AUTONOMISTEN JÄRJESTELMIEN TUTKIMINEN PUOLUSTUSVOIMISSA

HAMK
HÄMEEN AMMATTIKORKEAKOULU
HÄME UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Konetekniikan koulutus, Riihimäen kampus

Syksy 2022

Petri Malmi

HAMK
HÄMEEN AMMATTIKORKEAKOULU
HÄME UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Konetekniikka Tiivistelmä
Tekijä Petri Malmi Vuosi 2022
Työn nimi Autonomisten järjestelmien tutkiminen Puolustusvoimissa
Ohjaaja Jussi Horelli

Opinnäytetyön aiheena on autonomiset ajoneuvot Puolustusvoimien näkökulmasta. Työn tavoitteena oli perehtyä siihen, mitä maalla kulkeva ajoneuvo tarvitsisi autonomiseen eli itsenäiseen navigointiin ja kulkemiseen. Selvitys on tehty Puolustusvoimien Maanpuolustuskorkeakoulun tekniikan laitokselle ja keskittyy tarkastelemaan autonomisuutta huomioiden Puolustusvoimien ja sotilasympäristön vaatimuksia.

Autonomisia ajoneuvoja kehitetään sekä siviilipuolelle että armeijakäyttöön, vaikkakin nämä sektorit eroavat toisistaan olosuhteiden ja tavoitteiden osalta. Autonomia voidaan nähdä tulevaisuuden trendinä etenkin sodankäynnin muuttuessa teknisemmäksi. Aihe on relevantti myös Puolustusvoimille, jonka tulee seurata sotilasteknologiaa ja kehittyä sen mukana.

Selvitys on laadittu saatavilla olevan teorian ja tutkimuksien pohjalta ja pääpainoksi on valittu navigointi. Navigoinnin osalta on tarkasteltu sen toteuttamiseen vaikuttavia elementtejä huomioon ottaen suomalaiset metsäolosuhteet ja armeijaympäristö. Selvityksessä on myös perehdytty autonomisuuden tekoälyllisiin, teknologisiin ja eettisiin haasteisiin. Teorian pohjalta on ideoitu käyttökohteita, joissa Puolustusvoimat voisi hyödyntää maalla kulkevaa autonomista ajoneuvoa.

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että autonomia on laaja kokonaisuus, jonka toteuttaminen vaatii monimutkaisten osa-alueiden yhteistoimivuutta. Jokainen näistä osa-alueista, kuten tekoäly, alusta, näköteknologiat ja anturit, vaatisi oman tutkimuksensa. Teknologinen kehitys ohjaa merkittävästi autonomian kehitystä. Esimerkiksi lidar-valotutkien pienentyminen ja keinotekoisten konvoluutioneuroverkkojen (convolutional neural network) kehitys ovat asioita, joita voidaan käyttää näkökyvyn ja kuvantunnistuksen rakentamisessa.

Selvityksessä tunnistettiin potentiaalisia jatkotutkimuskohteita. Ajoneuvojen välinen tiedonjakoverkko eli VANET (Vehicular ad hoc network) vaatisi lisätarkastelua. Tämän lisäksi koneoppimisen tukemiseksi olisi järkevää tehdä jatkotutkimusta konvoluutioneuroverkkoihin liittyen sekä kerätä kuvadataa Suomen eri maastotyypeistä koneoppimista ajatellen.

Avainsanat Autonomia, koneoppiminen, navigointi, robotiikka
Sivut 56 sivua

HAMK
HÄMEEN AMMATTIKORKEAKOULU
HÄME UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical Engineering
Author Petri Malmi
Subject Research of autonmous vehicles in Finnish Defence Forces
Supervisors Jussi Horelli

Abstract
Year 2022

The subject of the thesis is autonomous ground vehicles from the perspective of Finnish Defence Forces. The goal was to find out what it would require to achieve autonomous navigation. The thesis was made to the technical department of National Defence University of Finnish Defence Forces and it focuses on the requirements of vehicle autonomy while taking into account the needs of military environment.

Autonomous vehicles are being developed for both civilian and military purposes, even though these fields differ from each other based on circumstances and goals. Autonomy can be seen as a future trend, especially since warfare is turning more technical each day. The subject is relevant to Finnish Defence Forces as well, since they have to follow the trends of military technology and evolve continuously.

This thesis has been made based on available theories and studies with the main focus being navigation. The review of navigation has been made while taking into account Finnish forest circumstances and military environment. The thesis also takes into account challenges regarding artificial intelligence, technology and ethics. Review has also been performed regarding potential uses of autonomous vehicles in Finnish Defence Forces.

In conclusion it can be said that autonomy is a broad concept. In order to achieve autonomy, a variety of complex parts need to be able to work together in unison. Each of these parts, such as artificial intelligence, chassis, vision technologies and sensors, would warrant their own study. Technological development steers the development of autonomy. For example the reduced size of lidar sensors and the development of convolutional neural networks (CNN) are factors that can be used in order to construct image recognition and machine vision.

Potential subjects for further research were also recognized. Vehicular ad-hoc networks between autonomous vehicles would require additional research. On top of that, it would be appropriate to conduct further research into convolutional neural networks and also gather image data from Finnish terrain for machine learning purposes.

