissa, joissa laitteiston, koneiden ja prosessien toimintaa pystytään hallitsemaan automaattisten ohjauksien ja säädön avulla. Tänä päivänä on monia sovellutuksia, joissa ihmisen kyvyt sekä nopeus eivät yksinkertaisesti riitä. Näiden monimutkikkaiden sovellutusten hoitamiseksi tarvitaan automaatiota. Pitkälle viety automaatio kykenee hoitamaan työn monissa sovellutuksissa ihmistä laadukkaammin ja luotettavammin. (Koskinen 2018, 4.)

Teollisuuden esineiden internet, engl. Internet of Things (IoT) on kasvanut kasvamistaan. Anturitekniologioiden sekä verkkokameroiden käyttömahdollisuudet, markkinatiedot, laskentatehon halpuus ja pitkälle kehitetyt uudet algoritmit antavat mahdollisuuden uuden askeleen ottamiseksi teollisuusautomaatiossa. Tämä askel vie kohti kehittyvää autonomista teollisuutta. Automaatiosta puhuttaessa toimitaan tarkasti määriteltujen ja tunnettujen tilanteiden mukaan. Toimitaan enimmäkseen muuttumattomissa tilanteissa automaattiosilmukassa, jonka kulku etenee seuraavasti; tunnistus, analysointi ja suoritus. Nykyisellä tekniikalla on mahdollista reagoida sekä tunnistaa näkymättömiä ja muuttuvia tilanteita. Autonomisissa järjestelmissä pystytään mittaamisen lisäksi myös havaitsemaan parametrien tilaa. Havainnointi ei vain yksinomaan auta analysoimaan käyttäytymistä järjestelmän määrätyn ja odotetun käyttäytymisen perusteella. Järjestelmä pyrkii myös ymmärtämään tilanteen ja ratkaisemaan näkymättömän ongelman. Vasta näiden jälkeen järjestelmä suorittaa tarvittavat toimet, joiden jälkeen automaattiosilmukka sulkeutuu. Automaatiota ja autonomiaa voidaan kuvata seuraavanlaisella kuviolla 1. (Tavallaey & Ganz 2019, 31.)



KUVIO 1. Automaatio verrattuna autonomiaan, havainnekuva automaatio silmukasta (Tavallaey & Ganz 2019. 32, muokattu, Vepsäläinen)

Puhuttaessa autonomisesta ajoneuvosta, engl. Autonomous Vehicle (AV) on ”autonomia” jäänyt pysyvämmäksi termiksi yleisissä keskusteluissa. Vaikka käsite ”autonomia” tarkoittaa filosofiassa ja etiikassa sitä, että ihmisten tulee tehdä päätöksiä itsenäisesti. Kenenkään ei pitäisi olla pakotettuina kenenkään toimesta ja heidän tulisi olla vapaita antamaan omat sääntönsä kohtuuden rajoissa. Kreikaksi ”autos” tarkoittaa itse ja ”nomos” tarkoittaa laki. Näihin eivät kuitenkaan tekoäly, tai autonomiset ajoneuvot pysty. Autonomiset ajoneuvot terminä jakaa mielipiteitä. Joidenkin mukaan parempi olisi käyttää, joko pitkälle automatisoidut ajoneuvot-, tai täysin automatisoidut ajoneuvot-termiä. Autonomiaa kuitenkin käytetään puhuttaessa autonomisista ajoneuvoista. Tavallisemmassa robotiikassa käytettynä se tarkoittaa kykyä toimia pitkiä aikoja ilman ihmisoperaattoria. (Bartneck, Lütge, Wagner & Welsh 2021, 83.)

2.2 Automaattisen ajamisen tasot SAE J3016

Kuljettajan ajon aikana tekemiin päätöksiin ja suorittamiin tehtäviin vaikuttaa huomattavasti ajoneuvon automaation taso (Krysiuk, Kuśmińska-Fijałkowska, Kamiński & Demestichas 2021, 200). Automaation tasot on määritelty vuonna 2014 standardissa SAE J3016, jota on myöhemmin päivitetty useaan kertaan ajantasaiselle tasolle (SAE J3016, 2014, 1; SAE J3016, 2021 SAE International, SAE Mobilus).

Kuviossa 2 on esitetty SAE J3016 -mukaiset automaattisen ajamisen tasot. Tämä kuvio on mukaelma visuaalisesta kaaviosta, standardista SAE J3016, SAE

International -sivustolta. (SAE J3016, 2021 SAE International. n.d.) SAE International on maailmanlaajuinen autoteollisuuden standardointijärjestö, joka on perustettu vuonna 1905 (SAE International, 2022).

SAE J3016 Automaattisen ajamisen tasot:

	SAE TASO 0	SAE TASO 1	SAE TASO 2	SAE TASO 3	SAE TASO 4	SAE TASO 5
Mitä kuljettajana olevan ihmisen tulee tehdä?	Ajat jatkuvasti, kun nämä tukitoiminnot kuljettajalle ovat käytössä – vaikka et ohjaisi ja jalat olisivat poissa polkimilta			Et aja, näiden automaattisten ajotoimintojen ollessa käytössä – vaikka istuisitkin kuljettajan paikalla		
	Sinun täytyy jatkuvasti valvoa näitä tukitoimintoja; Tulee ohjata, jarruttaa tai kiihdyttää säilyttääksesi turvallisuuden			Toiminnon vaatiessa sitä, Sinun on ajettava	Nämä automatisoidut toiminnot eivät edellytä sinua ottamaan ohjausta	
	Kuljettajan tukiominaisuuksia:			Automatisoituja ajo ominaisuuksia:		
Mitä nämä toiminnallisuudet tekevät?	Toiminnot ovat rajalliset, tarjoavat varoituksia ja hetkellistä tukea	Nämä toiminnot tukevat ohjaamista TAI jarrutusta / kiihdytystä kuljettajalle	Nämä toiminnot tukevat ohjaamista JA jarrutusta / kiihdytystä kuljettajalle	Nämä toiminnallisuudet voivat ajaa ajoneuvoa rajoitetuissa olosuhteissa ja eivätkä ne toimi ellei kaikki vaaditut ehdot täyty		Tämä toiminnallisuus voi ajaa ajoneuvoa kaikissa olosuhteissa
Esimerkkejä toiminnallisuuksista	Automaattinen hätäjarrutus, Kuolleen kulman varoitus, Kaistavahti	Kaistan keskitys TAI Mukautuva vakionopeudensäädin	Kaistan keskitys JA Mukautuva vakionopeudensäädin	Liikenne-ruuhkan kuljettaja	Paikallinen kuljettajaton taksi Polkimet / ratti voivat olla, tai niitä ei tarvita	Kaikki sama mitä tasolla 4, mutta toimivat kaikissa olosuhteissa ja kaikkialla

KUVIO 2. Standardista SAE J3016 (SAE J3016, 2021 SAE International, muokattu, Vepsäläinen)

Taulukosta 1 näkyvät suomen kielelle käännetyt automaation tasot ja tämä kokonaisuus on mukaelma standardista SAE J3016, vuodelta 2014 (SAE J3016, 2014, 2).

TAULUKKO 1. Automaation tasot taulukkomuotoon muokattuina standardista SAE J3016 (SAE J3016, 2014, 2, muokattu, Vepsäläinen)

SAE -Taso	Nimi	Narratiivinen määritelmä	Ohjauksen ja kiihdytyksen / hidastuksen suorittaminen	Ajoympäristön valvonta	Varasuorituskyky dynaamisessa ajotehtävässä	Järjestelmän kyvykkyys (ns.Ajotilat)
Ajoympäristössä valvoo kuljettajana oleva ihminen						
0	Ei automaatiota apuna	Kokoaikainen ihmiskuljettajan suorituskyky dynaamisen ajotehtävän kaikissa tehtävissä, myös silloinkin, kun ajoneuvo on varustettu varoitus- tai interventiojärjestelmillä.	Ihminen ohjaamassa	Ihminen ohjaamassa	Ihminen ohjaamassa	Ei ole
1	Kuljettajan avustintointo	Kuljettajan avustinjärjestelmän suorittama ajotilakohtainen, joko ohjaus- tai kiihdytys- / hidastustoiminto, ajoympäristöä koskevia tietoja apuna käyttäen ja sillä odotuksella, että ihmiskuljettaja tekee kaikki muut dynaamisen ajotehtävän osat.	Ihminen ohjaamassa + järjestelmä	Ihminen ohjaamassa	Ihminen ohjaamassa	Joitakin ajotiloja
2	Osittain automatisoitu-taso	Kuljettajan avustinjärjestelmän yhden tai useamman suorittamat ajotilakohtaiset ohjaus- sekä kiihdytys- / hidastustoiminnot, ajoympäristöä koskevia tietoja apuna käyttäen ja sillä odotuksella, että ihmiskuljettaja tekee kaikki muut dynaamisen ajotehtävän osat.	Järjestelmä ohjaamassa	Ihminen ohjaamassa	Ihminen ohjaamassa	Joitakin ajotiloja
Ajoympäristössä valvoo automatisoitu ajojärjestelmä ("Järjestelmä")						
3	Ehdollinen Automaation-taso	Automatisoidun ajojärjestelmän ajotilakohtainen suorituskyky dynaamisen ajotehtävän kaikilla osa-alueilla, sillä odotuksella, että ihmiskuljettaja vastaa pyyntöön puuttua asiaan asianmukaisesti.	Järjestelmä ohjaamassa	Järjestelmä ohjaamassa	Ihminen ohjaamassa	Joitakin ajotiloja
4	Korkea automaation-taso	Automatisoidun ajojärjestelmän ajotilakohtainen suorituskyky dynaamisen ajotehtävän kaikilla osa-alueilla, vaikka ihmiskuljettaja ei vastaisi pyyntöön puuttua asiaan asianmukaisesti.	Järjestelmä ohjaamassa	Järjestelmä ohjaamassa	Järjestelmä ohjaamassa	Joitakin ajotiloja
5	Täysi automaation-taso	Automatisoidun ajojärjestelmän kokoaikainen suorituskyky dynaamisen ajotehtävän kaikissa osa-alueissa, sekä kaikissa tie- ja ympäristöolosuhteissa, joita ihmiskuljettaja voi hallita.	Järjestelmä ohjaamassa	Järjestelmä ohjaamassa	Järjestelmä ohjaamassa	Kaikki ajotilat

Automaatiotasot määritellään SAE J3016 dynaamisten ajotehtävien kannalta, joita tarvitaan autojen turvalliseen käyttöön maantieolosuhteissa (Machado, Ahonen & Ghabcheloo 2021, 2).

2.2.1 Taso 0 ei automaatiota apuna

Tasolla nolla ei ole automaatiota apuna lainkaan ajamisessa. Kaikissa toiminnoissa, kuten ohjaus, kiihdytys, hidastus ja ajoympäristön valvonta vastuu kuuluu ihmiselle. (Taulukko 1.)

Tasolle nolla voidaan kuitenkin lukea seuraavat avustavat toiminnot:

- Lukkiutumattomat jarrut, engl. Anti-lock Braking System (ABS)
- Luistonestojärjestelmä, engl. Traction Control System (TCS)
- Ajonvakautusjärjestelmä, engl. Electronic Stability Control (ESC)
- Häätä-jarrutustoiminto, engl. Autonomous Emergency Braking System (AEBS)

(Krysiuk, Kuśmińska-Fijałkowska, Kamiński & Demestichas 2021, 201–202.)

Muita kuljettajaa avustavia toimintoja kuten parkkeerausavustin sekä varoitustoiminnot kuljettajalle (Krysiuk, Kuśmińska-Fijałkowska, Kamiński & Demestichas 2021, 202). Näitä toimintoja ei tässä tapauksessa lueta automaatioon, koska teknisesti nämä järjestelmät eivät aja ajoneuvoa (Synopsys. n.d.).

2.2.2 Taso 1 kuljettajan avustintoiminto

Tasolla yksi on mukana jo monia kuljettajaa automaattisesti avustavia toimintoja tukemassa ohjausta tai kiihdytystä / hidastusta riippuen ajotilasta (Taulukko 1). Näihin kuljettajaa avustaviin toimintoihin lukeutuu esimerkiksi mukautuva vakionopeudensäädin, engl. Adaptive Cruise Control (ACC), josta löytyy monenlaisilla ominaisuuksilla olevia versioita. On versioita, jotka pitävät nopeutta halutussa, pitäen samalla turvallisen välimatkan edellä menevään ajoneuvoon suhteessa nopeuteen. On myös niin sanottuja stop-and-go toiminnollisia, jossa ajoneuvo pysähtyy, kun edellä menevä ajoneuvo pysähtyy ja jatkaa taas matkaa, kun edessä oleva ajoneuvo lähtee liikkeelle. Tämä järjestelmä jarruttaa ja kiihdyttää automaattisesti hitaasti liikkuvassa liikenteessä. (Krysiuk, Kuśmińska-Fijałkowska, Kamiński & Demestichas 2021, 202.)

Kaista-avustaja, engl. Lane Keeping Assistance (LKA) on toiminto, joka menee päälle automaattisesti tietyssä nopeudessa, yleensä 60 km/h ja on päällä siitä ylöspäin. Järjestelmä havaitsee kaistaviivat ja määrittää ajoneuvon paikan. Jos ajoneuvo jostain syystä lähtisi menemään pois kaistalta, järjestelmä yrittäisi korjata ajoneuvon takaisin kaistalle. Mikäli ajoneuvo ei palaudu kaistalle automaation yrityksestä huolimatta, tai jos nopeus tippuu alle 60 km/h. Järjestelmä varoittaa kuljettajaa, jotta se voi tehdä korjaavat toimenpiteet. (Krysiuk, Kuśmińska-Fijałkowska, Kamiński, & Demestichas 2021, 202.)

Pysäköintiavustin, engl. Park Assist (PA) -järjestelmä avustaa sekä ohjaa automaattisesti ajoneuvon tienvarsiparkkiin tai parkkiruutuun. Järjestelmä avustaa kuljettajaa automatiikan avulla ohjaten rattia optimaalisilla liikkeillä ajaen auton perä edellä parkkiin parasta reittiä. Parkkiruudun tilan valvonta, lähtöpaikanmäärittäminen ja ratin ohjausliikkeet tulevat automaattisesti PA-järjestelmästä. Kuljettajalle

jää huolehdittavaksi ajoneuvon koko aikainen kontrolli, eli kuljettaja huolehtii kaasusta sekä jarrutuksesta. (Krysiuk, Kuśmińska-Fijałkowska, Kamiński & Demestichas 2021, 202.)

2.2.3 Taso 2 osittain automatisoitutaso

Osittain automatisoidulla tasolla kaksi, huolehtii automaatio joissakin ajotiloissa kiihdytyksestä, jarrutuksesta ja ohjauksesta. Toki edelleen kuljettaja valvoo ympäristöä ja on vastuussa ajosta. (Taulukko 1.) Tasoja kaksi voidaan pitää evoluutiona tason yksi järjestelmästä. Järjestelmät aktivoituvat samanlaisissa tilanteissa, mutta toiminnallisuuksia on huomattavasti enemmän. Tällä tasolla järjestelmät pystyvät suorittamaan automaattisesti jo jarrutus-, kiihdytys- ja ohjaustoimintoja, näihin lukeutuu mm. seuraavat toiminnot. (Krysiuk, Kuśmińska-Fijałkowska, Kamiński & Demestichas 2021, 202.)

Automaattinen pysäköintiavustin, engl. Automated Parking Assistance (APA) on seuraava evoluution taso pysäköintiavustimesta PA. Kehittyneemmässä pysäköintiavustimessa on enemmän toiminnallisuuksia, kuin PA-pysäköintiavustimessa, mahdollistaen osittain automatisoidun pysäköinnin. Toiminnot käynnistetään etäyhteydellä esimerkiksi älypuhelimella tai tarkoituksen mukaisella kaukosäätimellä. Ajoneuvo liikkuu automaattisesti, mutta kuljettajan on edelleen valvottava ympäristöä ja parkkeerausta, joko autossa tai sen välittömässä läheisyydessä. Tarvittaessa kuljettajan on kuitenkin pystyttävä pysäyttämään ajoneuvon parkkeeraus. (Krysiuk, Kuśmińska-Fijałkowska, Kamiński & Demestichas 2021, 202–203.)

Liikenneuhka-avustin, engl. Traffic Jam Assist (TJA), tätä toiminnallisuutta voidaan pitää mukautuvan vakionopeudensäätimen stop-and-go -toiminnallisuuden jatkeena. Erona perinteiseen ACC on se, että tässä ajoneuvon liikettä ei vain tarkkailla järjestelmässä sen edestä vaan myös takaa ja sivuilta, alhaisilla nopeuksilla alle 30 km/h. (Krysiuk, Kuśmińska-Fijałkowska, Kamiński & Demestichas 2021, 202–203.)

2.2.4 Taso 3 ehdollinen automaatiotaso

Ehdollisella automaatiotasolla kolme, järjestelmä voi hoitaa automaattisesti joissakin ajotiloissa kiihdytyksen, jarrutuksen ja ohjauksen. Se voi myös vastata ajoympäristön valvonnasta, sillä odotuksella, että ihmiskuljettaja on valmiina ottamaan kontrollin sitä vaadittaessa. (Taulukko 1.) Tasolle kolme lukeutuu kaikki aikaisempien tasojen järjestelmät, mutta laajemmilla ominaisuuksilla. Näitä toiminnallisuuksia ovat liikenne-ruuhka kuljettaja, engl. Traffic Jam Chauffeur (TJC) sekä moottoritie kuljettaja, engl. Highway Chauffeur (HC). (Krysiuk, Kuśmińska-Fijałkowska, Kamiński & Demestichas 2021, 203.)

Näistä ensimmäinen liikenne-ruuhkakuljettaja on paranneltu versio liikenne-ruuhka-avustimesta. Ajoneuvon nopeus voi nousta 60 km/h asti moottoritiellä tai näihin verrattavissa olevilla tieosuuksilla. Automaatio huolehtii ajoneuvon ohjauksesta sivuttain, nopeudesta eteen / taakse, sen kynnysnopeuteen saakka. Järjestelmä on tarkoituksellisesti asetettava päälle, mutta se ei vaadi jatkuvaa valvontaa. Kuljettaja voi muuttaa järjestelmän toimintaa tai ottaa sen halutessaan pois käytöstä. Tässä automaatiojärjestelmän toiminnossa ei ole kuljettajan haluttuunottoopyyntöä. (Krysiuk, Kuśmińska-Fijałkowska, Kamiński & Demestichas 2021, 203.)

Moottoritiekuljettajatoiminnossa on paljon samaa, kuin liikenne-ruuhka kuljettajatoiminnossa. Tässä ehdollisessa järjestelmässä nopeus voi kuitenkin nousta jopa 130 km/h moottoriteillä ja sen kaltaisilla tieosuuksilla. HC-järjestelmä toimii moottoritielle sisään liittyessä aina moottoritieltä ulos liittymiseen saakka, kaikilla sen kaistoilla ja myös ohitustilanteissa. HC-järjestelmä on tarkoituksella aktivoitava, mutta sitä ei tarvitse jatkuvasti valvoa. HC-järjestelmän saa halutessaan muutettua ja tai poistettua käytöstä, kuten TJC-järjestelmänkin. HC-järjestelmä voi kuitenkin pyytää ottamaan kontrollin jonkin ajan kuluttua tai, jos järjestelmä saavuttaa sen toiminnan rajat. (Krysiuk, Kuśmińska-Fijałkowska, Kamiński & Demestichas 2021, 203.)

2.2.5 Taso 4 korkea automaatiotaso

Korkealla automaatiotasolla neljä, järjestelmä voi hoitaa automaattisesti monissa ajotiloissa kiihdytyksen, jarrutuksen ja ohjauksen. Se voi myös vastata ajoympäristön valvonnasta. Vika- tai häiriötilanteissa järjestelmä voi pyytää ihmiskuljettajaa ottamaan kontrollin. Jos kontrollia ei otettaisi kontrollipyynnin jälkeen, on järjestelmä silti kykenevä tekemään ratkaisun automaattisesti. (Taulukko 1.) Tasolle neljä kuuluvat esimerkiksi parkkihallipilotti ja moottoritiepilotti.

Parkkihallipilotti Engl. Parking Garage Pilot, jonka toiminnot on viety todella korkealle tasolle. Automaattinen parkkeeraus, ohjaus pysäköintipaikalle ja myös pois sieltä. Parkkeeraus voidaan ohjata etänä älypuhelimesta tai siihen tarkoitettulla kauko-ohjaimella, eikä se vaadi kuljettajan valvontaa. (Krysiuk, Kuśmińska-Fijałkowska, Kamiński & Demestichas 2021, 203.)

Moottoritiepilotti Engl. Highway Pilot, on hyvin samankaltainen, kuin tasolla kolme oleva Moottoritiekuljettaja HC. Se on kuitenkin edistyneempi versio, sillä se ei pyydä kuljettajaa ottamaan kontrollia normaaleilla moottoritieosuuksilla. Tämän tason ajoneuvoissa on myös kykenevät viestintäjärjestelmät ajoneuvojen väliseen kommunikointiin. Näillä kommunikointijärjestelmillä voidaan luoda jopa ajoneuvosaattueita. Tämä toiminnallisuus on nimeltään engl. Highway Pilot with ad-hoc platooning. (Krysiuk, Kuśmińska-Fijałkowska, Kamiński & Demestichas 2021, 203–204.)

2.2.6 Taso 5 täysi automaatiotaso

Tällä korkeimmalla automaation tasolla viisi on automaatiossa päästy jo niin korkealle, että käytännössä tämän tason ajoneuvoissa ei enää kuljettajaa tarvita. Tämän tason ajoneuvot eivät enää opasta kuljettajaa, eivätkä ne tarvitse minikäänlaista tukea matkustajilta, vaan suorittavat ajamisen sekä ohjaamisen autonomisesti. (Krysiuk, Kuśmińska-Fijałkowska, Kamiński & Demestichas 2021, 204.)

2.2.7 Automatisoinnin tasot raskailla liikkuvilla työkoneilla

Automaattisen ajamisen tasot SAE J3016 käsittävät kuitenkin vain autoteollisuuden osaa liikenteestä. Näissä ei ole huomioitu raskaan kaluston, työkoneiden automaation tasoja, joissa voisi olla muitakin automaattisia toimintoja kuten esimerkiksi kauhakuormaajan toimintoja. Raskaat liikkuvat työkoneet voivat erota kokoonpanoiltaan hyvin paljon, riippuen työkoneen sovellutusalueesta. Työkoneet voivat siten olla hyvin monimutkaisia ja monipuolisia. Nykyisellään SAE J3016 on riittämätön kattamaan raskaiden liikkuvien työkoneiden automaation tasot. Koska työkoneilla käsitellään ja liikutellaan ulkoisia materiaaleja, näitä toimintoja SAE J3016 ei ota huomioon riittävästi. SAE J3016 ei ota huomioon raskailla liikkuvilla työkoneilla tarvittavia toimintoja. Työkoneet suorittavat ajamisen tai navigoinnin lisäksi myös koneeseen liitetyn toimilaitteen käyttöä esimerkiksi muuttamalla kokoa, muotoa tai paikkaa. Raskaat liikkuvat työkoneet eroavat maantieajoneuvoista myös siten, että niillä ei kuljeteta matkustajia, ne toimivat pääasiassa maasto-olosuhteissa. (Machado, Ahonen & Ghabcheloo 2021, 1–2, 9.)

Raskaille liikkuville työkoneille on tehty ehdotelma automaation tasojen taksonomiasta. Tämä voisi mahdollistaa sekä automaattiset ajotoiminnot että automaattiset manipulointitoiminnot eli koneenkäsittelytoiminnot. Tätä ehdotelmaa käsittelee Machado, Ahonen & Ghabcheloo (2021) -konferenssijulkaisussaan. Tässä ehdotetaan uutta automaation tasojen taksonomiaa perustuen SAE J3016 kaksikulotteisena 6 x 6-matriisina, jossa ajotoiminnot olisivat toisessa ulottuvuudessa ja koneenkäsittelytoiminnot toisessa ulottuvuudessa. Mukaelma heidän ehdottamastaan matriisista kuviossa 3. (Machado, Ahonen & Ghabcheloo 2021, 1.)

Automaation tasojen 6x6 matriisi raskaille liikkuville työkoneille

Koneen ajamistoiminnot	Täysi automaation taso 5	Ihmisen hallinnassa ovat koneenkäsittelytoiminnot Ja Automaatiojärjestelmän hallinnassa ovat koneenajamistoiminnot				Kaikki toiminnot ovat automaatiojärjestelmän hallinnassa	
	Korkea automaation taso 4						
	Ehdollinen automaation taso 3					Ihmisen hallinnassa ovat koneenajamistoiminnot Ja Automaatiojärjestelmän hallinnassa ovat koneenkäsittelytoiminnot	
	Osittain automatisoitu taso 2	Kontrolli on ihmisellä					
	Kuljettajan avustintoiminto 1						
	Ei automaatiota apuna 0						
Automaation tasot	Ei automaatiota apuna 0	Kuljettajan avustintoiminto 1	Osittain automatisoitu taso 2	Ehdollinen automaation taso 3	Korkea automaation taso 4	Täysi automaation taso 5	

Koneen käsittelytoiminnot

KUVIO 3. Ehdotelma matriisista, automaation tasoista raskaille liikkuville työkoneille (Machado, Ahonen & Ghabchelloo 2021, 4, muokattu, Vepsäläinen)

Näin automaation tasojen matriisi voitaisiin yleistää raskaiden liikkuvien työkoneiden eri sovelluskentillä. Tämä ehdotettu matriisi voisi toimia raskaille liikkuville työkoneille eräänlaisena oppaana, lähtökohtana tulevaisuuden standardoidulle tekniselle ja yhteiskunnalliselle keskustelulle. Yhteistyössä tulevissa tutkimus- ja kehityshankkeissa. Tällainen yhteinen viitekehys, jolla keskustellaan kehitysaikatauluista, säännöksistä, yms. voisi nopeuttaa autonomisten ja automatisoitujen raskaiden liikkuvien työkoneiden käyttöönottoa. (Machado, Ahonen & Ghabchelloo 2021, 1, 9.)

2.3 Autonomisten ajoneuvojen teknisiä ratkaisuja

Automaattiset toiminnot autonomisissa ajoneuvoissa tarvitsevat useita teknisiä ratkaisuja, joihin turvautua vallitsevissa liikennetilanteissa. Erilaisia antureita sekä tekniikoita tarvitaan useita muun muassa siksi, koska ympäristöolosuhteet voivat vaihdella hyvinkin paljon. Yksittäinen anturi ei kykene toimimaan riittäväällä toimintavarmuudella kaikissa olosuhteissa. Lähtökohtana liikennetilanteen arvioinnille on kuitenkin tieto kaikista mahdollisista ajoneuvon ympäristössä olevista

kokonaisuuksista. Tähän tarvitaan erilaisia antureita, jotka voivat tunnistaa ympäristössä olevia eri elementtejä kuten jalankulkijat, ajoneuvot, eläimet, liikenneinfraa koskevat kaistamerkinnot, liikennevalot, liikennemerkit, mahdolliset esteet, kuopat, pensaat ja reunakivet. Anturitekniikoiden antaman luotetun tiedon perusteella autonomisten ajoneuvojen järjestelmät pyrkivät tekemään vastaavanlaisia loogisia päätöksiä, kuin ihminen. (Watzenig & Horn 2017, 161; Vargas, Alswiss, Toker, Razdan & Santos 2021, 1.)

Anturoinnit voidaan ajoneuvoissa jaotella toimintojen mukaan ulkoisiin-, sisäisiin- ja kuljettajan tilaa valvoviin antureihin:

- Ulkoisiin antureihin, joilla saadaan tietoa ajoneuvon ympäristön tilasta ja informaatiosta
- Sisäisiin tila-antureihin, jotka tarjoavat tiedot ajoneuvon sen hetkisestä toiminnasta sekä sen tilasta seuraavasti
 - o Alemman tason toiminnot, muun muassa moottoriin liittyvät toiminnallisuudet
 - o Korkeamman tason tilatiedot, joihin kuuluvat muun muassa ajoneuvon sijainti sekä sen liike
- Kuljettajan tilaa ja aikomuksia valvoviin anturointeihin
 - o Pystytään tarkkailemaan istuimen käyttöä paine- tai infrapuna-antureilla
 - o Voidaan käyttää myös ääniantureita, ajoneuvon sisäisiä kameroita, katseenseurantalaitteita, hengityksen alkoholiantureita ja haptisia eli tuntoaistiin perustuvia muuntimia
(Özgüner, Acarman & Redmill 2011, 69.)

Tekniset ratkaisut mahdollistavat myös tiedonjaon antureilla varustetusta ajoneuvosta ympärillä oleville ajoneuvoille, laitteille ja muille mahdollisille osapuolille tehostaen liikennettä. Joissakin tapauksissa tällä voidaan välttää se, että kaikkialle ei tarvitsisi asentaa kalliita antureita. (Mueck & Karls 2018, 65.)

Yleisimpiä tämän hetken käytössä olevia teknisiä ratkaisuja autonomisissa ajoneuvoissa ovat tutka, valotutka, kamerat ja ultraääni. Näillä pystytään havaitsemaan ajoneuvon ulkopuolisesta ympäristöstä elementtejä. Myös globaaleja satelliittinavigointijärjestelmiä, engl. Global Navigation Satellite System (GNSS)

käytetään tiedon hankintaan. Näistä ehkä tunnetuin on ensimmäinen jokaisen sääolosuhteen kattava, toiminnassa oleva järjestelmä globaali paikannusjärjestelmä, engl. Global Positioning System (GPS) (Özgüner, Acarman & Redmill 2011, 71–72, 84–89; Mouftah, Erol-Kantarci & Sorour 2020, 296–299, 354; Vargas, Alsweiss, Toker, Razdan & Santos 2021, 1, 7).

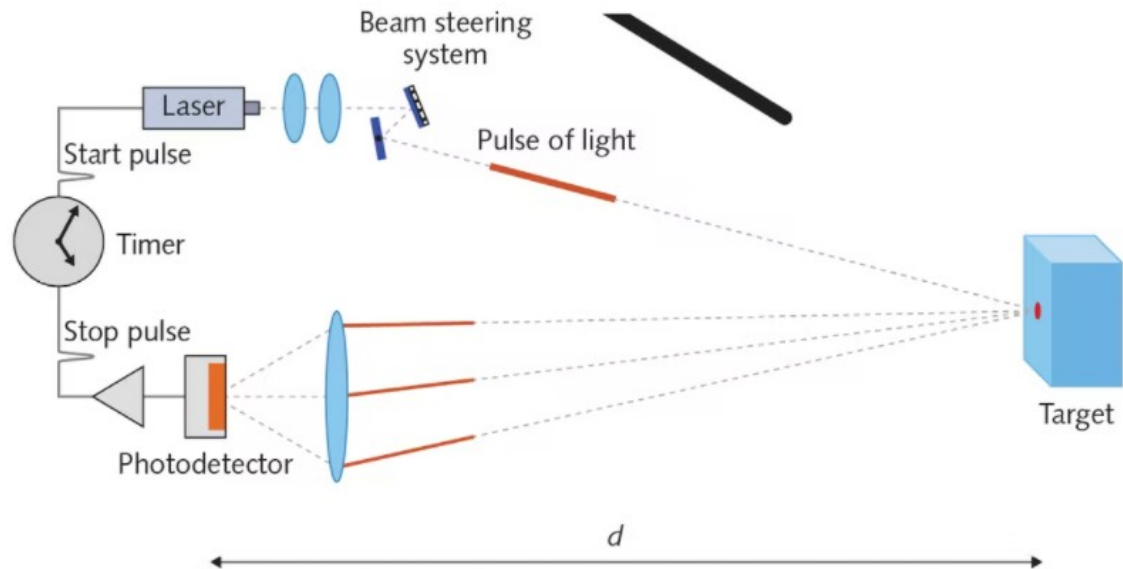
2.3.1 Valotutka

Yleisemmin käytetään englannin kielistä lyhennettä (LiDAR), joka tulee sanoista, engl. Light Detection and Ranging, suomeksi valontunnistus ja etäisyys. Tämä tekniikka on kehitetty alun perin avaruus- ja ilmailualan koneisiin jo 1970-luvulla. (Vargas, Alsweiss, Toker, Razdan & Santos 2021, 5.) Tällä tekniikalla paikallistetaan ja mitataan ympäröivien kohteiden matkaa ajoneuvon ympäristössä (Leitner, Watzenig & Ibanez-Guzman 2019, 137).

Tekniikka perustuu laserdiodin infrapunavalopulssin lähetykseen ja sen ajanmittaamiseen, sen osuessa kohteeseen ja heijastuessaan takaisin vastaanottimelle. Tätä kuvataan lentoajalla, engl. Time-of-Flight (ToF). Valotutka lähettää valopulssin, jolla on määrätty kesto t . Samaan aikaan käynnistyy ajoituspiirin kello. Ajoituspiirin kello pysähtyy vasta, kun heijastunut valopulssi palaa vastaanottimelle ja antaa siitä sähköisen impulssin ajoituspiirille. Valopulssin kulkemaan aikaan perustuen voidaan mitata edestakainen kuljettu aikamatka ToF Δt . Määrittää siitä edelleen etäisyys d kohteeseen, (kaava 1) d on

$$d = \frac{1}{2} c \Delta t \quad (1)$$

jossa c tarkoittaa valon nopeutta väliaineessa, jossa mittaus tapahtuu. Kuviossa 4 näkyy valotutkan toimintaperiaate yksinkertaistetusti. (Piatek & Hergert 2020, 81.; Leitner, Watzenig & Ibanez-Guzman 2019, 137.; Vargas, Alsweiss, Toker, Razdan & Santos 2021, 5.)

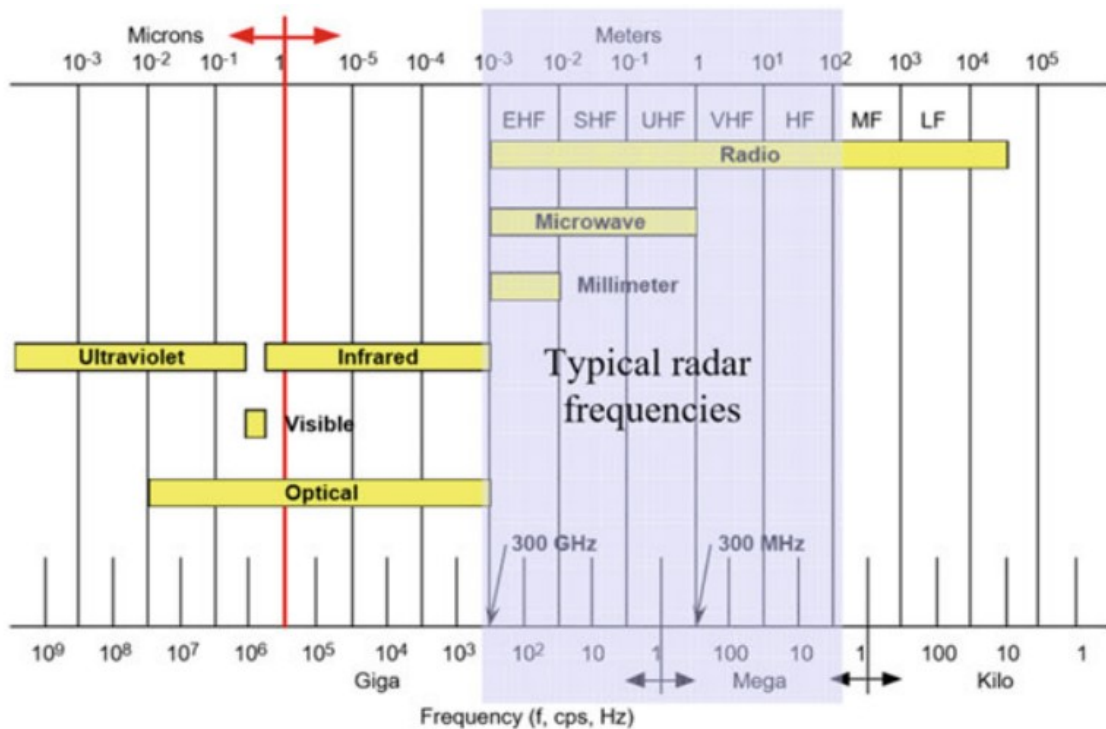


KUVIO 4. Valotutkan toimintaperiaate ajan mittaamiseen (Piatek & Hergert 2020, 81)

Valotutkia on saatavilla 3D:nä sekä pyörivinä 2D:nä. Valotutkat tarjoavat suuren tarkkuuden kohteiden tunnistuksessa suurella tiedonsiirtonopeudella, luoden rekonstruoidun 3D-pistepilven ympäristöstään. Valotutkien suurimmat haitat ovat niiden korkea hinta ja koko. Korkearesoluutioisen 3D-valotutkan hinta on korkea, mutta tulevaisuuden kehityksen myötä hintojen odotetaan laskevan. (Shruti, Meenakshi & Sudip 2020, 241.)

2.3.2 Tutka

Tutka, joka on englanniksi (Radar), joka puolestaan tulee sanoista, engl. Radio Detection And Ranging. Tutka pystyy havaitsemaan kohteita radioaaltojen avulla tietyllä alueella. AV-koneissa sekä -ajoneuvoissa on suuresti lisääntyneet millimetriaaltotutkat, engl. Millimeter Wave (MMW). Nämä tutkat toimivat taajuuksilla 24, 74, 77 ja 79 GHz, mutta millimetritutkat soveltuvat taajuusalueelle 30–300 GHz, aallonpituus on 1–10 mm. Tämä sähkömagneettinen aalto sijoittuu infrapuna- ja mikroaalto-taajuuskaistojen väliin. Kuviossa 5 on esitettyinä tyypilliset tutkan taajuusalueet Bi mukaan. (Vargas, Alsweiss, Toker, Razdan & Santos 2021, 4.; Bi 2021, 8, 17–18.)



KUVIO 5. Tyypilliset tutkan taajuusalueet (Bi 2021, 19)

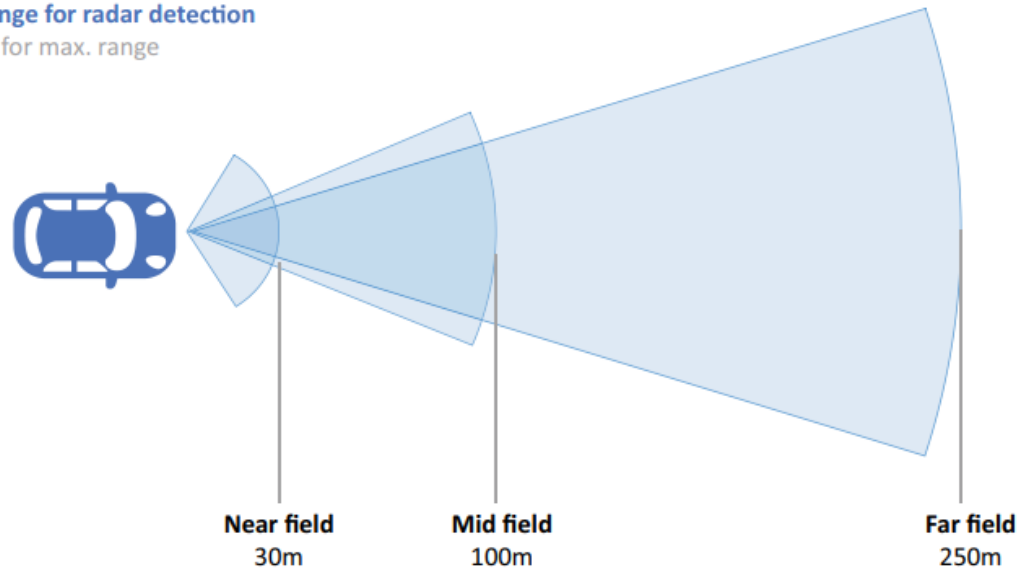
Esteiden sekä kappaleiden tunnistus perustuu millimetritutkan sähkömagneettisenaallon kokoaikaisen tai pulssimuotoisen aallon lähetykseen. Aallon osuessa esteeseen se hajoaa ja heijastuu kaikuna takaisin tutkalle. Tutkassa oleva antenni kerää signaalin talteen alueelta, engl. Field Of View (FOV), jota se tarkkailee. Tutkan lähettämän aallon nopeuden sekä sen edestakaisin kulkeman matkan ajan perusteella, voidaan määrittää tarkasti kohteen etäisyys ja sen nopeus tutkasta. (Vargas, Alsweiss, Toker, Razdan & Santos 2021, 4.; Bi 2021, 21.)