Keywords Autonomy, machine learning, navigation, robotics
Pages 56 pages

Sisällys

1 Johdanto autonomisiin järjestelmiin ... 1

1.1 Autonomisuuden määritelmiä ... 2

1.2 Autonomisuuden tuomat edut ... 3

1.3 Autonomisuuden haasteet ... 7

1.3.1 Tekoälylliset haasteet ... 9

1.3.2 Teknonologiset haasteet ... 12

1.3.3 Eettiset haasteet ... 18

2 Esimerkkejä miehittämättömistä järjestelmistä ... 21

2.1 REX MKII (Israel Aerospace Industries, Israel) ... 23

2.2 Mission Master (Rheinmetall AG, Saksa ja Kanada) ... 24

2.3 Uran-9 (JSC 766 UPTK, Venäjä) ... 25

2.4 THeMIS ja Type-X (Milrem Robotics, Viro) sekä Norjan puolustusvoimien tutkimus ... 28

2.5 Yhteenveto olemassaolevista järjestelmistä ... 35

3 Puolustusvoimien huomioitavia asioita autonomisessa navigoinnissa ja mahdollisia käyttökohteita autonomiselle ajoneuvolle ... 37

4 Yhteenveto ja aiheet jatkotutkimuksille ... 44

Lähteet ... 47

1 Johdanto autonomisiin järjestelmiin

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia autonomisia järjestelmiä Puolustusvoimien käyttötarkoituksissa. Opinnäytetyö tehtiin maanpuolustuskorkeakoulun tekniikan laitokselle. Alkuperäinen tutkimuskysymys oli: mitä tarvittaisiin, jotta ajoneuvo pystyisi liikkumaan itsenäisesti eli autonomisesti. Työ käsittelee yleisiä autonomisuuden vaatimuksia ja erityisesti navigointia. Siviilipuolelle autonomiset ajoneuvot voivat olla pian jo todellisuutta, mutta armeijapuolen toimintaympäristöt sekä niiden vaativuus ovat hidastaneet autonomisuuden lisääntymistä sotilaskäytössä. Autonomiset järjestelmät ovat olleet osana fiktiota, joka on vienyt autonomisuuden pidemmälle kuin todellisuus. Monesti näissä fiktiivisissä teoksissa saatetaan käsitellä tekoälyn haasteita, autonomisuuden tuomia filosofisia ongelmia sekä koneistumisen luomia käytännön ongelmia. Yksi esimerkki tällaisesta faktaa ja fiktiota yhdistelevästä teoksesta on Masamune Shirow'n luoma Ghost In The Shell-tieteisfiktio, jonka teemoihin kuuluvat vahvasti ihmisyyden rooli maailmassa, jossa tekoäly sekä ihmisen robotisoituminen on edennyt pitkälle arkielämään kuin myös sotilasympäristöön.

Ainakin osittain autonomisesti toimivat erilaiset ajoneuvot ja varsinkin lennokit ovat yhä yleisimpiä sotilastehtävissä ja niitä kehitetään jatkuvasti vastaamaan paremmin kriisi- ja konfliktialueilta löytyviin haasteisiin. Autonomisia järjestelmiä voidaan käyttää myös pelastustehtävissä. Yksi hyvä esimerkki sotilaskäytössä olevista autonomisesti, tai ainakin osittain autonomisesti toimivista järjestelmistä, ovat miehittämättömät lennokit eli UAV:t (Unnamed Aerial Vehicle.) Lennokkijärjestelmiä käytetään yleisesti tiedustelutiedon keräämisessä ilmasta käsin. Lennokki voi toimia ihmisen ohjaamana, mutta on myös olemassa lennokkijärjestelmiä joissa lennokki, tai drone, suoriutuu lentoon lähdöstä, lennosta, laskeutumisesta sekä huoltotoimenpiteistä ilman ihmisen avustusta (Percepto 2019). Tässä selvityksessä pääpaino on kuitenkin ajoneuvoissa, jotka liikkuvat maastossa keskittyen navigointiin. Etenkin metsämaasto luo järjestelmälle omat haasteensa ja vaatimuksensa.

1.1 Autonomisuuden määritelmiä

Alkuun on tärkeä määritellä autonomisuuden, tai tarkemmin autonomisen järjestelmän määritelmä. Tieteen termipankki määrittelee autonomisuuden sanoilla ”omalakisuus tai riippumattomuus” (Tieteen termipanki, n.d.). Järjestelmämielessä puhutaan kokonaisuudesta, joka kykenee toimimaan itsenäisesti ja riippumatta ulkoisista tekijöistä.

Autonomia ajoneuvojen kannalta voidaan määritellä seuraavalla seuraavalla tavalla: ”autonomisuus tarkoittaa tässä yhteydessä siis ajoneuvon kykyä toimia itsenäisesti ennalta määrittelemättömässä liikenneympäristössä ajoneuvon omien järjestelmien ja mahdollisesti myös tietoliikenneyhteyksien ja taustajärjestelmien tukemana.” Lisäksi on olemassa kauko-ohjattuja puoliautonomisia ajonevoja, joissa kuljettaja on yhteydessä ajoneuvoon langattoman etäyhteyden välityksellä ohjaten ajoneuvoa käyttöliittymän avulla. (Salminen, n.d., s. 27)

Autonomiset ajoneuvot voidaan luokitella seuraaviin kolmeen tasoon:

-Puoliautonominen (semi-autonomous), jolloin ajoneuvon kuljettamisen sekä ohjaamisen hoitaa edelleen ihminen, mutta samaan aikaan ihmisen tukena toimii taustajärjestelmiä, jotka auttavat esimerkiksi kuljettajaa kaistalla pysymisessä.