Millimetriaaltotutkat voidaan jakaa moniin erilaisiin kategorioihin. Ne voidaan jakaa muun muassa jatkuvan aallon tutkiksi tai pulssimaisen aallon tutkiksi tutkan toiminnan perusteella. Jatkuvan aallon tutka voidaan puolestaan vielä jakaa seuraaviin osiin. Vakiotaajuiseen jatkuvaan aaltoon, engl. Continuous Wave (CW), vaiheensiirtoavain, engl. Phase Shift Keying (PSK), taajuussiirtoavain, engl. Frequency Shift Keying (FSK) sekä taajuusmoduloituun jatkuvaan aaltoon, engl. Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW). Millimetritutkat voidaan jakaa myös eri käyttötarkoituksen mukaan; ilmailuun, veteen, avaruuteen ja ajoneuvoihin. Toinen tapa jaotella tutkia on niiden kantaman perusteella eri luokkiin; lyhyen kantaman tutkiin, engl. Short-Range Radar (SRR), keskipitkän kantaman tutkiin,

engl. Medium-Range Radar (MRR) ja pitkän kantaman tutkiin, engl. Long-Range Radar (LRR), kuvion 6 mukaan. (Bi 2021, 8, 17–18.)

Typical range for radar detection

Examples for max. range

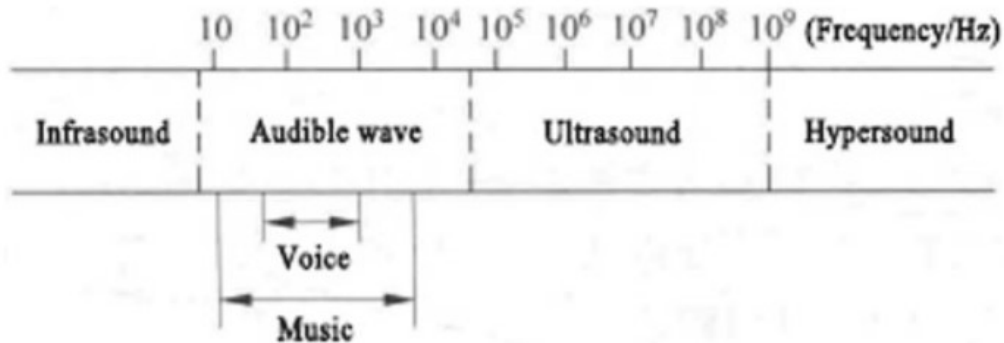


KUVIO 6. Tyypilliset tutkien tunnistuskantamat (Pimentel 2019, 108)

Millimetriaaltotutka-antureita käytetään ajoneuvoissa hyödyksi monissa automaattisissa toiminnallisuuksissa. Esimerkiksi mukautuvassa vakionopeudensäätimessä käytetään pitkän matkan tutkaa tunnistamaan edessä jopa 300 m etäisyydeltä kohteita. Toki tutkan tunnistusalue on kapea. Pääasiassa sen onkin vain tarkoitus pitää sopiva etäisyys edellä menevään kohteeseen. Etu- ja takatörmäyksenvaroitussysteemissä, engl. Front and Rear Collision Warning (F/RCW) -käytetään keskipitkän kantaman tutkaa MRR. Tällä voidaan varoittaa mahdollisista törmäyksistä edestä ja takaa. Tunnistusetäisyys on noin 100 m. Turvallisuuden takaamiseksi, törmäyksenvaroitustutkia on yleensä molemmin puolin autoa. Lyhyen kantaman tutkia SRR-käytetään kuolleen kulman tunnistusjärjestelmässä. Tämän tunnistusetäisyys on noin 10 m ja kaistanvaihtoavustinjärjestelmässä, jonka tunnistusetäisyys on hiukan pidempi, noin 30 m. Anturit asennetaan kuolleen kulman alueelle ajoneuvon jokaiseen kulmaan. Näiden molempien järjestelmien anturit palvelevat samaa käyttötarkoitusta, eli antureilla on tarkoitus antaa informaatioita alueesta, jota kuljettaja ei näe. (Bi 2021, 8, 60–62.)

2.3.3 Ultraäänianturit

Ihminen pystyy kuulemaan äänet, jotka ovat alueella 20 Hz–20 kHz. Ihmisen puheen taajuusalue on puolestaan noin 100 Hz–8 kHz. Alle 20 Hz ovat infraääniaaltoja. Yli 20kHz ääniaallot ovat ultraääniaaltoja. Näistä on havainnoiva kuvio 7. (Bi 2021, 153.) Autoteollisuudessa käytössä olevien anturien alueet tyypillisesti ovat 40 kHz – 70 kHz (Vargas, Alswiss, Toker, Razdan & Santos 2021, 6).

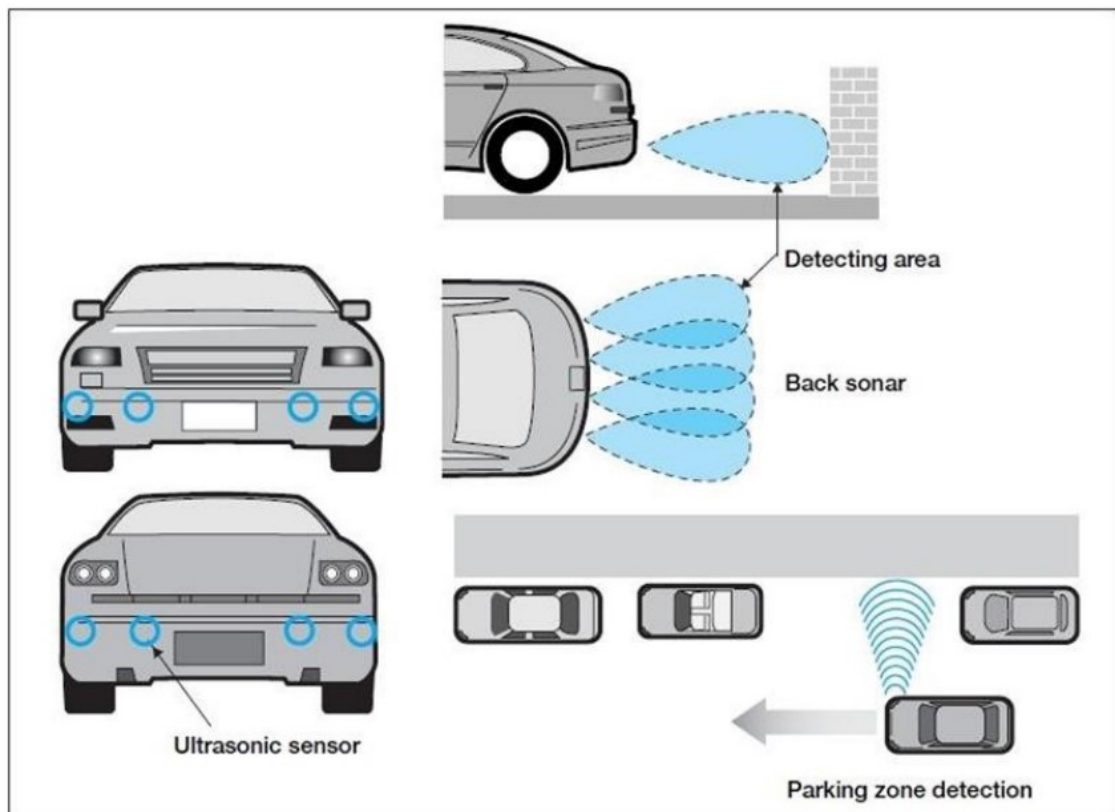


KUVIO 7. Taajuusjakauma ääniaalloista (Bi 2021, 153)

Ultraäänianturit ovat antureita, jotka muuntavat ultraäänisignaalin joksikin toiseksi energiasignaalksi ja yleensä tämä tarkoittaa sähköistä signaalia. Ultraäänien värähtelytaajuus on yli 20 kHz ja nämä akustiset aallot ovat mekaanisia aaltoja. Sille on ominaista korkea taajuus, lyhyt aallonpituus ja pieni diffraktioilmiö, hyvä suunnattavuus. Näitä voidaan käyttää sekä leveälle- että kapealle alueelle suunnattuina. (Bi 2021, 143.) Diffraktioilmiöllä tarkoitetaan yleisesti liikkuvan aallon poikkeamaa suoralta reitiltä. Tämä tapahtuu, kun aalto kuten valo tai ääni kulkee esteen ympäri tai aukon lävitse. (Appel 2021, 1353.) Ultraääni etenee hyvin nesteissä, kaasuissa ja kiinteissä aineissa. Ultraääniantureita käytetään paljon miehittämättömissä ajoneuvoissa. (Bi 2021, 143, 153.) Ultraäänianturit soveltuvatkin hyvin vaativiin oloihin, koska ne eivät ole lialle, pölylle, usvalle tai savulle kovin herkkiä (Vargas, Alswiss, Toker, Razdan & Santos 2021, 16).

Ultraääniantureita käytetään ajoneuvoissa esteiden tunnistamiseen lyhyellä etäisyydellä, liikuttaessa alhaisella nopeudella sekä pysäköintiavustustoiminnossa. Anturit havaitsevat lähiympäristössä kohteet ja hälyttävät niistä. Tyypillisesti ajoneuvoon on asennettuna 4–16-anturia, jotka takaavat riittävän peittoalueen ajo-

neuvon ympärillä. On olemassa yleisesti kahdentyyppisiä ultraäänitutkia, ensimmäinen, engl. Ultrasonic Park Assist (UPA). Tässä anturit on asennettu ajoneuvon puskureihin ja niitä käytetään yleisesti peruutustutkana. Tutka tunnistaa kohteet 15–250 cm etäisyydeltä. Toinen ultraäänitutka tyyppi on, engl. Automated Parking Assistance APA, jossa tunnistusetäisyys on hiukan pidempi 30–500 cm. Tätä käytetään kohteiden tunnistukseen ajoneuvon sivuilta muun muassa pysäköintiavustin toiminnossa, jossa se tunnistaa tyhjät parkkipaikat ajoneuvon sivulta, ultraäänianturilta saatuun informaatioon perustuen. Nämä anturit ovat hiukan tehokkaampia ja luonnollisesti hiukan myös kalliimpia. (Bi 2021, 8, 162–163.) Kuviossa 8 näkyy havainnollisesti ajoneuvon ultraääniantureiden yleiset asennuspaikat sekä tyhjän parkkipaikan tunnistus (Vargas, Alswiss, Toker, Razdan & Santos 2021, 7).



KUVIO 8. Ultraääniantureiden tyypilliset asennuspaikat (Vargas, Alswiss, Toker, Razdan & Santos 2021, 7)

Ultraäänianturi koostuu pääasiassa ohjausosasta, lähettimestä ja vastaanottimesta. Anturit voidaan jakaa niiden toimintaperiaatteen mukaan pietsosähköisiin-

, magnetrostriktiivisiin- ja sähkömagneettisiin-tyyppeihin. Näistä yleisin on pietsosähköiset anturit. Materiaaleina yleensä pietsosähköinen keramiikka ja pietsosähköiset kiteet. (Bi 2021, 154–155.)

2.3.4 Kamerat ja infrapunakamerat

Kameroiden ympäristön havainnointikyvystä ollaan kovasti riippuvaisia autonomisissa ajoneuvoissa. (Vargas, Alsweiss, Toker, Razdan & Santos 2021, 8). Autonomian SAE tasolta yksi lähtien melkein kaikissa sovellutuksissa on käytössä kamera. Kameralla pystytään havaitsemaan ympäristössä olevat ajoneuvot, esteet ja tiemerkinnot. (Mohammed, Amamou, Ayevide, Kelouwani, Agbossou & Zioui 2020, 17.)

Kamerat voidaan luokitella niiden toiminnon mukaan kolmeen päätyyppiin. Päätyypit ovat monokulaarinen, binokulaarinen eli stereo ja syväkamera eli RGB-D. Alla näkyvät havainnoivat kuvat kameratyypeistä kuviossa 9. (Bi 2021, 110–111.)

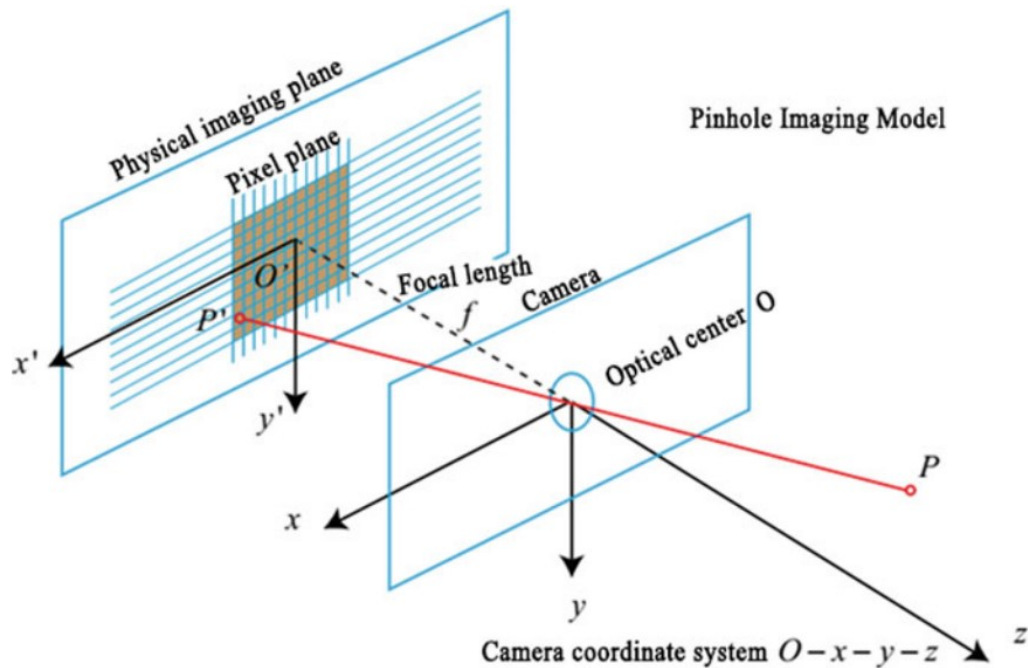


KUVIO 9. Luokittelu yleisesti käytössä olevista kameroista (Bi 2021, 111)

Monokulaarisella kameralla tarkoitetaan yhdellä kameralla varustettuja kameroita. Näitä käytetään seuraamaan sekä havaitsemaan että mittaamaan pitkittäisiä etäisyyksiä perustuen maisemageometriaan. Monokulaarisella kameralla on heikkoutensa. Suorien syvyysmittauksien puuttuessa otetuista kuvista syntyy

tästä syystä virheitä. (Mohammed, Amamou, Ayevide, Kelouwani, Agbossou & Zioui 2020, 18.)

Monokulaarisen kameran kuvausmallia pystytään vertaamaan neulanreikäkameramalliin, joka heijastaa kolmiulotteisen objektin kaksiulotteiselle kuvaustasolle, sekä hyödyntää lineaarista valonläpäisyä. Neulanreikäkameramallin pääkomponentit ovat; projektiokeskus eli optinen keskusta, optinen akseli sekä kuvataso. Kuviossa 10 on neulanreikäkuvausmalli esitettyinä. Siinä näkyy piste P kameran koordinaatiojärjestelmässä, joka kulkee aukon O lävitse projisoiden fyysiselle kuvaustasolle kuvapisteen P' . Kameran koordinaatistossa pisteen P koordinaatit ovat (x, y, z) ja fyysisessä kuvantamiskoordinaatistossa kuvapisteen P' koordinaatit ovat (x', y') . Näiden lisäksi koordinaatit pikselikoordinaattijärjestelmässä asetetaan muotoon (u, v) ja asetetaan polttoväli f etäisyydeksi fyysisestä kuvaustasosta aukkoon. (Bi 2021, 111–112.)



KUVIO 10. Neulanreikä kuvausmalli (Bi 2021, 111)

Stereokamera koostuu yleensä kahdesta monokulaarisesta kamerasta. Kameran voidaan sijoittaa toisiinsa nähden, joko vaakasuoralle linjalle tai pystysuoralle linjalle. Yleisemmin käytetty tapa on asettaa kamerat vaakasuoralle linjalle. Molempien kameroiden ollessa vaakasuorassa- tai pystysuorassa-linjassa toisistaan,

ovat kameroiden aukkojen keskipisteet samalla akselilla. Kameroiden keskinäinen etäisyys toisistaan tunnetaan myös stereokameran perusviivana. (Bi 2021, 113.) Perusviiva-, polttovälitietoa ja pikseleiden välistä eroa käytetään osana las-kutoimitusta, jolla selvitetään kohteiden etäisyydet kuvasta. (Yoo & Seo 2017, 249).

Kamerat pystytään luokittelemaan myös niiden sähkömagneettisen spektrin mukaan. Useimmat kamerat ovat ns. näkyvän valon spektrialueella kuvaavia kameroita. Näiden aallonpituus vaihtelee 400–780 nm, joka on sama, minkä ihminen pystyy havaitsemaan. Näitä kameratyyppejä ovat esimerkiksi monokulaarinen kamera ja stereokamera. Alhaiset kustannukset, korkea resoluutio ja kyky erottaa värejä on suurin syy näiden käytölle. Yhdistämällä kaksi kameraa ennalta määrätyllä polttovälillä mahdollistaa stereonäön. Tämä taas mahdollistaa 3D-mallin kuvantamisen ajoneuvon ympäristöstä. Syvyystarkkuus ei kuitenkaan ole stereoskoopisessa kamerajärjestelmässä samaa luokkaa, kuin aktiivisissa etäisyysmittauksissa kuten valotutkan sekä tutkan tapauksissa. (Vargas, Alsweiss, Toker, Razdan & Santos 2021, 8.)

Toinen kameratyyppi sähkömagneettisen spektrin mukaan on infrapunakamera, engl. Infrared (IR), joka toimii 780 nm – 1 mm -infrapuna-aallonpituudella. Infrapunakamerat voidaan jakaa eri ryhmiin; lähi-infrapunakameroihin, engl. Near InfraRed (NIR), joiden alue on 780 nm – 3 µm ja keski-infrapunakameroihin, engl. Mid InfraRed (MIR), joiden alue on 3–50 µm-aallonpituudella, joka tunnetaan myös lämpökamerana. Kolmantena ryhmänä ovat vielä kaukoinfrapunakamerat, engl. Far InfraRed (FIR). FIR toiminta alue on 25–1000 µm-aallonpituudella ja tämä tunnetaan myös lämpöinfrapunana. Infrapunakamerat eivät ole valaistukselle tai säälle niin herkkiä, kuin näkyvän ympäristön kuvaavat kamerat. Infrapuna-kameroita käytetäänkin tukemaan näkyvän ympäristön kuvaavia kameroita. Esimerkiksi tunneleiden uloskäynneissä sekä lämpimien objektien havaitsemiseen, kuten jalankulkijat ja eläimet. (Vargas, Alsweiss, Toker, Razdan & Santos 2021, 8.; Mohammed, Amamou, Ayevide, Kelouwani, Agbossou & Zioui 2020, 20.)

2.3.5 Maailmanlaajuinen satelliittinavigointijärjestelmä

GNSS on eniten käytössä oleva tekniikka tarkan sijaintitiedon tuottamiseen maan pinnalla. Tunnetuin näistä on Yhdysvaltojen omistama globaali paikannusjärjestelmä GPS. Tämä tarjoaa käyttäjille paikannus-, navigointi- ja ajoituspalvelut, engl. Positioning Navigation and Timing (PNT). Globaalista paikannusjärjestelmästä tuli osa maailmanlaajuista tietoinfrastruktuuria sen avoimuuden, ilmaisuuden ja luotettavuuden myötä. Se vaikuttaa kaikissa nykyajan elämän osa-alueissa. (Vargas, Alswiss, Toker, Razdan & Santos 2021, 3, 7.)

GNSS:n toimintaperiaate perustuu vastaanottimen kykyyn paikantaa vähintään neljä satelliittia ja kykyyn laskea jokaisen niiden etäisyys vastaanottimesta. Näitä tietoja vastaanotin puolestaan käyttää oman sijainnin tunnistukseen. Prosessi, jota tällöin käytetään on nimeltään trilateraatio. (Vargas, Alswiss, Toker, Razdan & Santos 2021, 7.) Trilateraatio tunnetaan menetelmänä, jolla määritetään kohteen paikka, perustuen kolmen tunnetun aseman sijainnin samanaikaiseen etäisyysmittaamiseen (Thomas & Ros 2005, 93).

GNSS-Järjestelmä kärsii kuitenkin monista virheistä, mitkä heikentävät sen tarkkuutta:

- Muun muassa tulee ajoitusvirheitä
- Virheitä tulee myös signaaliiviveiden syntyisestä niiden kulkiessa ionosfääriin ja troposfääriin lävitse
- Monitie-eteneminen, joka tarkoittaa signaalien saapumista vastaanottimelle useampaa reittiä, signaalien heijastuksien seurauksena ympäristöstä tai rakenteista (Souza & Negri 2017, 2537).
- Epävarmuustekijöistä satelliittien kiertoradoissa
(Vargas, Alswiss, Toker, Razdan & Santos 2021, 7.)

GPS-paikannusjärjestelmä

Globaali paikannusjärjestelmä muodostuu kolmesta kokonaisuudesta. Nämä ovat; avaruusosio, ohjausosio ja käyttäjäosio. GPS-avaruusosioon kuuluvat järjestelmässä käytettävät satelliitit. Bi (2021) mukaan satelliitteja olisi yhteensä 24, joista kolme on varasatelliitteja ja 21-työsatelliitteja. Satelliitit ovat jaettu kuudelle kiertoradalle, joiden kaltevuus on 55° ja satelliittien keskimääräinen kiertorata on

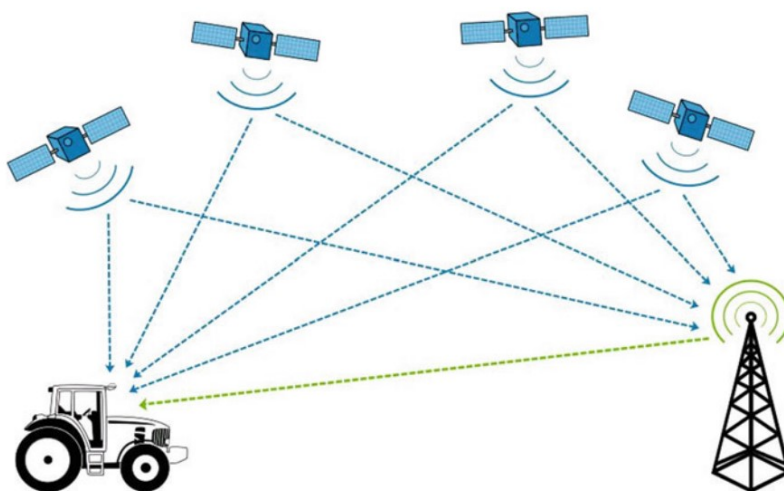
20200 km. Satelliittien päällimmäiset tehtävät ovat lähettää signaaleja paikannusta ja navigointia varten. (Bi 2021, 205.)

GPS-ohjausosioon kuuluvat yksi pääohjausasema sekä viisi valvonta-asemaa että kolme lähetysasemaa. Ohjausosion tehtävän on kontrolloida ja monitoroida näitä GPS-satelliitteja. Pääohjausasema ottaa vastaan kaikkien satelliittien tiedot jokaiselta valvonta-asemalta, laskee niiden eferemedi- ja kellokorjaus-parametrit. Eferemediparametrit ovat tietue, joka sisältää tiedot satelliittien arvioituista paikoista. (Ogaja 2011, 9). Tämän jälkeen pääohjausasema lähettää tiedot satelliiteille lähetysaseman kautta takaisin. Ohjausosio huolehtii siitä, että GPS-satelliitit toimivat asianmukaisesti ja ottaa tarvittaessa varasatelliitteja käyttöön. (Bi 2021, 206.)

GPS-käyttäjäosioon kuuluvat kaikki käyttäjälaitteistot. Eli kaikki laitteistot, joissa on GPS-vastaanotin, joka koostuu GPS-sirusta, joita on esimerkiksi GPS-navigaattorissa ja GPS-mittauslaitteessa. (Bi 2021, 206.)

Differentiaalinen GPS-paikannustekniikka

Tarkkuuden parantamiseen käytetään yleensä differentiaalista GPS-tekniikkaa, joka parantaa paikannustarkkuutta huomattavasti verrattuna paikannukseen yhdellä pisteellä. Tästä havainnoiva kuvio 11. (Bi 2021, 209.)



KUVIO 11. Differentiaalinen GPS-paikannus (Bi 2021, 210)

Tällä menetelmällä voidaan poistaa yhteisiä virheitä monille vastaanottimille, mukaan lukien satelliittikellovirheet ja efemeridivirheet. Menetelmä voi poistaa

useimmat ionosfäärin ja troposfääristä johtuvat viivevirheet. Tämä tekniikka parantaa paikannustarkkuutta huomattavasti verrattuna paikannukseen yhdellä pisteellä. GPS-referenssiaseman erilaisten tiedonsiirtotapojen mukaan, voidaan differentiaalinen GPS-paikannusmenetelmä jakaa kolmeen kategoriaan; paikkadifferentiaali, näennäisetäisyysdifferentiaali ja kantoaallon vaihe-ero. (Bi 2021, 209.)

Paikkadifferentiaali

Paikkatiedon eron määrittäminen edellyttää, että mobiiliasema ja tukiasema tarkkailevat täsmälleen samaa satelliittijoukkoa. Sijainnin korjausnumero määrittyy, kun tukiaseman vastaanotin tarkkailee GPS-satelliittia, määritelläkseen aseman koordinaatit. Korjausnumero tulee tarkkailun tuloksena havaittujen aseman koordinaattien ja tunnettujen koordinaattien erona. Korjausnumerolla tässä siis korjataan virhettä. Tämä metodi on yksinkertaisin kaikille GPS-vastaanottimille. (Bi 2021, 209.)

Näennäisetäisyysdifferentiaali

Tässä korjausnumerolla viitataan etäisyyden korjausnumeroon. Menetelmä käyttää vertailuaseman koordinaatteja ja satelliitin paikkatietoa (efemeridia), laskeakseen aseman ja satelliittien välisen etäisyyden. Havaintoetäisyys vähennetään lasketusta etäisyydestä ja tästä saadaan etäisyyden korjausnumero. (Bi 2021, 209.)

Kantoaallon vaihe-ero

Tämä tunnetaan myös reaaliaikaisena kinemaattisena paikannuksena, engl. Real-Time Kinematic (RTK). Tekniikka perustuu kahden aseman kantoaaltovaiheen reaaliaikaiseen käsittelyyn. Se pystyy tarjoamaan 3D-koordinaatteja asemasta reaaliajassa senttimetrin tarkkuudella. (Bi 2021, 209.)

2.3.6 V2X kommunikointi

Engl. Vehicle-to-Everything (V2X) -tarkoittaa viestintää ja tiedonsiirtoa, minkä tahansa kohteen kanssa, mikä on vaikutuksissa ajoneuvon kanssa, tai päinvastoin.

On olemassa neljä erilaista viestintätyyppiä. Ajoneuvosta ajoneuvoon, engl. Vehicle-to-Vehicle (V2V), ajoneuvosta infrastruktuuriin, engl. Vehicle-to-Infrastructure (V2I), ajoneuvosta jalankulkijaan, engl. Vehicle-to-Person (V2P) ja ajoneuvosta verkkoon, engl. Vehicle-to-Network (V2N). V2X-koostuu lähetinvastaanottimista, joita on asennettuina ajoneuvoihin, tieinfraan, jälkimarkkinalaitteisiin tai muihin mobiililaitteisiin, kuten älypuhelimiin. V2X on suunniteltu tarjoamaan lisätietoja ympäröivällä alueella olevista ajoneuvoista, antureista, laitteista ja muista sidosryhmistä toisilleen. Tämä tekniikka mahdollistaa entistä turvallisemmat autonomiset ja automatisoidut ajoneuvot, antamalla ajoneuvoille entistä paremman havainnointikyvyn ympäristöstään. Välttämättömiä asioita V2X viestinnässä ovat suorituskyky, luotettavuus, turvallisuus ja yksityisyyden suojaaminen. (Mueck & Karls 2018, 8–9.) Pää tavoitteet tälle V2X on vähentää onnettomuuksia ja ennen kaikkea kuolemaan johtavia onnettomuuksia varoittamalla kuljettajia vaaroista, joita ajoneuvon laitteisto ei kykene havaitsemaan (Mueck & Karls 2018, 6).

2.4 Autonomisten ajoneuvojen ja työkoneiden kyberturvallisuus

Autonomisten ajoneuvojen sekä automaatiota enemmän hyväksikäyttävien työkoneiden määrän lisääntyessä merkittävästi, tulee kyberturvallisuudesta yhä merkittävämpi asia. Ovathan ajoneuvot kyberyhteydessä verkkoon. Tämä altistaa ajoneuvot ja liikkuvat työkoneet merkittäville kyberhyökkäysriskeille. Lisääntyvän kyberyhteyden odotetaan kuitenkin parantavan ajoneuvojen viestintä-, ohjaus- ja diagnostiikkatoimintoja. Nämä puolestaan parantavat järjestelmä-, ajoneuvotason toimintaa ja liikkuvuuden hallintaa. (Zou, Pooria & Julie 2021, 138.)

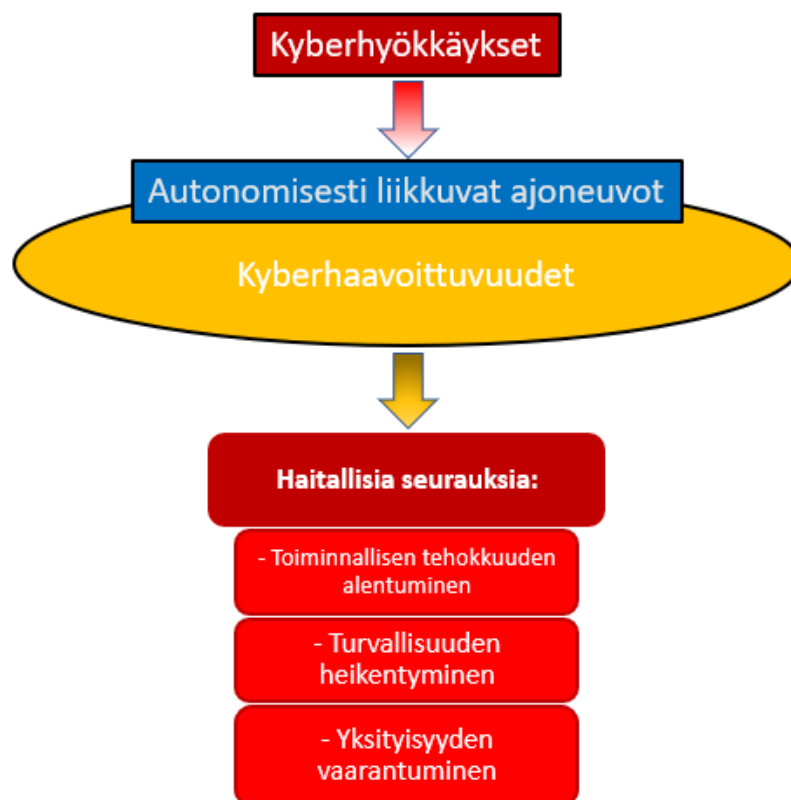
Kyberhyökkääjät hyödyntävät autonomisten ajoneuvojen haavoittuvuuksia, joita löytyy sekä ajoneuvo- että järjestelmätasolla. Autonomisissa ajoneuvoissa on huomattava määrä rajapintoja ja viestintäverkkoja verrattuna perinteisiin ajoneuvoihin. Nämä mahdollistavat suuremman riskin kyberhaavoittuvuudelle ajoneuvotasolla. (Zou, Pooria & Julie 2021, 141.)

Kyberhaavoittuvuudet järjestelmätasolla taas voivat johtua seuraavista seikoista:

- Ensiksikin se voi johtua riittämättömistä järjestelmistä tietojen käytön hallintaan, autonomisen liikkumisjärjestelmän, ulkoisen ympäristön välillä ja autonomisen liikkumisjärjestelmän sisällä
- Toisena haavoittuvuutena voi olla kyberkomponenttitoimittajien ja autonomisten ajoneuvovalmistajien välillä oleva koordinoinnin puute
- Kolmantena haavoittuvuutena voi olla se, että mobiilipalvelujen tarjoajat ja autonomisten liikkumisjärjestelmien kehittäjät eivät kiinnitä riittävästi huomiota kyberturvallisuusongelmiin

(Zou, Pooria & Julie 2021, 141–142).

Kuviossa 12 on esitetty, mitä haitallisia seurauksia voi olla kyberhyökkäysten ja kyberhaavoittuvuuksien suhteella (Zou, Pooria & Julie 2021, 142).



KUVIO 12. Kyberhyökkäykset haavoittuvuudet ja seuraukset (Zou, Pooria & Julie 2021, 142, muokattu, Vepsäläinen)

On olemassa monen tyyppisiä kyberhyökkäyksiä, jotka on suunnattu autonomisiin ajoneuvojärjestelmiin (Zou, Pooria & Julie 2021, 142). Zou, Pooria & Julie

(2021) luokittelevat joukon mahdollisia kyberhyökkäyksiä autonomisissa ajoneuvojärjestelmissä kahden kriteerin perusteella. Näistä ensimmäisessä tarkastellaan, onko hyökkäys todennäköisempi yksittäiselle autonomiselle ajoneuvolle, eli niin sanotusti ajoneuvotasolle vaiko järjestelmätasolle. Hyökkäykset kohdistuvat ajoneuvotasolla toimintoihin sekä laitteisiin kuten tutkalaitteistoon, kameraan ja autonomisen ajoneuvon sisäiseen viestintään. Järjestelmätasolle tehtyt hyökkäykset kohdistuvat puolestaan seuraaville tasoille; ohjaus-, tunnistus- ja viestintäinfrastruktuuriin. Viestintäinfrastruktuuriin kuuluu esimerkiksi liikennevalot, langattomat internet-palvelimet ja tieanturit. Näiden kahden tason hyökkäyksien eroista on syytä tiedostaa seuraavat asiat. (Zou, Pooria & Julie 2021, 142.)

Ajoneuvotason hyökkäykset koskevat yleensä vain yksittäisiä autonomisia ajoneuvoja. Tällaisten hyökkäyksien samanaikaisesti tehty useampi määrä ei muodosta niistä välttämättä vielä järjestelmätason uhkaa. Koska hyökkäykset koskevat vain yksittäisiä autonomisia ajoneuvoja. Puolestaan järjestelmätason hyökkäykset kohdistuvat autonomisten ajoneuvojen toiminnan ja viestinnän tukevaan infrastruktuuriin. Kuviossa 13 on esitettyä muutamia ajoneuvotason kyberhyökkäyksiä. (Zou, Pooria & Julie 2021, 142–143.)

Ajoneuvotason hyökkäyksiä	
Aktiivisia	Kuvaus
Autonomisen ajoneuvon hallintaan otto	Hyökkääjällä täysi ajoneuvon hallinta, ohjaus, jarrujen käyttö, kyseessä erittäin vakava turvallisuusuhka. Hyökkääjä voi aiheuttaa erittäin vakavia seurauksia matkustajille ja ulkopuoliselle ympäristölle / henkilöille.
Autonomisen ajoneuvon antureiden deaktivointi	Koskee vain ajoneuvon antureita, on kuitenkin erittäin haitallinen, jos esimerkiksi ympäristön tunnistavat anturit kytkeytyvät pois päältä.
Tietojen suodattaminen / kopiointi	Hyökkääjä kopioi ja siirtää laittomasti autonomiseen ajoneuvoon tallennettuja tietoja. Tietoturvaloukkaus voi tapahtua etäsovelluksen tai autonomisen ajoneuvon fyysisen tukiaseman kautta.
Edellisten viestien uudelleen lähetykset	Tässä hyökkäyksessä hyökkääjä voi käyttää edellistä viestiä esimerkiksi onnettomuusvaroitusta ja toistaa sen uudelleen saadakseen autonomisen ajoneuvon tekemään halutunlaisen toiminnon, kuten jarrun painamisen.
Virheellisten tulosignaalien luonti	Hyökkääjän päästessä ajoneuvojen väliseen, taikka ajoneuvon ja infrastruktuurin välisiin tietoliikenneverkkoihin, hyökkääjällä on mahdollisuus huijata autonomista ajoneuvoa, generoimalla väärää prosessidataa, esimerkiksi lähettämällä onnettomuushälytyksen, aktivoidakseen ajoneuvon jarrupoljintoiminnon.
Viestien muokkaus	Hyökkääjä voi muokata viestejä autonomisten ajoneuvojen välillä tai ajoneuvon ja operaattorin välillä. Viestien muokkauksen yleisimmän käytetty tapa on väliintulohyökkäys. Muutoksilla voidaan viivästyttää lähetykset / vastaanottoaikaa.
Passiivisia	Kuvaus
Salakuuntelu	Ajoneuvon viestintä- ja liiketietoja siepataan autonomisen ajoneuvon dataliikenteestä. Hyökkääjät voivat käyttää saatua dataa aktiivisten hyökkäysten suunniteluun. Salakuuntelun havaitseminen on yleisesti ottaen vaikeaa havaita, koska siitä ei synny normaalia poikkeavaa tiedonsiirtoa.
Liikenneanalyysi	Hyvin samankaltainen kuin salakuuntelu, tämä ei vaikuta ajoneuvon normaaliin toimintaan. Hyökkääjä voi vaikuttaa tiedonvaihdon ominaisuuksiin vähentämällä niitä, kuten keston, kaistanleveyden ja ajoituksen, joita viestinnässä on hankala peitellä. Hyökkääjä voi vähennettyjen tietojen avulla suorittaa liikenneanalyysin, jonka avulla se voi tutkia autonomisen ajoneuvon verkkoa muihin haitallisiin tarkoituksiin.

KUVIO 13. Ajoneuvotason kyberhyökkäyksiä esitettyä (Zou, Pooria & Julie 2021, 143, muokattu, Vepsäläinen)

Toisessa kyberhyökkäyksen luokittelukriteerissä Zou, Pooria & Julie (2021), määrittelevät onko hyökkäys passiivinen vai aktiivinen. Passiiviset kyberhyökkäykset käyttävät häiritsemättömiä ja peiteltyjä menetelmiä. Näiden seurauksena ei tule välittömiä haitallisia seuraamuksia toimintojen ja viestinnän suhteen autonomisessa järjestelmässä. Passiiviset hyökkäykset liittyvät yleensä autonomisen ajoneuvon tietojen keräykseen viestinnästä ja toiminnoista. Nämä eivät välttämättä kiinnitä edes huomioita autonomisen järjestelmän ylläpidossa. Sitä vastoin aktiivinen kyberhyökkäys on erittäin aggressiivinen ja ilkeä. Aktiivinen hyökkäys yrittää muuttaa autonomisen ajoneuvon laitteiden sekä toimintaa että viestintää negatiivisesti. Autonomisen ajoneuvon järjestelmän ylläpidossa nämä onnistuneet aktiiviset hyökkäykset pystytään tunnistamaan ja reagoimaan välittömästi. (Zou, Pooria & Julie 2021, 142.) Televiestinnän standardointisektori, engl. International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization Sector (ITU-T), kansainvälisessä televiestintäliitossa, engl. International Telecommunication Union (ITU) -määrittelee passiivisen ja aktiivisen kyberhyökkäyksen dokumentissa X.800:ssa seuraavasti: Passiivinen hyökkäys yrittää hyödyntää tai oppia tietoja järjestelmästä, mutta sillä ei ole vaikutusta järjestelmän resursseihin. Aktiivinen hyökkäys puolestaan yrittää vaikuttaa järjestelmän toimintaan tai muuttaa sen resursseja. (Yağdereli, Gemci & Aktaş 2015, 373.)