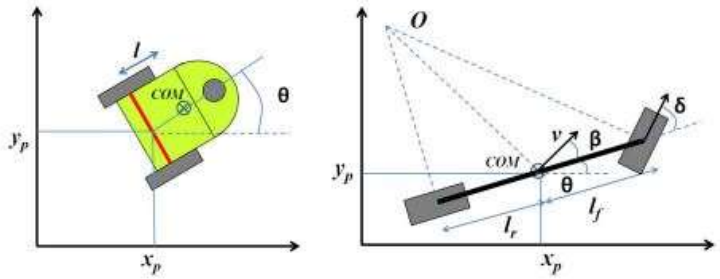
-Pitkälle autonominen (highly autonomous), jolloin järjestelmän ohjaamisen hoitaa edelleen ihminen, mutta ihmisen tukena on järjestelmiä, jotka voivat olosuhteiden edellyttäessä ottaa ajoneuvon ohjaamiseen liittyviä tehtäviä hallintaansa ilman kuljettajan aktiivista osallistumista. Esimerkiksi ajoneuvon hätäjarrutusjärjestelmä.

- Täysautonominen (fully autonomous), jolloin ajoneuvon kaikki ohjaukseen liittyvät järjestelmät ovat integroituja niin, että ajoneuvo pystyy hoitamaan ajamiseen liittyvät tehtävät ilman kuljettajan osallistumista. Kuljettajan on kuitenkin pystyttävä ongelmatilanteessa ottamaan ajoneuvo turvallisesti hallintaan. (Salminen, n.d., s. 28)

Koska tämän selvityksen pääpaino on maalla kulkevissa järjestelmissä, on hyvä ottaa esille myös niitä koskeva karkea jaottelu alustojen kääntögeometrian suhteen, eli niin sanotut

”bicycle” ja ”unicycle”-mallit (Kuva 1). Ensimmäinen ryhmä on autoa muistuttava kulkuneuvo, jossa on kaksi kääntyvää pyörää. Tässä mallissa kulkuneuvon kääntögeometriaa sekä liikerataa hahmotetaan käyttämällä akselia sekä kahta kääntyvää pyörää. Kyseinen malli voidaan myös yksinkertaistaa muotoon, jossa akselin päässä olevat pyöräparit korvataan yksittäisillä pyörillä jolloin malli muistuttaa polkupyörää. Tästä geometriamallista käytetään nimitystä ”bicycle” (tunnetaan myös nimellä ”Ackermann steering geometry”) (Noor Hazifah ym., 2016, ss. 225–254). Toinen ryhmä ovat ajoneuvot, jotka liikkuvat tasauspyörästöä käyttäen tai liukuohjattuna (skid steerin), jolloin laitteen pyörät eivät käänny, vaan vasen ja oikea pyöräpari pyörivät ajoneuvon käännöksen aikana eri nopeuksilla tai paikallaan pyörähtäessä vastakkaisiin suuntiin, kuten esimerkiksi teloilla kulkevat ajoneuvot. Tämän ajoneuvoryhmän kääntögeometriaa voidaan mallintaa yksittäisellä pyöräparilla, joiden välissä on akseli. Tämäkin malli voidaan yksinkertaistaa malliin, jossa liikettä mallinnetaan yhdelle renkaalle, ikään kuin yksipyöräinen josta taasen juontuu nimitys ”unicycle” (Phani ym., 2022, s. 2). Tässä selvityksessä käydään myöhemmin läpi erilaisia olemassa olevia autonomisia tai puoliautonomisia ajoneuvoja ja näissä ajoneuvoesimerkeissä on karkeasti nähtävissä edellä mainittu jako.

Kuva 1. Unicycle ja bicycle ohjausgeometriat. (Phani ym., 2022, s. 2)



1.2 Autonomisuuden tuomat edut

Ajoneuvojärjestelmien täysautonomisuuden sekä osittaisen autonomisuuden saavuttamiseen käytetään huomattavia rahasummia erityisesti siviilipuolella, mutta myös armeijateollisuuden parissa. Vuonna 2020 ”Car and Driver”-julkaisu uutisoi, että itseajavan

auton kehittämiseen on jo käytetty 16 miljardia dollaria (Baldwin, 2020). Lukema kertoo siviiliteollisuuden halusta saada itseajava auto maanteille ja kaupunkeihin ja kovasta uskosta tulevaan teknologiaan. Siviilipuolella nähdään etuja itseajavaan autoon liittyen (kuten esimerkiksi turvallisuuden lisääminen, inhimillisten virheiden minimointi, liikuntarajoitteisten ihmisten liikennöinti ja ajomatkaan käytetyn ajan hyötykäyttö), muuten ei näin mittavia investointeja käytettäisi tutkimukseen ja kehitykseen. Samaan aikaan armeijateollisuuden eri toimijat ja yritykset kehittelevät myös eri autonomian tasoilla toimivia ajoneuvoja erilaisiin konflikti- sekä katastrofialueiden käyttötarkoituksiin. Samalla tavalla tätäkin kehitystyötä ohjaa tietynlaiset motiivit ja tavoiteltavat edut, mutta näissäkin eduissa on nähtävissä samankaltaisia motivaattoreita siviilipuolen kanssa.

Irakin sodan aikana elokuussa vuonna 2003 Yhdysvaltojen armeijan sotilas kuoli ja neljä sotilasta haavoittuivat kuljetussaattuetta vastaan tehdyssä väijytyksessä (Aljazeera, 2003). Toisena traagisena esimerkkinä voidaan nostaa esille tammikuussa vuonna 2007 tapahtunut avustusjärjestöä kohtaan tehty väijytys, jossa yhdysvaltalainen nainen sekä neljä muuta henkilöä saivat surmansa ja useita henkilöitä loukkaantui (CBS News, 2017). Edellä mainitut ovat esimerkkejä konfliktialueiden tapahtumista, jotka ovat nousseet otsikoihin kansainvälisissä uutisissa. Tämä tuo esille osittain sitä, kuinka tappionsietokyky länsimaissa on alentunut verrattaessa aikaisempiin sotilaskonflikteihin ja kuinka konfliktialueilla toimiminen on vaarallista riippumatta siitä, onko kyseessä sotilas vai avustustyöntekijä. Tähän liittyen Army-technologyn artikkelin mukaan Yhdysvallat on tavoitellut kuljetuskalustonsa automatisointia viime vuosikymmenien aikana, eli käytännössä tämä tarkoittaisi autonomisesti toimivia raskaita ajoneuvoa kuten rekkoja (Turnbull, 2019). Yhtenä tähän kehityssuuntaan vaikuttavista asioista on nimenomaan Afganistanista ja Irakista tehdyt havainnot sekä kuljetuskaluston että niitä ajavan henkilöstön haavoittuvuus.

Yksi keskeisistä eduista autonomisuudessa armeijapuolella on tappioiden vähentäminen kun käytetään miehittämättömiä ajoneuvoja konfliktialueella, esimerkiksi jo mainituissa huollossa ja logistiikassa. Hyöty on sama kuin siviililiikenteessä, vaikka siviililiikenteessä ei puhutakaan tappioista. Toisena saavutettuna etuna voidaan myös mainita aikaisemmin siviiliesimerkissäkin mainittu inhimillisten virheiden minimointi. Autonomisesti toimiva tai avusteinen järjestelmä voisi toimiessaan tehdä päätöksiä ihmistä nopeammin sekä

havainnoida ympäristöä ihmistä tehokkaammin, etenkin hektisessä taistelutilanteessa. Lisäksi yleisesti robotteja voidaan hyödyntää tarkkuutta vaativissa tehtävissä (esimerkiksi etäisyyksien laskemisessa tai raivaamisessa), sekä käyttää koneoppimista uusien tilanteiden opettamisessa. Koneoppimista voidaan myös käyttää navigoinnin kehittämisessä. Kone ei myöskään väsy samalla tavalla kuin ihminen. Tietysti autonomisesti toimiva laite tarvitsee myös jonkinlaista virtalähdettä toimiakseen, oli se sitten polttoaineella tai sähköllä toimiva. Automatisoitu laite tai robotti kykenee toimimaan täysillä koko toimintasyklin, eikä toiminnan laatu muutu loppua kohden kuten ihmisen tapauksessa voi käydä. Voidaan siis ajatella autonomisen järjestelmän olevan ainakin teoriassa tehokkaampi kuin ihminen.

Autonomisuudella olisi myös mahdollista saavuttaa rahasäästöjä pitkässä juoksussa. Autonomian avulla pystyttäisiin vähentämään konfliktialueella tarvittavan henkilöstön määrää sekä vähentää palkka- ja muita kustannuksia. The Fiscal Times arvioi vuonna 2013, että yhdysvaltalainen sotilas Afganistanissa maksaa Pentagonille vuodessa noin 850.000 dollaria (joidenkin arvioiden ollessa vielä korkeampia) eikä kyseiseen lukuun sisälly konfliktin jälkeisiä kustannuksia kuten terveydenhuoltoa tai terapiaa (Francis, 2013). Tietysti tämä esimerkki on Yhdysvalloista, joka on maailmanlaajuinen sotilasmahti, mutta tämä luo jonkinlaista kuvaa siitä kuinka paljon henkilöstö sotatoimialueella voi kustantaa. Autonomisia laitteita lisäämällä voitaisiin vähentää henkilöstöä esimerkiksi tukitoiminnoissa, kuten logistiikassa.

Lopuksi voidaan tuoda esille kuinka Yhdysvaltain puolustusministeriö (Department of Defense) on 2007 vuonna julkaistussa raportissaan ”Unmanned Systems Roadmap 2007 – 2032” tuonut esiin teollisuusrobottien maailmasta tutun ajatuksen: miehittämättömät ajoneuvot sopivat tehtäviin, jotka ovat ”dull, dirty, or dangerous” eli tylsiä, likaisia tai vaarallisia. (Yhdysvaltain puolustusministeriö, 2007, s. 19) Armeijamaailman kontekstissa rutiinit, väsymys ja monotonisuus (jotka voivat aiheuttaa myös tylsistymistä) ovat tekijöitä, jotka rapauttavat ihmisen havainnointikykyä, esimerkiksi tukikohtapartioinnin yhteydessä. Samaan aikaan taistelukentillä voi ihminen altistua erilaisille kemikaaleille, bioaseille tai säteilylle, jolloin toiminta-aluetta voidaan pitää kontaminoituneena, eli ”likaisena.” Vaara taas on taistelukentällä aina läsnä, mutta esimerkiksi improvisoitujen räjähteiden yleisyys sekä niiden raivaaminen luo erityisesti vaaraa alueella toimiville henkilöille. Tämän lisäksi

ajoneuvot voivat ottaa viholliskosketuksessa koviakin osumia ja painevaikutuksia, jotka saattavat olla ajoneuvon miehistölle kohtalokkaita. Kun taas teoriassa miehittämätön ajoneuvo kykenee toimimaan niin kauan kuin ajoneuvon omat järjestelmät toimivat. Täten on perusteltavaa pohtia näissä osa-alueissa tehtäviä, joita voitaisiin antaa miehittämättömien ajoneuvojen tehtäväksi.