2.5 Verkostojen tärkeys autonomisten järjestelmien kehittämisessä

Monimutkikkaiden autonomisten järjestelmien kehittäminen vaatii lujaa tietämystä kohdeprosessista. Tämä taas vaatii hyvää keskinäistä kommunikaatiota, komponentti-, järjestelmätoimittajien ja asiakkaiden välillä. Siirryttäessä autonomisuuteen, täydentävien innovaatioiden rooli voi olla ratkaiseva tekijä systeemisissä muutoksissa. Tämän takia yritykset muodostavatkin innovaatioekosysteemejä. (Martinsuo, Hellström, Asikainen, Kohtamäki, Pyykkö, Saurama, Suominen, Töytäri & Valjakka 2020, 15.)

Innovaatioekosysteemi käsitteenä on läheisesti liitoksissa avautuvaan tutkimus-, kehittämis- ja innovaatiotoimintaan (TKI). Tällä käsitteellä kuvataan eri toimijoiden välille syntyviä keskinäisriippuvuuksia. Eri toimijoilla tarkoitetaan julkishallintoa, yrityksiä, yrittäjiä ja tutkimusorganisaatioita. Tavoitteena on kehittämistyön

vaikuttavuuden lisääminen ja lisäarvon kasvattaminen eri osapuolille. (Nordling 2020, 9.)

Toiminnan täytyykin olla hyvin koordinoitua ja linjattua, jotta kaikki osapuolet, joista muutos on kiinni, pääsevät hyötymään tehtyjen muutoksien tuloksista. Autonomiset järjestelmät, varsinkin liikennekäyttöön tarkoitetut, vaativat institutionaalisia muutoksia, kuten lakimuutoksia ja hyväksyntää asiakastoimialoilla. Näiden muutosten läpiviemiseksi voidaan vaatia sitä, että kilpailevat järjestelmätoimittajat tekevät yhteistyötä. (Martinsuo, Hellström, Asikainen, Kohtamäki, Pyykkö, Saurama, Suominen, Töytäri & Valjakka 2020, 15.)

Tekoälysovelluksien määrän ja niiden käytön kasvuun on reagoitu eri maiden hallituksissa. Huomiotta eivät ole jääneet myöskään ennusteet tulevaisuuden hyödyistä, joita tekoälysovellukset mahdollisesti tarjoavat yhteiskunnalle. Euroopan komissio julkaisi 2018 tekoälyä koskevan tiedonantonsa, jolla on tarkoitus motivoida jäsenvaltioitaan laatimaan tekoälyä koskevia strategioita. Tekoälystrategiat ympäri maailman hyödyntävät yleistä mallia. Tämä koskee tekoäly- ja robotiikkaympäristön toimijoita. Nämä tarvitsevat infrastruktuurin, datan, henkilökunnan tukea sekä rahoitusta ja informaatiota luodakseen toimivan ympäristön tekoäly, engl. Artificial Intelligence (AI)-ratkaisuille. Tavoite on luoda tekoälyratkaisuja, käytäntöjä ja parempaa vertailua toimijoiden välillä, eli niin sanottua ”Benchmarkingia” toimialalle. Tukeakseen tätä hallitusten strategiat kohdistuvat erilaisiin prosesseihin. Näihin kuuluu muun muassa yhteistyö toimijoiden välillä, tutkimuksen huippuosaamisen parantaminen, tuki henkilöstön kouluttamiseen ja sääntelyyn. Näiden lisäksi useissa strategioissa painotetaan yksityiskohtaisemman yhteiskunnallisen keskustelun ja eettisten näkökulmien tuomista tekoälyyn. (Bartneck, Lütge, Wagner & Welsh 2021, 101–102.)

On olemassa maailmanlaajuisesti erilaisia lähestymistapoja pitkälle automatisoitujen ajoneuvojen testaamiseen. Jollakin tasolla eri maiden nähdään kilpailevan toistensa kanssa suosituimpien testausmahdollisuuksien luomisesta, houkutelakseen investointeja alueilleen. Kansallisella tasolla nämä erilaiset toimet kuitenkin tulisi yhdistää yhdeksi vahvaksi kansainväliseksi yhteistyöksi. Näin voitaisiin hyödyntää kasvava asiantuntemus sekä osaaminen parhaalla mahdollisella tavalla. Luoda hyvä pohja sujuvammalle maailmanlaajuiselle prosessille, pitkälle

automatisoitujen ajoneuvojen saattamiseksi markkinoille. (Frisoni, Dall'Oglio, Nelson, Long, Vollath, Ranghetti & McMinimy 2016, 94.)

2.6 Autonomisien koneiden ja laitteiden hyödyt, haasteet sekä riskit

On nähtävissä, että automaatio toimii yhtenä avainteknologioista. Se vaikuttaa elämänlaatuamme, liikennemuotoihin ja liikkuvuuteen kestävästi tulevaisuudessa. Automaatio tulee muokkaamaan yhteiskuntaamme merkittävästi. Automaatiolta on odotettavissa monia vaihtelevia etuja. Tällaisia ovat muun muassa onnettomuuksien väheneminen sekä tehokkaampi rahdin, tavaroiden ja ihmisten kuljettaminen. Muita etuja on odotettavissa multimodaalisen kuljetuksen tehokkuuden paranemiseen, ajoneuvojen sekä teiden parempaan käyttöön ja sosiaaliseseen osallisuuteen liittyviä etuja. Multimodaalisella kuljetuksella tarkoitetaan erilaisten kuljetusvälineiden yhdistämistä yhdeksi rahtitoimeksiannoksi. (Leitner, Watzenig & Ibanez-Guzman 2019, 7.)

Anturiteknologia on parantunut valtavasti ja laskennan, tietokonenäön, koneoppimisen datafuusiotekniikan ja järjestelmätekniikan suorituskyvyt ovat kohonneet merkittävästi. Näistäkin huolimatta, täysin automatisoidun ja valvomattomassa rakenteellisessa ympäristössä ajavan ajoneuvon saattaminen markkinoille tulee viemään vielä pitkän aikaa. Daniel Watzenig (2019) mukaan automatisoitujen ajoneuvojen on oltava huomattavasti turvallisempia ja luotettavampia, kuin mitä nykyinen ajamisen perustaso on, jotta kuljettajat ja muut sidosryhmät hyväksyisivät ne. (Leitner, Watzenig & Ibanez-Guzman 2019, 7.)

Tarvitaan vielä huomattavia parannuksia autonomisissa ajoneuvoissa, jotta ne pystyisivät toimimaan luotettavasti sekalaisessa kaupunkiliikenteessä. Lumi, rankkasade sekä päällystämättömät- että kartoittamattomat tiet ovat haaste, langattomien palvelujen ollessa vielä epäluotettavalla tasolla. Useimmilla lainsäädäntöalueilla vaaditaan useiden vuosien testaus ja viranomaishyväksyntä, ennen niiden kaupallista saatavuutta. (Litman 2022, 39.)

Todd Litman (2022) mukaan monet ovat miettineet kuinka nopeasti autonomiset ajoneuvot tulevat auttamaan ja ratkaisemaan kuljetukseen liittyviä ongelmia. Optimisesti ajattelevat tahot ennustavat, että jo vuonna 2030, olisivat autonomiset ajoneuvot riittävän luotettavia. Ne olisivat myös riittävän edullisia syrjäyttämään ihmiskuljettajan tarpeen suurimmassa osassa ajoneuvoista, mikä toisi mukanaan valtavasti etuja ja säästöjä. On hyvä tiedostaa, että niillä henkilöillä, joilla on taloudellisia etuja alalla, on yleensä myös optimisimmat ennusteet. Näiden tahojen kokemukset voivat olla muilta teknologian aloilta, kuten älypuhelimista, tietokoneista ja digitaalikameroista. Nämä tahot voivat liioitella tulevia etuja ja voivat jättää huomioimatta merkityksellisiä esteitä autonomisten ajoneuvojen kehittämisessä. (Litman 2022, 39.)

Automatisoinnin lisääntyminen ja järjestelmien monimutkaistuminen, kasvattavat eksponentiaalisesti kehityksen ja tilanteesta riippuvan testauksen tarvetta. Normaalit totut menetelmät eivät enää tule riittämään. Validointityökalut ja -prosessit, joilla aikaisemmin tehtiin testauksia, eivät enää riitä testaamaan erittäin vuorovaikutteisia ajoneuvo toimintoja. Näiden toimintojen on oltava lujia monimutkaisissa liikennetilanteissa, kehittyvissä tilanteissa ja epäotollisissa sääolosuhteissa. (Leitner, Watzenig & Ibanez-Guzman 2019, 8.)

Tämän hetken automaattisten työkoneiden ratkaisuja

Automaation lisääntyessä ja laajentuessa eri toimialueille, ovat myös työkonevalmistajat käyneet tekemään omia kokeiluitaan parhaiden automaattisten ratkaisuiden saattamisessa markkinoille. Näistä muutamia esimerkkejä alapuolella.

Muun muassa maanviljelykseen työkoneita valmistava John Deere on julkaissut uuden täysin autonomisen traktorin (kuva 1). Tässä täysin autonomisella traktorilla tarkoitetaan sen kykenevän tekemään peltotyöt autonomisesti ilman kuljettajaa. Tämä tarkoittaa siis, että edelleen jonkun on vietävä traktori peltoalueelle. Maanviljelijä voi tarkkailla työn kulkua sovelluksella etäyhteyden avulla, muokata koneen nopeutta, maanmuokkauksen syvyyttä ja muita tähän liittyviä toimintoja. (John Deere 2022.) Tämä ratkaisu on edistysaskel automaation lisäämiseksi liikkuviin työkoneisiin. Autonomisten traktoreiden hyödyntämisessä suurilla peltoalueilla, tämä voi olla hyvinkin toimiva ratkaisu.



KUVA 1. John Deere, autonominen traktori tekemässä peltotöitä (John Deere 2022)

Traktori käyttää GPS:ää ja muita edistyneitä tekniikoita hyödykseen. Traktorissa on yhteensä kuusi paria stereokameroita, jotka tarjoavat työkoneelle 360-asteen näkyvyyden sen ympärille, havainnoiden mahdolliset esteet ja mahdollistaen niiden tarkan paikan laskennan. Järjestelmä tarkkailee kameroiden ottamia kuvia 100 ms nopeudella. Näillä määritellään koneen seuraavat liikkeet, pitääkö pysähtyä, onko edessä jokin este vai voidaanko jatkaa. Työkone valvoo omaa sijaintiaan jatkuvasti, se vertaa omaa paikkaansa tuuman tarkkuudella asetettuun alue-rajaa nähden. (John Deere 2022.)

Sandvik on esitellyt viimeisintä tekniikkaa käyttävän akkukäyttöisen maanalaisen AutoMine® Concept -porauslaitteen 2022, kuviossa 14. Tämä kaivosjumbo toimii suunnannäyttäjänä autonomisessa kaivostoiminnassa. Työkone kykenee poraamaan täysin autonomisesti ilman kuljettajaa. Se on varustettu kahdella puomilla ja on tarkoitettu kaivosperänporauslaitteeksi. Järjestelmä kykenee sekä suunnittelemaan että toteuttamaan poraustehtävän seuraavasti: Porauslaite ajaa ja asemoituu porauskohteeseen itsenäisesti, poraa suunnitellut reiät ja palaa latauspisteelle odottamaan seuraavaa tehtävää. (Sandvik, Rocktechnology.sandvik 2022.)



KUVIO 14. Porauslaite kaivosjumbo (Sandvik, Rocktechnology.sandvik 2022)

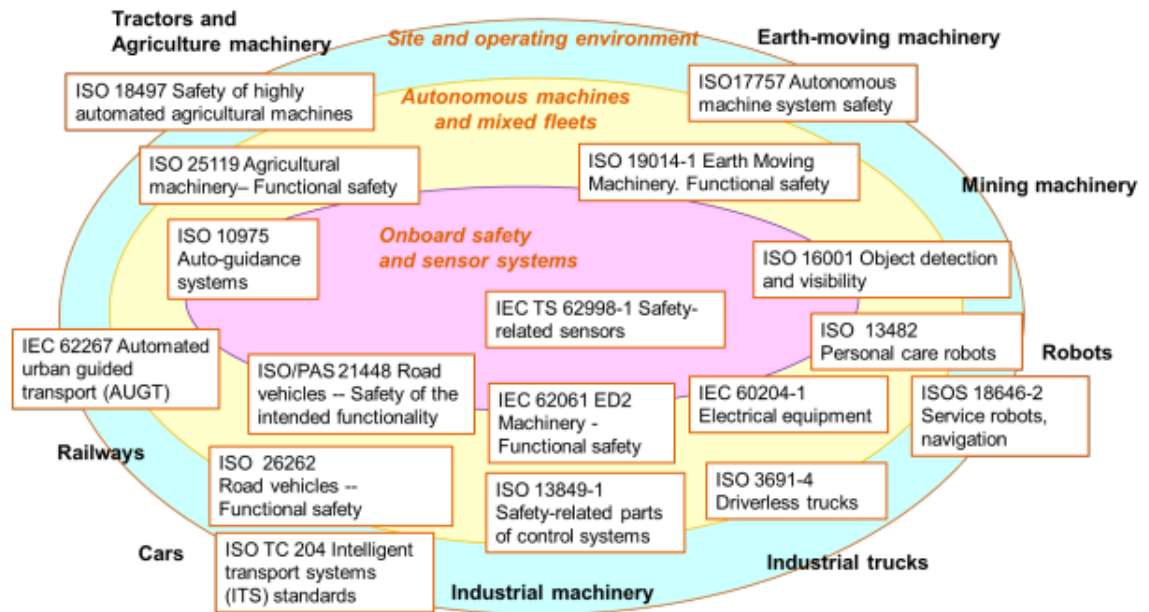
Tässä porauskoneessa ei ole ohjaamoakaan ollenkaan ja se taas jättää tilaa muille komponenteille, kuten akustolle sekä vesisäiliölle. Työkone optimoi sähkönkulutusta ja poraustehoa. Tällä pyritään maksimoimaan akkujen kestoa. Työkone hyödyntää olemassa olevia kaivoksen 3D-malleja, joita tehdään automaattisesti kartoitustulosten perusteella. Kaivoksen 3D-mallia pystytään myös päivittämään sekä optimoimaan reaaliaikaisesti työkoneessa olevien skannereiden ja kameroiden muodostaman tiedon perusteella. Työkoneessa on esillä viimeisimpiä älykkäitä teknologisia automaattioratkaisuja, joita on mahdollista ottaa käyttöön nykyisissä ja tulevaisuudessa työkoneissa. Tätä kyseistä porauslaitetta ei ole tarkoitus tuoda markkinoille sellaisenaan. Sitä tullaan käyttämään mahdollisena kehitysalustana asiakkaiden tuomien tärkeiden teknologioiden kehityksessä ja testauksessa. (Sandvik, Rocktechnology.sandvik 2022.)

3 LIIKKUVIEN KONEIDEN DIREKTIIVEJÄ JA STANDARDEJA

Automaattisiin ajojärjestelmiin liittyviä standardeja kehittävät pääasiassa seuraavat organisaatiot:

- Kansainvälinen standardointijärjestö, engl. International Organization for Standardization (ISO), joka koostuu standardointimaiden verkosta, kukin osakas edustaa ISO-standardointia omassa maassaan
- Euroopan unionin tunnustama eurooppalainen telealan standardisoimisjärjestö, engl. European Telecommunications Standards Institute (ETSI)
- Yhdysvaltalainen ammatillinen autoalan standardisointijärjestö, engl. Society of Automotive Engineers (SAE), joka on keskittynyt moniin eri kuljetusaloihin kuten ilmailu-, auto- ja hyötyajoneuvoihin (Watzenig & Horn 2017, 30.)
- Euroopan standardointikomitea, engl. European Committee for Standardization / ransk. Comité Européen de Normalisation (CEN), joka yhdistää 34 eri Euroopan maan standardintielimet (Watzenig & Horn 2017, 30; European Committee for Standardization (CEN) / About CEN. n.d.).
- Maailman suurin tekninen ammattiyhdistys sähkö- ja elektroniikkainsinöörin instituutti, engl. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), joka on Yhdysvalloissa (Watzenig & Horn 2017, 31).

Teknologisen edistymisen lisäksi on edistystä saavutettu säännösten ja ohjeistuksien laatimisessa. Useiden osavaltioiden ja liittovaltion hallituksissa Euroopassa, Aasiassa ja Yhdysvalloissa, jotka valmistelevat itseohjautuvien autojen ottamista käyttöön. (Leitner, Watzenig & Ibanez-Guzman 2019, 7.) Automatisoidut liikkuvat ajoneuvot ja työkoneet kehittyvät vauhdilla kohti autonomisia toimintoja monilla teollisuudenaloilla. Yleisellä tasolla standardit ovat tehty enimmäkseen konevalmistajille. Näkemyksiä tai vastuita työmaatasolta näissä ei huomioida. (Tiusanen, Malm & Ronkainen 2020, 665.) Alapuolella kuviossa 15 tarkastelussa on eri toimialueille sijoittuvia ISO- / IEC-standardeja autonomissa koneissa (Tiusanen, Malm & Ronkainen 2020, 667).



KUVIO 15. Katsaus tämän hetken ISO- / IEC-standardeista autonomisissa koneissa eri toimialueilla (Tiusanen, Malm & Ronkainen 2020, 667)

3.1 Euroopan parlamentin ja neuvoston konedirektiivi 2006/42/EY

2006/42/EY konedirektiiviin kuuluvat koneet, osittain valmiit koneet ja määritelmän mukaan myös nostotarvikkeet sekä turvakomponentit (Jespen 2016, 29).

Vaatimustenmukaisuustodistuksen ja koneen mukana tulevat, turvallista käyttöä koskevien ohjeiden on oltava asianmukaiset. Asiakirjat on oltava kirjoitettuna yhdellä tai useammalla Euroopan unionin virallisella kielellä, ja osoituksena siitä, että valmistaja on tarkistanut versiot, on niistä löydyttävä sana ”alkuperäinen”. Käännettäessä näitä asiakirjoja valmistajan, tai hänen edustajansa, taikka jonkun muun henkilön toimesta tuodessa eri kielialueelle, on käännöksessä oltava sanat ”alkuperäinen käännös”. (Jespen 2016, 29.)

Koneen mukana tulevien asiakirjojen täytyy olla sen jäsenvaltion virallisella kielellä, jossa kone tuodaan markkinoille ja / taikka otetaan käyttöön. Käytettäessä käännettyjä asiakirjoja tämän vaatimuksen kattamiseen on liitettävä alkuperäiset asiakirjat mukaan. (Jespen 2016, 29.)

3.2 Toiminnallinen turvallisuus EN 62061

Tämä standardi on tarkoitettu ensisijaisesti monimutkaisten koneiden sekä laitojen kehittäjille ja valmistajille. Eli toimijoille, joilla on käytössä ohjelmoitavia ohjaimia ja turvatoimintoja varten olevia kenttäväyläverkkoja. Se on tarkoitettu myös olennaisille sovellusohjelmistojen kehittäjille ja standardin EN 61508 mukaisesti kehitettyjen monimutkaisten ohjelmoitavien turvajärjestelmien käyttäjille. (Jespen 2016, 115.)

Standardin yksi keskeisimmistä lausekkeista on lauseke neljä. Lausekkeessa edellytetään toiminnallisen turvallisuuden suunnitelmaa. Suunnitelmassa kuvataan protokolla ja strategia, millä toiminnallisen turvallisuuden vaatimukset täytetään. Suunnitelmassa yksilöidään osastot, henkilöt ja muut mahdolliset resurssit, jotka ovat vastuussa toimintojen tarkistamisesta ja toteuttamisesta. Siinä tulisi luoda menetelmät, sekä tarjota resurssit tietojen tallentamiseksi ja säilyttämiseksi. Todentamis- ja validointisuunnitelmat pitäisi myös laatia. (Jespen 2016, 115.)