Puolustusvoimat on myös oman 28.3.2022 tiedoksiantonsa mukaan osallistumassa tutkimukseen miehittämättömien ajoneuvojen käytöstä maanpuolustuksessa. Puolustusvoimat kertoo osallistuvansa EU-tutkimusprojektiin Integrated modulad Ground Systems (iMUGS), jonka tarkoituksena on kehittää ihmisen ja koneen yhteistoimintaa. Puolustusvoimat arvioi samalla miehittämättömien lavettien toimintaa ihmisen rinnalla arktisissa olosuhteissa. Esimerkiksi Kainuun Prikaatissa (Kuva 2.) on tehty testausta tähän liittyen. Aika näyttää mitä kyseinen tutkimusprojekti tuo tullessaan, mutta osallistuminen kertoo siitä, että Puolustusvoimissa on myös kiinnostusta autonomiaa kohtaan. (Puolustusvoimat, 2022)

Kuva 2. Puolustusvoimat kenttätestaamassa THeMIS-ajoneuvoa. (Harju, 2022)

1.3 Autonomisuuden haasteet

Autonomisilla järjestelmillä on selätettävänään haasteita ennen niiden laajempaa yleistymistä. Vaikka teknologiassa on tehty suuria harppauksia ensimmäisten 1940-luvun lopulla suunniteltujen teollisuusrobottien jälkeen, on haasteita silti riittänyt ratkaistavaksi. Teollisuusympäristö on kuitenkin kontrolloitu ympäristö, jossa muuttujat saadaan pidettyä hyvin maltillisina, kun taas luonnossa (joka on kontrolloimaton ympäristö) esiintyy vaihtelevuutta ja tietynlaista ”kaaosta.” Kun kyseessä on ajoneuvo, jonka tulisi toimia metsässä tämän ”kaaoksen” keskellä autonomisesti, nousee esiin monenlaisia toimintaan vaikuttavia muuttujia.

Yhdysvaltojen asevoimien tutkimusorganisaatio DARPA (US Defense Advanced Research Projects Agency) on käyttänyt resurssejaan autonomisten armeija-ajoneuvojen tutkimukseen. Tästä yhtenä käytännön esimerkkinä ”DARPA Grand Challenge” (Kuva 3.), jonka tarkoituksena on, että kilpailijat osallistuvat kehittämillään ajoneuvoilla kilpailuun päämääränään läpäistä järjestäjien luoma ajorata (Hooper, 2004). Ensimmäinen kilpailu järjestettiin vuonna 2004, vuosi Irakissa tapahtuneen väijytyksen jälkeen ja viimeisin kilpailu pidettiin elokuussa vuonna 2021 (Defense advanced research arojects agency, n.d. -a). Alkuperäisessä Darpa challengessa vuonna 2004 päämäärä oli ajaa ajoneuvo Kaliforniasta Nevadaan niin että ajoneuvon oli pystyttävä navigoimaan koko matka autonomisesti. Matkan pituus oli 142 mailia (noin 229 kilometriä) ja palkintona onnistumisesta voittaja saisi miljoonan dollarin suuruisen rahapalkinnon. Kilpailussa huomattiin myös autonomisten järjestelmien haasteet, sillä yksikään kilpailuun osallistuneista ajoneuvoista ei suoriutunut matkasta kokonaan johtuen teknisistä sekä maastoon liittyvistä haasteista. Seuraavana vuonna 2005 oli havaittavissa selkeää kehitystä, sillä viisi ajoneuvoa navigoi onnistuneesti maaliin (Defense advanced research projects agency, n.d.-b).

Kuva 3. DARPA Grand Challengen kilpailijoita vuodelta 2004. (Davies, 2017)

Esimerkki DARPA:n järjestämästä kilpailusta osoittaa sen, että jopa Yhdysvaltojen asevoimien tutkimusorganisaatio, yhteistyössä Yhdysvaltain puolustusministeriön valtavan puolustusbudjetin kanssa, ei ole vielä kirjoitushetkellä kyennyt tuottamaan täysin autonomista ajoneuvoa, joka kykenisi toimimaan taistelutilanteessa. Kehitteillä olevat ratkaisut ovat lähinnä robottiavusteisia ajoneuvoja, joissa ihminen hoitaa käytännön ohjaamisen robottiavusteisesti (kuten aikaisemmissa autonomisuuden luokitteluissa nähtiin.) Taustalla olevat haasteet liittyvät navigointiin ja siihen kuinka nopeasti ajoneuvo kykenee navigointia tekemään maastossa. Autonomisesti etenevä ajoneuvo ei vielä kykene navigoimaan sekä etemään yhtä nopeasti kuin koulutettu vaunumiehistö (Turnbull, 2019). Siviiliajoneuvoissa, kuten esimerkiksi Teslan kehittämissä itseajavissa autoissa on käytössään ennalta määritetty tieverkosto tietoineen, jonka avulla auto kykenee navigoimaan, mutta myös tunnistamaan esteet kuten jalankulkijat tai pyöräilijät. Armeijakontekstissa taas ajoneuvo toimii yleensä alueella josta ei todennäköisesti ole olemassa samalla tavalla dataa sekä ennakoitavuutta, alue voi olla täysin uusi, tai se voi olla muuttunut radikaalistikin viime kerrasta. (Anderson, 2016)

Tämän työn puitteissa haasteet on luokiteltu seuraavaan kolmeen kategoriaan:

- Tekoälylliset haasteet
- Teknologiset haasteet (esimerkiksi anturiteknologia)
- Eettiset haasteet

Seuraavissa kappaleissa pureudutaan hieman näihin haasteisiin syvemmin, sekä tutkitaan erilaisia sudenkuoppia, joita autonomisuuden kannalta kyseisissä kategorioissa voisi olla. On hyvä muistaa, että haasteet tarjoavat myös mahdollisuuden kehittää olemassa olevaa ja kehitys monella alalla voi johtaa siihen, että tässä työssä esille tuodut haasteet ovat voitettavissa.

1.3.1 Tekoälylliset haasteet

Ihminen ottaa päätöksiä tehdessään huomioon monia asioita kuten tilanteen kontekstin, aikaisemmat kokemukset ja tunteet. Voidaan siis sanoa, että ihmisen päätöksenteko ei ole pelkästään binääristä. Wiio (1989, s. 13-16) listaa ihmisen käyttäytymiseen liittyvät asteet yksinkertaisimmasta monimutkaisempaan:

1. Aistinvaraiset toiminnot ovat toimintoja, jotka eivät vaadi tietojen käsittelyä. Itsensä suojaaminen esimerkiksi polttavalta esineeltä on aistinvaraisesti tapahtuvaa toimintaa ulkoisen ärsykkeen perusteella.
2. Vaistotoiminnot ovat perinnöllisen muistin toimintoja. Tällaisia ovat esimerkiksi tietynlaiset ihmisen taipumukset toimia ennustettavalla tavalla. Konfliktin kontekstissa voidaan tätä ajatella tilanteena, jossa ihminen hakeutuu tulituksen alla automaattisesti suojaan.
3. Oppiminen toimii ihmisten elämän sekä käyttäytymisen perustana. Ihminen toimii poikkeuksellisissa tilanteissa sitä paremmin, mitä tutumpi tilanne hänelle on. Tämän lisäksi toistojen merkitys korostuu ihmisen oppimisessa.
4. Päättely ja ajattelu edustavat ihmisen käyttäytymisen monimutkaisinta tasoa. Ihminen kykenee ratkaisemaan uusia yllättäviä tilanteita päättelemällä.

Tämän lisäksi päättely mahdollistaa uudenlaisen toiminnan aikaansaamisen. Tätä voisi ajatella konfliktitilanteessa ja etenkin taistelutilanteessa tehtävätaktiikan mukaisena johtamisena sekä päätöksien tekemisenä.

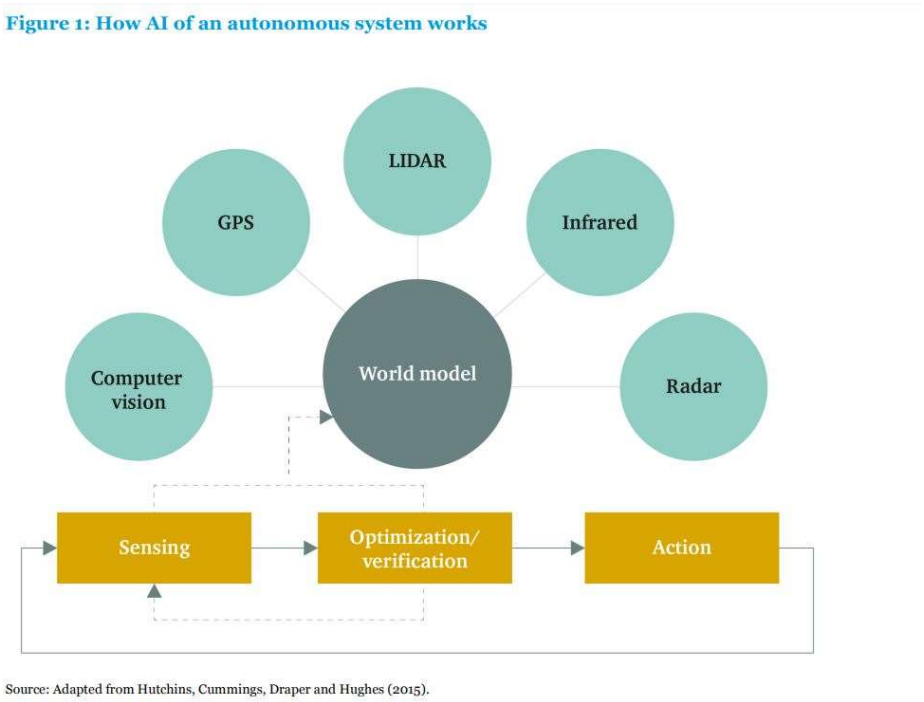
Edellä mainituista eri tasoista voidaan nähdä, kuinka ihmisen käyttäytyminen sisältää aistinvaraisia reaktioita. Samanlaisia aistinvaraisia reaktioita voidaan saada aikaiseksi esimerkiksi konemaailmassa erilaisilla antureilla, sekä anturidataa seuraavilla toiminnoilla. Kun esimerkiksi lämpöanturi havaitsee äkillisen lämpötilan nousun, se voi käynnistää erilaisia toimintoja kuten moottorin jäähdytyksen. Kun siirrytään aistinvaraisista toiminnoista eteenpäin, saavutaan jo tekoälyn kannalta paljon vaativimpien asioiden äärelle. On kuitenkin hyvä luoda ero tässä yhteydessä automaation sekä autonomisuuden välille. Automatisoitu järjestelmä perustuu selkeään ”if-then-else”-sääntöperusteiseen rakenteeseen. Jos järjestelmään syötetään tietty tieto tai signaali, seuraa siitä aina tietty ennalta määritetty lopputulos. Autonomisessa järjestelmässä taas järjestelmä tekee arvionsa mukaan parhaan mahdollisen päätöksen perustuen sille tulvivaan tietoon tai signaaleihin, eli järjestelmä järkeilee todennäköisyyksiin nojaten parhaan mahdollisen arvauksen siitä, miten sen tulisi toimia. Tämän tuloksena autonominen järjestelmä ei tuota samassa tilanteessa aina välttämättä samaa lopputulosta vaan lähinnä tietynlaisen skaalan erilaisia lopputuloksia. (Cummings, 2017, s. 3)