Jokaiselle suunnitteluprojektille laaditaan ja dokumentoidaan toiminnallisen turvallisuuden suunnitelma, josta prosessi saa alkunsa. Tähän kuuluvat seuraavat asiat:

- Määritelmä vaadituista turvallisuuteen liittyvistä ohjaustoiminnoista, engl. Safety-Related Control Function (SRCF). Tämä muodostuu kahdesta osasta. Ensimmäiseen osaan kuuluvat kuvaus toiminnoista sekä liitännöistä, toimintoprioriteeteista, toimintatiloista ja toimintojen tiheydestä. Toiseen osaan kuuluu jokaisen toiminnon turvallisuusvaatimusten määrittely, turvallisuuden eheyden tasolla ilmaistuna, engl. Safety Integrity Level (SIL)
- Dokumentoitu ja jäsennelty suunnitteluprosessi sähköisille ohjausjärjestelmille. Turvallisuuteen liittyvät sähköiset ohjausjärjestelmät, engl. Safety Related Electrical Control System (SRECS)
- Asianmukaisten tietojen tallennukseen sekä ylläpitoon menetelmät ja resurssit
- Hallintoprosessi ja kokoonpanon muuttaminen ottaen huomioon valtuutetun henkilöstön ja organisaation

- Tähän kokonaisuuteen kuuluu vielä validointi ja varmennussuunnitelma (Jespen 2016, 115–116.)

Seuraavat osiot kuuluvat tähän validointi ja varmennussuunnitelmaan:

- Komponenttien vaarallisen vian todennäköisyys tunnissa engl. Probability of a dangerous Failure per Hour (PFHd)
- Arkkitehtuurityypin valinta (A, B, C tai D). Eli onko kyseessä redundanssilla vai ilman, (tällä termillä tarkoitetaan, että onko samoja päällekkäisiä tekniikoita käytössä vai ei). Lisäksi onko diagnostisilla ominaisuuksilla vai ilman niitä, mahdollistaen joidenkin vaarallisten vikojen hallinnan
- Yleiset syyt vioille, engl. Common Cause Failure (CCF). Näitä ovat mm; virransyötön katkeaminen, ylijännite, oikosulut kanavien välillä yms.
- Todennäköisyys määrittäminen vaarallisten siirtovirheiden tapahtumiselle, kun käytetään digitaalista viestintää
- Viimeisenä sähkömagneettinen häiriö, engl. Electro Magnetic Interference (EMI)
(Jespen 2016, 116, 118.)

Toiminnallisen turvallisuussuunnitelman laatimisen jälkeen, jakautuu järjestelmän suunnittelu viiteen vaiheeseen. Ensimmäisenä riskinarvioinnin perusteella määritellään turvallisuustaso SIL. Turvallisuuteen liittyvät sähköiset ohjausjärjestelmän perusrakenteet tunnistetaan. Havainnollistetaan määritelmät turvallisuusvaatimuksista turvatoiminnoille, jokaiselle liittyvälle toiminnolle. Toisessa vaiheessa kaikki toiminnot on jaettu toimintolohkorakennemuotoon. Kolmannessa vaiheessa kaikille toimintolohkoille on määritetty turvallisuusvaatimukset ja nämä lohkot on aseteltu arkkitehtuurin alijärjestelmille. Neljännessä vaiheessa kaikkien alijärjestelmien komponentit valitaan. Viimeisessä viidennessä vaiheessa suunnitellaan diagnostiikkatoiminto ja tarkistetaan, onko saavutettu aikaisemmin määritetty turvallisuustaso SIL. (Jespen 2016, 116.)

3.3 Toiminnallinen turvallisuus EN 13849-1

Jespen (2016) mukaan toiminnallinen turvallisuusstandardi EN 13849-1 on hiukan helpompi käsitellä, kuin EN 62061 standardi. Varsinkin, jos on tottunut

ISO/CEN-standardijärjestelmiin. EN ISO 13849-1 standardin alla olevat prosessit voidaan jakaa kuuteen loogiseen vaiheeseen. Vaiheeseen yksi kuuluu turvallisuustoimintojen tunnistaminen sekä mahdollisten riskien tunnistus. Vaiheessa kaksi määritetään jokaiselle turvatoiminnolle vaadittu suorituskkykytaso. Kolmannessa vaiheessa tunnistetaan turvatoimintoa suorittavien turvallisuuteen liittyvien osien yhdistelmät. Neljännessä vaiheessa arvioidaan suorituskkykytaso jokaiselle osalle, jotka liittyvät turvallisuuteen valitun kategorian perusteella. Näihin lukeutuvat, diagnostiikan kattavuus, yhteiset viat ja yksittäisten komponenttien odotettu keskimääräinen aika, jolloin tapahtuu vaarallinen epäonnistuminen. Viidennessä vaiheessa todennetaan, että ohjausjärjestelmän turvallisuuteen liittyvät osat. Niiden tulee olla suorituskkykytasoltaan vähintään yhtä suurella tasolla, kuin vaadittu suorituskkykytaso on. Vaiheessa kuusi tarkastellaan, että kaikki standardin kriteerit täyttyvät. (Jespen 2016, 116–117.)

3.4 ISO 17757

Standardissa on esiteltynä turvallisuusvaatimukset maansiirtotoimintaan sekä kaivostoimintaan käytettäville autonomisille ja puoliautonomisille koneille, engl. Autonomous or Semi-Autonomous Machines (ASAM). Standardissa on myös näiden autonomisille tai puoliautonomisille laitejärjestelmille, engl. Autonomous or Semi-Autonomous Machine Systems (ASAMS) löytyvät turvallisuusvaatimukset tästä asiakirjasta. Turvallisuuskriteerit määritellään standardissa koneille, näihin liittyville järjestelmille, infrastruktuurille sisältäen laitteistot sekä ohjelmistot. Turvallisuuskriteereissä määritellään myös ohjeistukset listattujen asioiden turvalliseen käyttöön koneiden sekä järjestelmien elinkaaren aikana, niiden määrittelyissä toimintaympäristöissä. (ISO-EN 17757: 2019, 2019.)

3.5 Maantieajoneuvot toiminnallinen turvallisuus ISO 26262

ISO 26262-standardissa määritellään toiminnallinen turvallisuus, erityisesti liittyen sähkö- ja / tai elektroniikkajärjestelmien toimintahäiriöihin. Tämä kansainvälinen standardi on julkaistu marraskuussa 2011. ISO 26262 on autoteollisuuskoh-

tainen muunnos yleisestä teollisuuden IEC 61508 toiminnallisesta turvallisuusstandardista. ISO 26262 tarjoaa yleisen ja jäsennellyn lähestymistavan ajoneuvojen sähkö- ja sähköjärjestelmän koko turvallisuuden elinkaarelle. Tähän standardiin kuuluvat; kehitys, suunnittelu, tuotanto, huoltoprosessit ja käytöstä poistaminen. ISO 26262 määrittelee auton turvallisuuden eheyden tason, engl. Automotive Safety Integrity Level (ASIL). Tästä saadaan riskiluokitusparametri tuotteen turvallisuuskriittiselle vaaratilanteelle. Parametri on tärkeä kaikille myöhemmille turvallisuustoiminnoille turvallisuuden elinkaaren aikana. ASIL-parametri voidaan nähdä sellaisena, joka ilmaisee riskivaatimuksen pienentämisen siedettävän riskitason saavuttamiseksi. (Watzenig & Horn 2017, 392.)

3.6 Maantieajoneuvot kyberturvallisuustekniikka ISO/SAE 21434

ISO/SAE 21434 standardissa tarkastellaan kyberturvallisuusnäkökulmaa maantieajoneuvojen elektronisten ja sähköisten järjestelmien suunnittelussa. Standardi ISO/SAE 21434 on julkaistu elokuussa 2021. Tällä standardilla pyritään varmistamaan kyberturvallisuuden asianmukainen huomioiminen. Tavoitteena on pitää sähkösuunnittelu ja sähköjärjestelmien suunnittelu ajan tasalla uusimmalla mahdollisella tekniikalla sekä pysyä mukana kehittyvien hyökkäysmenetelmien kanssa. Standardi mahdollistaa organisaatioille hallita kyberturvallisuusriskejä, määrittellä kyberturvallisuuspolitiikat- ja prosessit sekä edistää kyberturvallisuuskulttuuria. ISO/SAE 21434 standardi on korvannut aikaisemmin olemassa olleen standardin SAE J3061 Kyberturvallisuusopas kyberfyysisille ajoneuvojärjestelmille. (ISO/SAE 21434 2021, 1–3.)

Standardi on tuonut käyttöön uuden kyberturvallisuusvarmistustason, engl. Cybersecurity Assurance Level (CAL)-luokitusjärjestelmän. Tämä auttaa määrittelemään erilaisten uhkatilanteiden lieventämiseen tarvittavan tarkkuuden. Kyberturvallisuusvarmistustasoja on yhdestä neljään. Taso yksi on vähiten tiukka prosessin kurinalaisuus, kun taas taso neljä on tiukin prosessin kurinalaisuus. Kyberturvallisuusvarmistustaso takaa, että komponentin tai järjestelmän ominaisuudet ovat riittävästi suojatut olennaisia uhkia vastaan. Lisäksi kyberturvallisuusvar-

mistustaso määrittelee useiden prosessien laajuuden eri vaiheissa turvallisen kehityksen elinkaarta, engl. Secure Development Lifecycle (SDL). (Agrawal & Achuthan 2022, 1.)

4 AUTONOMISET LIIKKUVAT TYÖKONEET NYKYHETKI JA TULEVAISUUS

Tässä osioissa käsitellään autonomisten / puoliautonomisten liikkuvien työkoneiden nykyhetken tilannetta ja otetaan katsausta tulevaisuuteen. Tätä varten tehtiin kysely, joka lähetettiin usealle liikkuvien työkoneiden parissa työskentelevälle asiantuntijalle, joiden näkemysten pohjalta on objektiivisesti referoitu kokonaisuuDET kyselyn vastauksista. Kyselyyn vastasi asiantuntijoita muun muassa seuraavista yrityksistä, Teknologian tutkimuskeskus VTT, Valtra Oy, UNIKIE Oy, Sandvik Group, näiden lisäksi kyselyyn osallistui vielä muutama alan asiantuntija eri yrityksistä.

Kyselyn tavoitteena on saada selville:

- Tämänhetkinen tilanne autonomisten / puoliautonomisten liikkuvien työkoneiden käyttöasteesta suhteessa manuaalisiin työkoneisiin
- Ovatko saatavilla olevat tekniset ratkaisut riittäviä niiden toteutukseen
- Mitkä ovat suurimmat haasteet autonomisten liikkuvien työkoneiden toteutuksessa
- Mitkä ovat tulevaisuuden näkymät autonomisten / puoliautonomisten liikkuvien työkoneiden osalta
- Mihin asioihin pitäisi kiinnittää enemmän huomiota, jotta voitaisiin saavuttaa entistä suurempi autonomisten liikkuvien työkoneiden käyttöaste tulevaisuudessa

Seuraavissa kahdessa osiossa on kyselyn kysymykset 4.1 nykyhetken tilanne ja 4.2 työkoneet tulevaisuudessa sekä niihin saadut vastaukset objektiivisesti referoituna.

4.1 Työkoneiden nykyhetken tilanne

Mikä osuus myytävistä liikkuvista työkoneista on autonomisia / puoliautonomisia suhteessa manuaalisiin liikkuviin työkoneisiin tällä hetkellä teidän organisaationne näkökulmasta?

Vastausten perusteella kysymys koettiin haastavaksi arviointi hankalaksi, koska koko toimialueelle mahtuu monenlaisessa ympäristössä toimivia työkoneita ja hyvin erilaisiin tehtäviin tarkoitettuja työkoneita. Täysin autonomisia liikkuvia työkoneita ei juuri vielä markkinoilla ole, nekin vähäiset ovat suljettujen / rajattujen alueiden sisällä ja niiden osuus kaikista työkoneista on hyvin pieni. Täysin autonomisten liikkuvien työkoneiden ratkaisut etenevät hyvin hitaasti ja siihen on syynsä, kuten koneisiin / koneiden välillä tapahtuvaan luotettavaan yhteysratkaisuihin liittyvät asiat.

Vastauksissa tulee esille se että, puoliautonomisia työkoneita puolestaan on jo markkinoilla, tämäkin toki riippuu puoliautonomisen liikkuvan työkoneen määritelmästä. Erityisesti kiinnostusta markkinoilla on kaikenlaisista kuljettajaa avustavista toiminnoista, joissa kone tekee jo osan työstä autonomisesti, mutta kuljettajan valvonnan alla. Yhden arvion mukaan noin ~30 % toimitettavista koneista on tällaisia. Vastausten perusteella tällaisia järjestelmiä on monella konevalmistajalla, mutta niiden vastaava hyöty ja tarve on aina määriteltävä tapauskohtaisesti. Avustavien järjestelmien tarve vaihtelee ja riippuu hyvin paljon siitä mihin käyttötarkoitukseen työkone on menossa. Osalla toimijoista puoliautonomiset / autonomiset ratkaisut ovat edenneet hyvinkin pitkälle, esimerkiksi logistiikkaan liittyvissä ratkaisuissa sekä kaivospuolella.

Vastauksissa käy ilmi, että suurin osa myytävistä koneista on kuitenkin edelleen manuaalisia. Automaation määrä kuitenkin kasvattaa osuutta jatkuvasti ja sen odotetaan kasvavan vielä tämän vuosikymmenen aikana. Ajureina tälle toimivat laitteistojen entistä suurempi sähköistyminen sekä eri maiden hiilineutraaliustavoitteet. Potentiaalia automatisoinnille löytyy paljon esimerkiksi konttiterminaalista, joita on maailmassa noin 1300. Näistä vain osa on automatisoituja, saatujen tietojen perusteella arviolta 70–80 kpl. Saaduissa vastauksissa arvioidaan, että myydyistä konttilukeista olisi automaattisia tämän vuoden osalta 10–15 % ja loput manuaalisia.

Millä tavoin nykytekniset ratkaisut mahdollistavat autonomisten / puoliautonomisten liikkuvien työkoneiden käytön?

Vastausten perusteella nykytekniset ratkaisut mahdollistavat nämä älykkäät ohjaukset. Teknologiset ratkaisut ovat hyvällä tasolla, ne palvelevat tällä hetkellä

tarjolla olevia koneteknisiäratkaisuja hyvin. Kuljettajaa avustavien järjestelmien valmistaminen on saatu hyvin mahdollistettua nykyisillä sensortechnologioilla; valotutkat, tutkat ja kamerat. Yleistyvät (drive-by-wire) -tyyppiset ratkaisut toimivat uusissa koneissa mahdollistavana osana integroitaessa puoliautonomisia / autonomisia ominaisuuksia koneisiin.

Vastauksissa nähtiin suuri kysymysmerkki liittyen vielä teknologioiden hintaan ja niillä saavutettavien hyötyjen suhteeseen. Esimerkiksi ympäristöä tarkkailevat sensorit ja niiden hinta. Avoinna oleviin asioihin liittyvät myös työkoneen ja traktorin yhdistelmän yhteistoiminta. Näissä monesti valmistajat ovat eri toimijoita, joten tullaan tarvitsemaan standardoituja rajapintoja. On olemassa ratkaisuja kuten ISOBUS standardi, joka mahdollistaa osan toimintojen toteuttamisesta. Siinäkin on tullut yhteensopivuushaasteita jo nykyisellä automatisaation tasolla ja muuttuu yhä haastavammaksi, mitä autonomisempia koneet tulevat olemaan.

Saatujen vastausten perusteella kaivosolosuhteissa, joissa jatkuvia ympäristön muutoksia ei tapahdu autonomiset kaivoslaitteistot toimivat hyvin. Kuitenkin nähdään niin, että kaivosolosuhteissa maan alla niinkin yksinkertainen asia kuin verkko-yhteys, ei ole itsestäänselvyys. Jatkuvan ympäristönmuutoksien hallitseminen on haasteellisempaa vielä nykyisellä teknologialla. Vastauksissa tuli esille myös se, että maanpäällisten koneiden osalta löytyy teknologisia ratkaisuja enemmän. Esimerkiksi GPS, jota voidaan käyttää hyödyksi autonomisissa / puoliautonomisissa liikkuvissa työkoneissa.

Vastauksista kävi ilmi se, että suurelta osin nykytekniset ratkaisut mahdollistavat autonomisten / puoliautonomisten liikkuvien työkoneiden käytön, toki on vielä puutteita riippuen sovellutuksesta. Enemmän mahdollisuudet riippuvat eri toimintaympäristöjen tuomista teknologian soveltamishaasteista, kuten yhteys haasteista laitteistojen välillä, jota tarvitaan. Yhteyksien toteuttaminen ja hallinnointi on huomattavasti helpompaa ympäristöissä, jotka ovat kiinteitä alueita, kuten esimerkiksi jokin satama-alue. Jos tätä verrataan johonkin metsäkoneeseen, joka toimisi kaukana Kanadan metsissä, jossa lähin 5G-verkko voisi olla muutaman tuhannen kilometrin päässä, niin näiden välillä edellytykset ovat hyvin erilaiset.

Saaduissa vastauksissa tuli esille sähköistyminen, joka on yksi mahdollistava tekijä. Jos esimerkiksi satamatoiminnassa olisi niin, että konttilukit olisi pakko ostaa sähköisinä, niin tämä tulisi aukaisemaan markkinoita myös automaatiolle ja puoliautomaatiolle. Satamat kuitenkin haluavat konetoimittajilta optimointiratkaisuja latausstrategian tehokkaaseen järjestämiseen. Vastauksien perusteella autonomisemmat koneet mahdollistavat koneiden paremman optimoinnin latausten suhteen. Automaatio koneissa tuo myös energiansäästöjä, kun esimerkiksi ei enää tarvita hyttiä, jota jouduttaisiin pitämään lämpimänä kolmessa vuorossa vuorokaudessa kylmien vuoden aikojen aikaan.

Ovatko markkinoilla saatavilla olevat tekniset ratkaisut / anturitekniikat / laitteistot riittävällä tasolla autonomisten / puoliautonomisten liikkuvien työkoneiden käytön mahdollistajana?

Vastauksissa todetaan, että uutta teknologiaa tulee koko ajan lisää. Nykyiset teknologiset ratkaisut mahdollistavat autonomisten liikkuvien työkoneiden käytön jollakin tasolla asti, kuten kuljettajaa avustavat autonomiset ratkaisut. Nämä ovat hyvällä tasolla. Näitä uusia teknologioita markkinoille on tuomassa muun muassa UNIKIE. Saatujen vastauksien perusteella tuli selväksi, että suureksi osaksi nykyiset olemassa olevat tekniset ratkaisut on kuitenkin kehitetty autoteollisuuden käyttöön ja vain autoteollisuuden käyttöön. Täten vaikka itse komponentit olisivatkin riittävällä tasolla, voi esteeksi muodostua työkonemaailmassa niiden käyttötarkoitusten erilaisuus.

Saaduista vastauksista kävi ilmi, että automaattisilla koneilla on kuitenkin joitakin käyttötapauksia, joille tarvittavia turvaluokiteltavia ratkaisuja ei vain vielä ole olemassa automaattisen toiminnan mahdollistamiseen. Nämä asiat ovat tärkeitä, koska ihmisten turvallisuus on tärkeintä. Vastauksien perusteella yksi tapa on aidata automatisoidut alueet. Tämä ei ole aina mahdollista ja asiakkaat eivät ole valmiita välttämättä rakentamaan järeitä aitoja kaikkialle, joilla pystytään yksinkertaisella tavalla turvaamaan työntekijöitä. Tähän syynä voivat olla yksinkertaisesti tilanpuute, sillä aidat vaativat kuitenkin hiukan etäisyyttä suhteessa automaattisiin koneisiin. Myös kustannukset ovat yksi syy.

Saatujen vastausten perusteella todennäköisin pullonkaula on todellakin kustannustehokkaissa anturointiratkaisuissa, jotka toimivat kaikissa olosuhteissa riittäväällä toimintavarmuudella täysin autonomisissa liikkuvissa työkoneissa. Näissä tarvitaan muun muassa luotettavaa ympäristön havainnointikykyä. Teknologioiden soveltamiseen eri sovellusalueilla tarvitaan vielä uudenlaisia ratkaisuja. Hyvänä esimerkkinä toimii luotettavien yhteyksien mahdollistaminen (konnektiiviteetti), jotka tulevat ongelmaksi syrjäisissä kohteissa. Vastauksien perusteella näihin on olemassa jo jotain mahdollisia ratkaisuja, joista on käyty keskusteluja esimerkiksi SATCOM-kommunikaatiosta, 5G-yhdistelmästä ja muista vastaavista mahdollisista ratkaisuista.