Ihminen kykenee oppimaan ja kerryttämään kokemusta erilaisista tilanteista. Kuten aikaisemmin luetelluissa asteissa mainintaan, ihminen kykenee toimimaan paremmin mitä tutumpi tilanne on. Tekoälyn kannalta tulisi tilanne pystyä ennakoimaan, jotta voidaan etukäteen opettaa tekoälylle oikeat toimintatavat eri tilanteissa. Tämän lisäksi päättely on ihmiselle ominainen käyttäytymisaste, jossa ihminen pystyy mukautumaan yllätäviinkin tilanteisiin. Yllättävät tilanteet saattavat vaatia nopeitakin päätöksiä, jolloin ihmisen on kyettävä päättelyllä tekemään oikea päätös, tai mahdollisimman hyvä päätös tai ylipäätään jonkinlainen päätös. Tämä prosessi on hyvinkin monimutkainen ja asettaa autonomiselle tekoälylle todella suuria haasteita. Hyvä esimerkki monimutkaisesta tilanteesta nousi esiin kun Google testasi itseajavaa autoa 2015. Tällöin Googlen itseajava auto ajautui tilanteeseen, jossa se kohtasi eläkeläisen pyörätuolissa jahtaamassa lintua. Auto osasi kuitenkin toimia oikein ja pysähtyi odottamaan kunnes oli taas turvallista edetä (Guardian,

2017). Esimerkkinä tämä kuitenkin valottaa myös kuinka autonominen laite voi kohata yllättäviäkin tilanteita, joita laitteen suunnittelija ei ole voinut mitenkään ennakoida.

Ihmisen äly noudattaa yleisellä tasolla prosessia, joka tunnetaan ”havainto-kognitio-toiminta” tiedonkäsittelysilmukkana (Cummings, 2017, s. 3). Käytännössä henkilö havaitsee jotain maailmassa, pohtii mahdollisia toimintatapoja ja pohdittuaan toimintoja valitsee niistä sopivan tilanteeseen. Tekoälyn tarkoitus on toimia vastaavanlaisella tavalla, eli havainnoida maailmaa antureiden välityksellä, puntaroida sen perusteella toimintoja ja tehdä päätös (Kuva 4.) kuten aikaisemmin käytiin läpi.

Kuva 4. Havaintokuva autonomisen järjestelmän päätöksenteosta. (Cummings, 2017, s. 3)



Haasteeksi muodostuu kuitenkin tekoälyn kanssa oikeanlaisen maailmamallin (world model) luominen sellaisessa muodossa, että tietokone sen ymmärtää Cummings, 2017, s. 4). Tämän maailmamallin luominen, päivittäminen sekä oikeellisuus ovat avain tehokkaaseen autonomiseen tekoälyyn. Tämän mallin luonti ja ylläpito vaatii kuitenkin laskentatehoa ja kuormittaa täten järjestelmää, kun taas esimerkiksi ihmisen tapauksessa maailman havainnointi ei välttämättä ole kognitiivisesti kuormittavaa, kuten esimerkiksi autoa ajaessa.

Todellisuudessamme on olemassa myös eräs aspekti, jota on vaikea sovittaa autonomisen tekoälyn toimintaan vaikka maailmamalli olisikin kunnossa ja se on epävarmuus. Ihminen kykenee toimimaan epävarmuuden vallitessa, mutta tekoälyn toiminta vaikeutuu epävarmuuden kasvaessa (Cummings, 2017, s. 6). Esimerkiksi siviililiikenteessä on konfliktialueeseen verrattuna vähemmän epävarmuutta. Suuren epävarmuuden kanssa toimiminen on vielä tekoälylle hankalaa ja nimenomaan epävarmuuden määrä kasvaa hyvin suureksi kun siirrytään sotilasympäristöön ja konfliktialueelle. Tekoälyä ohjaavat algoritmit eivät kykene välttämättä yleistämään, vaan toimivat algoritmien luomisen aikana määriteltyjen muuttujien varassa. Kuten aikaisemmin todettiin, ihminen kykenee tekemään päätöksiä kokemuksiin, päättelykykyyn ja moraaliin perustuen. Osana tätä voidaan myös puhua ihmisiltä löytyvästä intuitiosta. Asia, kuten intuitio on konseptina niin abstrakti, että sitä on hyvin vaikea mallintaa tekoälylliseen muotoon. Käytännössä vaikka tekoälyn ohjaama autonominen laite tunnistaisi tiellä liikkuvan esineen rekaksi ja tunnistaisi, että sitä kuljettaa ihminen, riittääkö tekoälyn päättelykyky toimimaan oikein kyseisessä tilanteessa ja tekemään oikeat johtopäätökset (Cummings, 2017, s. 7)?