Mitkä ovat autonomisten / puoliautonomisten liikkuvien työkoneiden tämän hetken suurimmat haasteet?

Vastauksien perusteella vaatimustenmukaisuuden saavuttaminen ja sopivien teknisten ratkaisujen löytäminen täysin autonomisille liikkuville työkoneille on todella haastavaa. Se vaatii aloittamisen pienin askelin rajatuista sovellutuksista. Vastauksista käy ilmi myös seuraavat haastaviksi koettavat seikat; kustannukset, pienet erät tarvittavissa komponenteissa, sekä turvallisuusvaatimusten, tarvittavan lainsäädännön ja standardoinnin muuttaminen tarvittavalle tasolle. Näissä on vielä puutteita.

Yhtenä haasteena vastauksissa pidettiin tuottavuuden parantaminen vaarantamatta turvallisuutta. Esimerkkinä mainittiin automaattiset satamaterminaalit. Tuottavuudessa parhaassa tapauksessa päästään samaan kuin manuaalisissa terminaaleissa, kuitenkin asiakkailta on tarve saada investoinneiltaan enemmän irti. Vastauksista käy ilmi, että yhtenä haasteena on myös automaatiassa aina poikkeustilanteiden hallinta. Satamissa olevia variaatioita on monia, vaikka käsiteltävät kontit ovatkin samanlaisia, ei se tarkoita sitä, että kaikki terminaalit olisivat samanlaisia prosesseiltaan ja kulttuureiltaan. Jokainen terminaali on kuitenkin omanlaisensa.

Saatujen vastauksien perusteella haasteita on muun muassa jo mainittu työkoneen ja traktorin yhdistelmän yhteistoiminta autonomisena. Käyttöpaikkojen etäisyydet toisistaan voivat vaihdella paljonkin. Esimerkiksi maataloudessa traktori työskentelee monesti eri pelloilla ja välimatkat peltojen välillä voivat olla helposti

kymmeniä kilometrejä. Siirtyminen pelloilta toiselle pitäisi myös onnistua suorittamaan autonomisesti. Ei riittäisi vain se, että työkone toimisi autonomisesti pelkästään peltoalueella. Toki on isojakin peltoalueita, joissa voisi olla hyvinkin potentiaalia laajemmalle autonomisten työkoneiden käytölle.

Vastauksissa tulee esille, että raskailta ja varsinkin maanalaisilta koneilta odotetaan autonomian suhteen paljon. Jos vertaamme maanpäällisiin autonomisiin koneisiin tai henkilöautoihin, ovat näiden olosuhteet hyvin erilaiset. Täytyy tiedostaa, että monessa hyvinkin simppeliltä kuulostavien ongelmien ratkaisemisessa työkoneissa voi mennä pitkään tai se voi olla työlästä toteuttaa. Vastauksien perusteella pitää tiedostaa se, että ei ole itsestäänselvyys, jotta autonomia toisi lisää arvoa, vaan sille täytyy löytyä liiketoiminnalliset perusteet.

Saatujen vastausten perusteella tällä hetkellä on menossa digivihreä siirtymä, joka on tälle toimialalle ehkä suurin murros sitten koko toimialan historiassa. Sähköistyminen tullessaan luo uutta arvoa, mutta tulee olemaan pakottavia tekijöitä tulevaisuudessa. Tarvitaan esimerkiksi hyviä yhteysratkaisuja. Saadut vastaukset osoittavat, että isoimpia haasteita ovat toimintaympäristöön, kehittämistoimintaympäristöön ja osajiin liittyviä asioita. Ei niinkään teknologioihin liittyviä asioita. Tarvetta on uuden tyyppiselle nopeammalle innovaatiokehitykselle ja osajia näiden toteuttamiseen. Haasteita on kehitysreittien helpottamisessa ja nopeuttamisessa erilaisin keinoin. Yhdistämällä eri toimijoiden voimia, olisi tätä mahdollista nopeuttaa, luomalla järkeviä tiekarttoja ja näihin liittyviä oikeita kehitysjatkuvoja pistemäisten hankkeiden sijaan.

4.2 Työkoneet tulevaisuudessa

Miten näette autonomisten liikkuvien työkoneiden kasvun tulevaisuudessa?

Saatujen vastausten perusteella saatavilla olevan työvoiman vähyys tulee lisäämään autonomisten koneiden määrää sekä kehittyvät tekniset ratkaisut ajavat vääjäämättä autonomisten ja avustavien ratkaisujen suuntaan tulevaisuudessa. Vastauksissa arvioitiin myös, että kasvu tulee olemaan räjähdysmäistä 10–20

vuoden aikana, kun anturit ja tekoälyteknologia toimivat mahdollistajina joustavien ratkaisujen tekemiselle. Autonomian taso tulee kasvamaan ja merkitys tulee selkeästi lisääntymään tulevaisuudessa.

Vastauksissa nähtiin myös, että autonomia ei tule vielä pitkään aikaan olemaan isossa osassa osaa markkina-alueista, tai sovellusalueista, koska se ei välttämättä tuo vastaavaa lisäarvoa. Todettiin kuitenkin, että on myös sovellusalueita ja kohteita, joissa kehitys puolestaan tulee olemaan nopeaa seuraavien 5–10 vuoden aikana. Automaatio on jo todistettu tehokkaana turvallisuuden parantajana ja kustannusten vähentäjänä, tämän myötä tulee automaatio lisääntymään entisestään. Satamaterminaaleissa monille automatisointi on toiminnan jatkumisen kannalta kriittinen osa toiminnan kilpailukyvyn säilyttämisestä etenkin, jos naapuri satama on jo automatisoitu. Monissa terminaaleissa on kohdattu myös työvoiman saatavuuden hankaluus manuaalisille perinteisille koneille sekä sähköistymisen lisääntyminen tulevaisuudessa. Nämä asiat tulevat viemään automaation kasvua eteenpäin tulevaisuudessa.

Vastauksissa nähtiin, ettei liikkuvien työkoneiden tarve tulevaisuudessa tule katoamaan. Maailmaa rakennetaan jatkuvasti ja luultavasti globaalilla tasolla tarve hiukan tulee vielä kasvamaan. Suomelle tämän nähdään tarjoavan ison mahdollisuuden. Työkonetoimiala on vientitoimialana Suomen kolmanneksi tai neljänneksi suurin vientiala ja tässä on selkeä kasvu potentiaali Suomella. Globaalilla tasolla tässä voimme ottaa markkinoita muilta.

Mihin asioihin pitäisi kiinnittää huomiota, jotta pystyttäisiin saavuttamaan entistä suurempi autonomisten liikkuvien työkoneiden käyttöaste tulevaisuudessa?

Saatujen vastauksien perusteella muun muassa pitäisi kiinnittää huomiota turvallisuuden, tehokkuuden ja kestäväen kehityksen edistämiseen. Ratkaisujen tulisi olla käyttötarkoitukseen optimoituja ja joustavia. Ympäristötietoisuus koneiden osalta sekä tietoisuus koneen omasta tilasta ja sitä kautta erilainen dynaaminen päätöksenteko itsenäisesti.

Vastausten mukaan, kyse on aina kokonaisuudesta. Autonomisuus on teknologia, eikä itse tarkoitus. On lähdettävä siitä liikkeelle, että tunnistetaan missä käyttökohteissa ja ympäristöissä näitä autonomisia laitteita voidaan oikeasti hyödyntää ja niiden käyttö on kestäväällä pohjalla. Tämän jälkeen ryhdyttäisiin edistämään näitä kyseisiä ratkaisuja. Lähtemällä suoraan kehittämään yleisluontoista kaikkiin tilanteisiin sopivaa ratkaisua on kehitysaskel liian iso.

Satamaterminaaleissa koetaan haettavan karkealla tasolla automaatiolta kolmea asiaa kustannussäästöjä, turvallisuutta ja tuottavuuden parantamista vertailtaessa manuaaliseen operointiin. Eli montako konttia satamanosturi siirtää tunnissa ja pystyvätkö satamalaitteiden automaatiojärjestelmät sitä tukemaan. Vastauksien perusteella kustannussäästöt ja turvallisuus on automaatiolla todistettu toimiviksi. Tuottavuuden osalta päästään kuitenkin parhaimmillaan tällä hetkellä samaan kuin manuaalioperaatiossa. Huomioita olisi kiinnitettävä tälle osa-alueelle enemmän tulevaisuudessa.

Vastausten mukaan, eniten voimavaroja käytettäisiin tämän mahdollistavan kehitystoimintaympäristön muodostamiseen. Olisi oltava oikeat tavoitteet asetettuna. Näihin tavoitteisiin johtaisi kehitysjatkuja. Tulisi olla riittävät tuki-instrumentit näiden asioiden hoitamiseksi ja näitä asioita tulitaisiin toteuttamaan yhdessä ryhmänä, yksin tekemisen sijaan. Vastausten perusteella yksi tärkeä asia on myös, että pystytään turvaamaan tulevaisuuden osaajat, jotka tulevat suunnittelemaan ja rakentamaan näitä koneita. Osaamisen kehittäminen on tärkeässä osassa. Vastauksissa nähtiin, että teknologisia haasteita ei valtavasti ole, vaikka puutteitakin on. Isoimpana asiana on kuitenkin mahdollistava toimintaympäristö.

Vastauksissa saatiin näkökulmaa asioihin myös seuraavasti. Tällä hetkellä Suomessa on melko paljon pistemäisiä kehityshankkeita, joihin löytyy myös rahoitusta. Näiden lisäksi tarvittaisiin kestäviä kehittyviä rakenteita, jotka ottaisivat kantaa innovaatiokehitykseen järjestelmällisellä tavalla. Toisin sanoen pystyisivät muodostamaan tiekarttoja sekä aktiviteettijatkumia. Näiden perusteella pystyttäisiin toteuttamaan kehityshankkeita. Innovaatiotoiminnan ohella nämä yhteenliittymät ottaisivat kantaa osaajien saatavuuteen sekä houkutteluun. Vastauksissa todetaan, että yhteenliittymien yhteinen vaikuttaminen standardointialoitte-

siin on erittäin tärkeää. Ei vain seurata sivusta ja yritetä muovautua väkisin standardien mukaan. Vaan ollaan mukana vaikuttamassa asioiden kulkuun ja standardien kehittämiseen meille suotuisalla tavalla. Vastauksissa nähdään, että tullaan tarvitsemaan tiivistä teollisuusyhteistyötä. Sen avulla voidaan korjata vielä puuttuvat palaset teknologiassa ja näin saadaan tulevaisuudessa uudet teknologiat jalkautettua koneisiin ja laitteisiin.

5 KYSELYTUTKIMUKSEN JOHTOPÄÄTÖKSET

5.1 Johtopäätökset nykyhetken tilanteesta

Nykyhetken tilanteesta voi tehdä muutamia johtopäätöksiä. Liikkuvien työkoneiden markkinat koostuvat pääasiassa vielä manuaalisesti ohjattavista koneista, mutta vahvasti tähän ovat tulleet mukaan kuljettajaa avustavat toiminnot. Näihin seikkoihin kuitenkin vaikuttavat paljon se mihin ympäristöön ja tarkoitukseen kone on tulossa käyttöön. Esimerkkinä kaivostoiminnassa automaation osuus on vahvasti noussut. Myös logistiikan puolella satamaratkaisuissa on tapahtunut vahvaa nousua, missä alueita on mahdollista rajata aidoilla. Aidoilla rajatuilla alueilla pystytään autonomiset / puoliautonomiset liikkuvien työkoneiden toiminnot toteuttamaan turvallisuuden edellyttämällä tavalla. Tällaisiin ratkaisuihin ei kuitenkaan kaikkialla ole mahdollisuutta. Liikkuviin työkoneisiin liittyvien turvaluokitusten ollessa vielä puutteellisia automaation osalta, ihmisten turvallisuus on tärkeintä.

Automaatio on kuitenkin tullut pysyväksi osaksi myös liikkuvien työkoneiden kehityskulkua. Automaatio, sähköistyminen, uudet anturiteknologiat, esineiden internet, laskentatehon halventuminen ja pitkälle kehitetyt algoritmit vaikuttavat koneisiin. Nykytekniset ratkaisut kuten sensoriteknologiat, valotutkat, tutkat, kamerat, ultraäänianturit ja globaali satelliittinavigointijärjestelmä mahdollistavat autonomisten työkoneiden käytön jo nyt rajattuun pisteeseen asti. Automatisoiduilla avustavilla toiminnoilla on mahdollista helpottaa kuljettajan työtä sekä tehdä koneen käytöstä yhä turvallisempaa ja energiatehokkaampaa optimoiduilla ratkaisuilla.

Nykyhetkellä haasteita autonomisissa / puoliautonomisissa liikkuvissa työko-neissa on vielä aika paljon, jotta niitä pystyttäisiin ottamaan laajemmin käyttöön. Autoteollisuudessa ajoneuvojen autonomisten toimintojen kehitys on paljon pidemmälle vietyä. Sieltä löytyy myös standardoidut automaation tasot, joita raskaille liikkuville työkoneille ei vielä edes ole olemassa, kuin ehdotelmana automaationtasojen matriisista. Tätä ehdotelmaa voisi käyttää pohjana tulevissa kes-

kusteluissa raskaiden liikkuvien työkoneidenkehityksessä. Näiden koneidenkäyttö ja sovellusalueiden kirjo on niin laaja, että selkeää yhteisesti kaikissa tapauksissa toimivaa toteutustapaa, ei luultavasti voisi edes olla olemassa. Automaation tasojen taksonomiasta raskaille liikkuville koneille on kuitenkin tehty ehdotelma, josta on mahdollista aloittaa laajempi keskustelu sen kehittämisestä eteenpäin. Raskaille liikkuville työkoneille löytyy kyllä eri toimialuekohtaisia standardointeja, joissa on otettu myös kantaa automatisointeihin, mutta näissäkin on vielä paljon kehitettävää.

Haastavaksi raskaiden liikkuvien työkoneiden automatisoinnin tekee tällä hetkellä saatavilla olevien teknisten ratkaisujen korkea hinta, niiden pienien valmistuserien takia. Monet tekniset ratkaisut on kehitetty vain autoteollisuuden tarpeet huomioiden ja eivät siten välttämättä sovellu sellaisenaan kaikkiin työkonesovelluksiin. Luotettavuus teknisten ratkaisujen toimintavarmuudesta erilaisissa ympäristöissä ja olosuhteissa on vielä murroksessa. Näihin lukeutuvat erilaiset sääolosuhteet, käyttöympäristöjen vaihtelevuus ja näistä johtuvat saavutettavuus haasteet. Langattomat palvelut ja yhteyksien rajallisuus ovat vielä iso haaste työkoneiden automatisoinnissa, langattomien yhteyksien ja liikennöitävän datan lisääntyneen määrän myötä. Automaattisissa koneissa ja etenkin autonomisissa koneissa on pidettävä huoli siitä, että kyberturvallisuus näkökulmat on otettu myös hyvin huomioon.

5.2 Johtopäätökset tulevaisuuden tilanteesta

On vedettävissä muutamia johtopäätöksiä työkoneiden automatisoinnista tulevaisuuden näkökulmasta. Automaatio tulee luultavimmin kasvamaan rajusti työkoneissa seuraavan 10-vuoden sisällä avustavien toimintojen osalta ja autonomia joillakin rajatuilla teollisuuden alueilla. Automaation lisäykselle tulee tarve monilla alueilla jo siitä syystä, että ei ole riittävästi työvoimaa tekemään tarvittavia tehtäviä. Muutama muu asia, jotka vaikuttavat ovat kilpailukyvyn säilyttäminen, sähköistyminen, kehittyvät tekniset ratkaisut. Näillä kaikilla asioilla on vaikutusta automaation lisääntymiseen. Suomen näkökulmasta työkoneiden lisääntyvä tarve maailmalla antaa hyvää kasvupotentiaalia pitkälle kehitettyjen ratkaisujen viejänä maailmalle.

Autonomiasta puhuttaessa on hyvä tiedostaa se tosiasia, että kyseessä on teknologia ei itse tarkoitus. Näiden pitkälle vietyjen laitteistojen kehityksessä on lähdettävä liikkeelle pienin askelin. On tarkasteltava missä kaikissa ympäristöissä, sovellutuksissa sille on järkevät perusteet ja että autonomia teknologiana on kestäväällä pohjalla. Tässä kestäväällä pohjalla viitataan siihen, että autonomia on teknologiana käyttötarkoitukseensa sopiva ja sillä saavutetaan hyötyjä. Autonomian lisääminen ei välttämättä tuo vastaavaa lisäarvoa. Sen käyttö on pohdittava huolellisesti ja sille on löydyttävä liiketoiminnalliset perusteet. Autonomian puolesta puhuvilla tahoilla autonomian lisääntymiseen tulevaisuudessa on mahdollisesti paljon taloudellisia etuja alalla. Autonomialla saavutettavia etuja voidaan helposti liioitella, tai mahdollisia esteitä jättää huomioimatta sen kehityksessä. Automaation lisääntyessä ja järjestelmien mennessä yhä monimutkaisemmiksi liikkuvissa työkoneissa, eivät normaalit totut testausmenetelmät välttämättä enää riitä testaamaan erittäin vuorovaikutteisia toimintoja. Nämä tulevat tuottamaan isoja haasteita tulevaisuudessa ja näihin täytyy kiinnittää yhä enemmän huomiota.

Tulevaisuuden näkökulmasta autonomisten / puoliautonomisten liikkuvien työkonoiden kehittämiseen paremmalle tasolle tarvitaan useita toimia. Isoimpina asioina on luultavasti näiden toimien mahdollistava kehitystoimintaympäristön muodostaminen, tulevaisuuden osaajien turvaaminen ja oikeiden tavoitteiden asettaminen. Tarvitaan kestäviä kehittyviä rakenteita, jotka ottavat kantaa innovaatiokehitykseen järjestelmällisellä tavalla. Tarvitaan laajempaa yhteistyötä toimijoiden välillä kehitysreittien helpottamiseksi ja nopeuttamiseksi. Tällaisten suurten muutoksien vieminen eteenpäin ei voi enää olla vain yhden toimijan takana. Siinä tarvitaan kaikkien osapuolten yhteistyötä sekä myös kansainvälisten näkökulmien huomioon ottamista.

Vahva kansainvälinen yhteistyö voisi luoda hyvän pohjan sujuvammalle maailmanlaajuiselle prosessille autonomian viemisessä eteenpäin. Yhteistyön tärkeys näkyy myös standardisointien aloitteisiin vaikuttamisessa, jotta voidaan muovata standardeja haluttuun suuntaan, väkisin standardeihin sopeutumisen sijaan.

Tutkitun tiedon perusteella voidaan tehdä johtopäätös, että tulevaisuudessa on mahdollista saavuttaa automaation ja sähköistymisen lisääntymisellä energia- ja

kustannussäästöjä liikkuvien työkoneiden osa-alueella. Työkoneet eivät välttämättä tarvitse hyttiä, jota joutuisi kylminä vuodenaikoina lämmittämään. Tämä puolestaan voi pienentää koneen painoa sekä sen fyysistä kokoa näiden komponenttien jäädessä pois. Myös selkeä kustannussäästö voidaan saavuttaa, kun kallis turvaluokiteltu komponentti voidaan jättää kokonaan pois.

6 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä State-of-the-Art-tyyppinen selvitys autonomisesti / automaattisesti liikkuvista työkoneista. Työssä ensimmäisenä tavoitteena oli selvittää, minkälaisia ratkaisuja mahdollisesti on jo olemassa, minkälaista tekniikkaa niissä on käytetty ja minkälaisia käyttökokemuksia niistä löytyy. Työn teon aikana selvisi, että liikkuvien työkoneiden osalta löytyy vielä hyvin rajallisesti automaattisia ja varsinkin autonomisia ratkaisuja. Autonomisia liikkuvia työkoneita-kin jo löytyy, mutta ne ovat vielä hyvin pitkälti vain rajatulle käyttöalueelle tarkoitettuja ratkaisuja ja rajatuin ominaisuuksin varustettuja. Sen sijaan kuljettajaa avustavien automaattisten toimintojen osalta ratkaisuja alkaa olla paljonkin erilaisia ja näiden toimintojen odotetaan vielä kasvavan entisestään tulevaisuudessa. Suurin osa tämän päivän liikkuvista työkoneista kuitenkin koostuu manuaalisista työkoneista. Työtä tehdessä selvisi, että tekniset ratkaisut, mitä näissä tämän päivän liikkuvissa autonomisissa työkoneissa ovat jo käytössä. Ne pääasiassa pohjautuvat autoteollisuuden kehitettyihin teknisiin ratkaisuihin.

Toisena opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, mitkä ovat tämän hetken suurimmat haasteet automaattisissa liikkuvissa työkoneissa ja mitä toimenpiteitä pitäisi tehdä, että saavutettaisiin suurempi automaattisten liikkuvien työkoneiden käyttöaste tulevaisuudessa. Työn aikana selvisi, että haastavaksi automaattisten liikkuvien työkoneiden valmistuksen tekee teknisten ratkaisujen puutteet ja monien teknisten ratkaisujen suunniteltu käyttötarkoitus autoteollisuuden. Useissa tilanteissa nämä tekniset ratkaisut eivät ole vielä riittävällä tasolla, jotta ne voisi toimia raskaissa liikkuvissa työkoneissa riittävällä luotettavuudella. Työkoneissa voi olla hyvin vaihtelevat ympäristöolosuhteet ja monissa tilanteissa rajalliset yhteismahdollisuudet. Teknisten ratkaisujen hinta valmistusmääriin nähden on vielä tällä hetkellä liian korkealla tasolla. Automatisoinnin hyödyt suhteessa kustannuksiin liikkuvissa työkoneissa, eivät ole kaikissa tapauksissa vielä järkevällä tasolla. Haasteeksi koettiin myös standardointien puutteellisuus automatisoiduissa liikkuvissa työkoneissa. Nähdään, että automaatiolla on paljon potentiaalia liikkuvissa työkoneissa, mutta siellä on myös monia haasteita, jotka on ensin ratkaistava.

Tarvittavia toimenpiteitä, joita voisi tehdä, jotta saavutettaisiin suurempi automaattisten liikkuvien työkoneiden käyttöaste, löydettiin useita. Suuremman automatisoinnin saavuttaminen vaatii näiden toimien mahdollistavan kehitystoimintaympäristönmuodostamista, riittävästi teknisiä osaajia ja oikeanlaisten tavoitteiden asettamista. Tarvitaan kestäviä kehittyviä rakenteita, jotka ottavat kantaa innovaatiokehitykseen järjestelmällisellä tavalla. Tarvitaan vahvaa kansainvälisellä tasolla olevaa yhteistyötä eri toimijoiden, järjestelmätoimittajien, komponenttitoimittajien ja jopa kilpailevien toimijoiden välillä. Tätä tarvitaan saavuttaaksemme parhaan mahdollisen lopputuloksen automatisoinnin parantamiseksi ja kehitystyön nopeuttamiseksi.

Kolmantena tavoitteena oli selvittää kevyesti tämänhetkistä tilannetta automatoituihin liikkuviin työkoneisiin liittyviä standardeja ja direktiivejä. Näistä työssä saatiin pieni otanta selville. Standardit jakautuvat eri toimialueille. Työn aikana selvisi automatisoinnin tasojen puuttuminen vielä raskaiden liikkuvien työkoneiden osalta, jotka ovat jo olemassa autoille autoteollisuudessa. Raskaille liikkuville työkoneille automaationtasojen matriisista löytyy kuitenkin ehdotelma, jota voisi käyttää lähtökohdana laajemmalle keskustelulle raskaiden liikkuvien työkoneiden kehityksessä. Työn aikana kävi ilmi, miten laajasta standardikokonaisuudesta oli kyse. Standardoinneista ja direktiiveistä voisikin olla hyvä tehdä vielä jatkotutkimusta ihan omana tutkimuksenaan laajemmassa mittakaavassa. Jatkotutkimusta voisi myös tehdä siitä, miten tekniset ratkaisut saataisiin paremmin sopiviksi työkonekäyttöön. Merkittävä seikka olisi ratkaista kustannustekniset ongelmat työkonekäyttöön tarkoitettujen tekniikoiden tuomisessa markkinoille.

Opinnäytetyölle asetettuihin tavoitteisiin päästiin ja opinnäytetyöprosessi kokonaisuutena onnistui hyvin. Työn aikana huomattiin, kuinka vähän loppujen lopuksi materiaalia löytyy suoraan autonomisiin liikkuviin työkoneisiin liittyen. Suuri osa kirjallisuudesta on enemmän painottunut autonomisiin ajoneuvoihin autoteollisuudessa. Sopivan kirjallisuuden löytäminen osoittautui haastavammaksi, mitä aluksi luultiin. Haasteita työssä tuli myös kyselytutkimuksen osalta. Vastauksien saaminen asiantuntijoilta kyselytutkimukseen osoittautui haastavaksi ja aikaa vieväksi prosessiksi. Joskin vastauksien saamisen jälkeen erittäin antoisaksi ja mielenkiintoiseksi.

LÄHTEET

Agrawal, V. & Achuthan, B. 2022. Strategy to Adopt ISO/SAE 21434 Cyber Security Assurance Level in the Organization. Viitattu 30.10.2022. https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/176jdv/cdi_sae_technicalpapers_2022_01_0121

Appel, J. 2021. Diffraction. The Gale Encyclopedia of Science: C-D p.1353–1354. Viitattu 20.11.2022. https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/176jdv/cdi_gale_vrl_8124400761

Bartneck, C., Lütge, C., Wagner, A. & Welsh, S. 2021. An Introduction to Ethics in Robotics and AI. 1st ed. 2021. [Online]. Cham: Springer International Publishing. Viitattu 23.10.2022. https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/1j3mh4m/alma9911230135605973

Bi, X. 2021. Environmental perception technology for unmanned systems. 1st ed. 2021. [Online]. Gateway East, Singapore: Springer. Viitattu 19.4.2022. https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/1j3mh4m/alma9911274661005973

European Committee for Standardization (CEN) / About CEN. Viitattu 24.7.2022. <https://www.cencenelec.eu/about-cen/>

Frisoni, R., Dall'Oglio, A., Nelson, C., Long, J., Vollath, C., Ranghetti, D., & McMinimy, S. 2016. Self-piloted cars: the future of road transport?: research for TRAN Committee. Brussels: European Parliament. Viitattu 6.11.2022. https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/176jdv/cdi_officepubeu_primary_vtIs000354933

ISO-EN 17757: 2019. 2019. Earth moving machinery and mining – Autonomous and semi-autonomous machine system safety. Julkisesti saatavilla oleva osa. Viitattu 1.11.2022. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:17757:ed-2:v1:en>

ISO/SAE 21434. 2021. Road Vehicles - Cybersecurity Engineering. Vehicle Cybersecurity Systems Engineering Committee. SAE International, ISO. Viitattu 8.8.2021. Vaatii käyttöoikeuden. <https://saemobilus-sae-org.libproxy.tuni.fi/content/ISO/SAE21434/>

Jespen, T. 2016. Risk assessments and safe machinery ensuring compliance with the EU directives. 1st ed. 2016. [Online]. Cham: Springer International Publishing. Viitattu 17.8.2022. https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/1j3mh4m/alma9910622310805973

John Deere. 2022. John Deere Reveals Fully Autonomous Tractor at CES 2022. Viitattu 19.11.2022. <https://www.deere.com/en/news/all-news/autonomous-tractor-reveal/>

Koskinen, K. 2018. Automaatioväylä : Suomen säätöteknillisen seuran jäsenlehti Erillispainos 2018. Automaation historia, nykytila ja tulevaisuus. Helsinki: Suomen säätöteknillinen seura. Viitattu 5.11.2022. https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/1j3mh4m/alma99846195305973

Krysiuk, C., Kuśmińska-Fijałkowska, A., Kamiński, T. & Demestichas, K. 2021. Driver's Tasks in the Context of the Increase in the Degree of Automation of Road Transport. Journal of KONBiN. [Online] 51 (1), 195–211. Viitattu 26.3.2022. Vaatii käyttöoikeuden. https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/176jdvt/cdi_proquest_journals_2509039437

Leitner, A., Watzenig, D. & Ibanez-Guzman, J. 2019. 'ENABLE-S3: Project Introduction', in Validation and Verification of Automated Systems. [Online]. Cham: Springer International Publishing. pp. 13–23. Viitattu 17.4.2022. https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/176jdvt/cdi_scopus_primary_631962271

Litman, T. 2022. Autonomous Vehicle Implementation Predictions - Implications for Transport Planning Summary. Viitattu 2.10.2022. <https://canadacommons.ca/artifacts/2684755/autonomous-vehicle-implementation-predictions/3707404/>

Martinsuo, M., Hellström, M., Asikainen, S.-K., Kohtamäki, M., Pyykkö, H., Saarama, A., Suominen, A., Töytäri, P., & Valjakka, T. 2020. Autonomiset järjestelmät ja teknologiayritysten liiketoiminnan muutos. Viitattu 5.11.2022. https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/1j3mh4m/alma9911270562005973

Machado, T., Ahonen, A. & Ghabcheloo, R. 2021. 'TOWARDS A STANDARD TAXONOMY FOR LEVELS OF AUTOMATION IN HEAVYDUTY MOBILE MACHINERY', in Proceedings of ASME/BATH 2021 Symposium on Fluid Power and Motion Control, FPMC 2021. [Online]. 2021 p. Viitattu 9.10.2022 https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/1j3mh4m/alma9911292454805973

Mohammed, A. S., Amamou, A., Ayevide, F. K., Kelouwani, S., Agbossou, K., & Zioui, N. 2020. The perception system of intelligent ground vehicles in all weather conditions: A systematic literature review. Sensors (Basel, Switzerland). [Online] 20 (22), 1–34. Viitattu 15.5.2022. https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/176jdvt/cdi_pubmedcentral_primary_oai_pubmedcentral_nih_gov_7697110

Mouftah, H. T., Erol-Kantarci, M., & Sorour, S. 2020. Connected and autonomous vehicles in smart cities. First edition. Boca Raton: CRC Press. Viitattu 14.4.2022. https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/176jdvt/cdi_proquest_ebookcentral_EBC6395729

Mueck, M. & Karls, I. 2018. Networking Vehicles to Everything: Evolving Automotive Solutions. [Online]. Boston: DEG Press. Viitattu 6.11.2022. https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/176jdvt/cdi_askewsholts_vlebooks_9781501507243

Nordling, N. 2020. Innovaatioekosysteemeillä kohti yhteistä arvonluontia : Ekosysteemit ja alustat tutkimuksen, kehittämisen ja innovaatiotoiminnan avautumisen työkaluina. Tampereen yliopisto. Viitattu 22.11.2022 https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/1j3mh4m/alma9911269186505973

Ogaja, C. A. 2011. Applied GPS for Engineers and Project Managers. Reston, Va: American Society of Civil Engineers. Viitattu 24.11.2022 https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/1j3mh4m/alma9910616834105973

Piatek, S. & Hergert, E. 2020. SPADs offer possible photodetection solution for ToF lidar applications. Laser focus world. 56 (1), 81–86. Viitattu 19.4.2022. https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/176jdv/cdi_proquest_miscellaneous_2350923557

Pimentel, J. R. 2019. Automated vehicles: the safety of controllers, sensors, and actuators. Warrendale, PA: SAE International. Viitattu 11.6.2022. https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/176jdv/cdi_askewsholts_vlebooks_9780768098181

SAE International 2022. History. Viitattu 2.10.2022. <https://www.sae.org/about/history>

SAE J3016. 2014. Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems. Surface vehicle information report. Viitattu 15.3.2022. [FlexPaper AdaptiveUI JSP Example \(sae.org\)](#)

SAE J3016. 2021. SAE International On-Road Automated Vehicle Standards Committee. Viitattu 15.3.2022. [sae-j3016-visual-chart_5.3.21.pdf](#)

SAE J3016. 2021. SAE International. SAE Mobilus. Viitattu 2.10.2022. Vaatii käyttöoikeuden. https://saemobilus-sae-org.libproxy.tuni.fi/content/J3016_202104/#revisions

Sandvik. Rocktechnology.sandvik. 2022. Sandvik esittelee kaivosautomaatiovisiotaan maanalaisella AutoMine® Concept -porauslaitteella. Viitattu 19.11.2022. <https://www.rocktechnology.sandvik.fi/uutiset-media/uutisarkisto/2022/10/sandvik-esittelee-kaivosautomaatiovisiotaan-maanalaisella-automine-concept-porauslaitteella/>

Shruti, J., Meenakshi, S. & Sudip, P. 2020. Advances in Computational Intelligence Techniques. 1st ed. 2020. [Online]. Singapore: Springer Singapore. Viitattu 6.11.2022. https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/1j3mh4m/alma9911274265305973

Souza, E. M. & Negri, T. T. 2017. First prospects in a new approach for structure monitoring from GPS multipath effect and wavelet spectrum. Advances in space research. [Online] 59 (10), 2536–2547. Viitattu 22.11.2022. https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/176jdv/cdi_gale_infotraccademiconefile_A492067568

Synopsys. n.d. Automotive Resources. Glossary. The 6 Levels of Vehicle Autonomy Explained. Viitattu 27.3.2022. <https://www.synopsys.com/automotive/autonomous-driving-levels.html>

Tavallaey, S. S. & Ganz, C. 2019. 'Automation to Autonomy', in 2019 24TH IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON EMERGING TECHNOLOGIES AND FACTORY AUTOMATION (ETFA). [Online]. 2019 NEW YORK: IEEE. pp. 31–34. Viitattu 5.11.2022. https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/176jdvt/cdi_ieee_primary_8869329

Thomas, F. & Ros, L. 2005. Revisiting trilateration for robot localization. IEEE transactions on robotics. [Online] 21 (1), 93–101. Viitattu 22.11.2022. https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/176jdvt/cdi_gale_infotracacademicone-file_A129460197

Tiusanen, R., Malm, T. & Ronkainen, A. 2020. An overview of current safety requirements for autonomous machines – review of standards. Open Engineering (Warsaw). [Online] 10 (1), 665–673. Viitattu 24.7.2022. https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/176jdvt/cdi_doaj_primary_oai_doaj_org_article_aa9ce2ce64814e1d9df371d7ab721d79

Vargas, J., Alsweiss, S., Toker, O., Razdan, R., & Santos, J. 2021. An overview of autonomous vehicles sensors and their vulnerability to weather conditions. Sensors (Basel, Switzerland). [Online] 21 (16), 5397–. Viitattu 11.4.2022. https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/176jdvt/cdi_crossref_primary_10_3390_s21165397

Watzenig, D. & Horn, M. 2017. Automated Driving Safer and More Efficient Future Driving. 1st ed. 2017. [Online]. Cham: Springer International Publishing. Viitattu 14.4.2022. https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/1j3mh4m/alma9910631341405973

Zou, B. Pooria, C. & Julie, R. 2021. Cyber resilience of autonomous mobility systems: cyber-attacks and resilience-enhancing strategies. Journal of transportation security. [Online] 14 (3–4), 137–155. Viitattu 15.7.2022. https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/176jdvt/cdi_proquest_journals_2609527152

Yağdereli, E., Gemci, C. & Aktaş, AZ. 2015. A study on cyber-security of autonomous and unmanned vehicles. Journal of defense modeling and simulation. [Online] 12 (4), 369–381. Viitattu 24.7.2022. https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/176jdvt/cdi_crossref_primary_10_1177_1548512915575803

Yoo, I.-S. & Seo, S.-W. 2017. Accurate object distance estimation based on frequency-domain analysis with a stereo camera. IET intelligent transport systems. [Online] 11 (4), 248–254. Viitattu 23.11.2022. https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/176jdvt/cdi_webofscience_primary_000401300200008

Özgüner, Ü. Acarman, T. & Redmill, K. 2011. Autonomous ground vehicles. Boston: Artech House. Viitattu 14.4.2022. https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/1j3mh4m/alma9910649430605973

LIITTEET

Liite 1. Kysely nykyhetken ja tulevaisuuden tilanne autonomisissa / puoliautonomisissa liikkuvissa työkoneissa

1 (2)

SAATEKIRJE

TAMPERE 24.8.2022

TERVEHDYS HYVÄ VASTAANOTTAJA

Opiskelen Tampereen ammattikorkeakoulussa älyteollisuuden automaattoratkaisujen ylempää amk-tutkintoa. Teen Tampereen ammattikorkeakoululle opinnäytetyönäni laadullista -selvitystä / -tutkimusta autonomisten liikkuvien työkoneiden mahdollisuuksista. Opinnäytetyö toimii katsauksena tämän hetken viimeisimpiin teknisiin ratkaisuihin, autonomisten / puoliautonomisten liikkuvien työkoneiden osalta.

Osana opinnäytetyötä toteutetaan kyselytutkimus, nykyhetken ja tulevaisuuden tilanteesta autonomisista / puoliautonomisista liikkuvista työkoneista, johon kutsun teidät osallistumaan antaen vastauksellanne arvokasta tietoa tutkimukselle. Tavoitteena on saada selville tämänhetkinen tilanne autonomisten liikkuvien työkoneiden käyttöasteesta suhteessa manuaalisiin työkoneisiin, ovatko saatavilla olevat tekniset ratkaisut riittäviä niiden toteutukseen, mitkä ovat suurimmat haasteet autonomisten liikkuvien työkoneiden toteutuksessa ja mihin asioihin tulisi kiinnittää enemmän huomioita tulevaisuudessa. Tutkimuksen tuloksia tullaan hyödyntämään koulutus tarkoituksissa Tampereen ammattikorkeakoulussa.

Kyselyyn vastaaminen on vapaaehtoista, vastaukset tullaan käsittelemään ehdottoman luottamuksellisesti ja nimettömästi. Vastatkaa alla olevan kyselyn kysymyksiin kysymysten alapuolelle ja valmiin lomakkeen voitte lähettää sähköpostiosoitteeseeni. Kaikkien vastauksien pohjalta referoidaan vastauskokonaisuus koko vastaajakunnalta kysymyskohtaisesti, vastaajan tiedot eivät paljastu tuloksissa. Vastauslomakkeet tullaan hävittämään työn valmistuttua. Luvallanne mainitsen vain edustamanne yrityksen nimen, kyselyyn osallistuneiden yritysten listassa opinnäytetyössäni.

Tutkimus pyritään saamaan valmiiksi vuoden 2022 loppuun mennessä ja se tullaan julkaisemaan www.theseus.fi -sivustolla. Vastaathan kyselyyn viimeistään 20.9.2022 mennessä.

Opinnäytetyöni ohjaajana toimii Jarkko Peltonen Tampereen ammattikorkeakoulusta.

Ystävällisin terveisin

Joni Vepsäläinen

Puhelin:

Sähköposti: joni.vepsalainen@tuni.fi

KYSELY NYKYHETKEN JA TULEVAISUUDEN TILANNE AUTONOMISISSA / PUOLIAUTONOMISISSA LIIKKUVISSA TYÖKONEISSA

Saako edustamanne yrityksen nimen mainita kyselyyn osallistuneiden yritysten listassa?

Kyllä Ei

Edustamanne yritys:

1. Nykyhetken tilanne autonomisten / puoliautonomisten liikkuvien työkoneiden käytössä

Mikä osuus myytävistä liikkuvista työkoneista on autonomia / puoliautonomia suhteessa manuaalisiin liikkuviin työkoneisiin tällä hetkellä teidän organisaationne näkökulmasta?

Millä tavoin nykytekniset ratkaisut mahdollistavat autonomisten / puoliautonomisten liikkuvien työkoneiden käytön?

Ovatko markkinoilla saatavilla olevat tekniset ratkaisut / anturitekniikat / laitteistot riittävällä tasolla autonomisten / puoliautonomisten liikkuvien työkoneiden käytön mahdollistajana?

Mitkä ovat autonomisten / puoliautonomisten liikkuvien työkoneiden tämän hetken suurimmat haasteet?

2. Autonomiset / puoliautonomiset liikkuvat työkoneet tulevaisuudessa

Miten näette autonomisten liikkuvien työkoneiden kasvun tulevaisuudessa?

Mihin asioihin pitäisi kiinnittää huomiota, jotta pystyttäisiin saavuttamaan entistä suurempi autonomisten liikkuvien työkoneiden käyttöaste tulevaisuudessa?