Koska tekoälyssä on vielä suuria haasteita (joita tässäkin kappaleessa on käsitelty), on tarkoin harkittava mitkä ovat ne toiminnot autonomisessa järjestelmässä, jotka tulee jättää tekoälyn varaan. Esimerkiksi voidaanko tekoälyn varaan antaa vaativien navigointitehtävien lisäksi voimankäyttötehtäviä, kuten esimerkiksi kuolettavan voiman käyttäminen? Vai ovatko nämä toimintoja, jotka olisi syytä jättää autonomisuuden, tekoälyn ja epävarmuuden ulkopuolelle? Tulevaisuus näyttää mihin suuntaan tekoäly kehittyy, mutta tällä hetkellä tekoälyyn liittyy todella paljon avoimia kysymyksiä autonomisuuden suhteen.

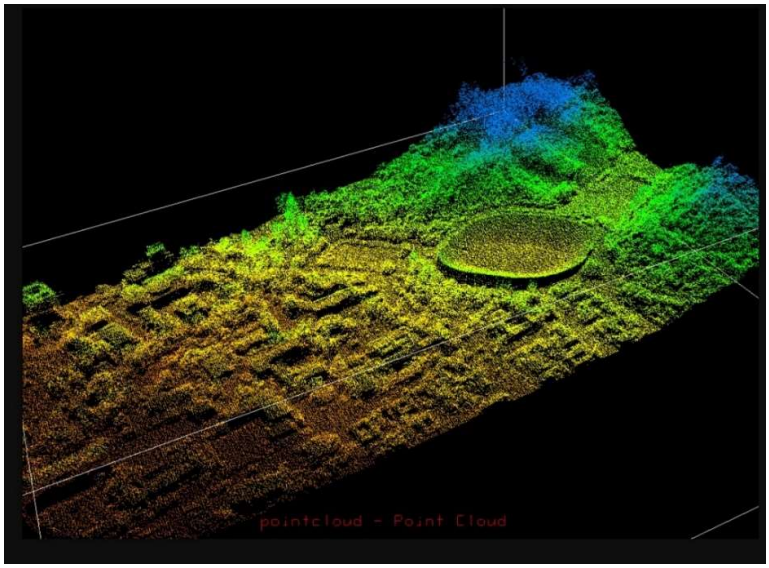
1.3.2 Teknonologiset haasteet

Autonomisuudelle asettuu haasteita myös itse järjestelmässä käytettävän teknologian osalta. Tässä kappaleessa käydään yleisesti läpi erilaisia autonomiseen järjestelmään liittyviä teknologisia haasteita. Koska kirjo on hyvin laaja, ei ole mielekästä käydä kaikkia yksityiskohtaisesti läpi, vaan tarkoitus on tutustua yleisimpiin haasteisiin. Konfliktialueella toimivaan järjestelmään kohdistuu tiukkoja vaatimuksia ja uhkia teknologian suhteen, pitää miettiä esimerkiksi kuinka haavoittuvainen järjestelmä on häirinnälle. Tietokonejärjestelmä

voi olla haavoittuvainen myös kaappauksille, joka on myös otettava järjestelmän suunnittelussa huomioon (Turnbull, 2019). Tämän lisäksi autonominen järjestelmä tarvitsee toimiakseen näkökykyä sekä muita aisteja, kuin myös energiaa toimiakseen. Nämä kaikki tarvittavat ominaisuudet tarkoittavat erilaisten antureiden, akkujen ja muiden teknologioiden hyödyntämistä ja samaan aikaan nämä asettavat itse järjestelmän toiminnalle reunaehtoja. Haasteita järjestelmälle asettaa myös itse ajoneuvon alusta, eli käytännössä onko ajoneuvossa tasauspyörästö ja maastoon soveltuva määrä renkaita vai esimerkiksi liukuohjaus ja telaketjut. Myös alustan vakaus on oltava riittävällä tasolla.

Autonomisen ajoneuvon tulee pystyä näkemään ja hahmottamaan ympäristöään. Tämä tarkoittaa käytännössä kameroiden, sekä antureiden ja tutkien käyttöä. Eräs tähän soveltuva konenäköä tuottava teknologia on lidar-valotutka (Light Detection And Ranging.) Lidarin toiminta perustuu laservalopulssiin, jonka tutka lähettää kohteeseen ja mittaa ajan joka pulssilla kestää palata kohteesta heijastuksena. Tuloksena on topografinen pistepilvi (Kuva 5.), josta on mahdollista määritellä muotoja, kuten esimerkiksi autoja, jalankulkijoita sekä määrittää näille erilaisia ominaisuuksia kuten nopeuksia (Hossay, 2019, s. 275). Lidaria käytetään yleisesti juuri robotiikassa, kuin myös lentokoneissa lentokorkeuden mittaamiseen. Lidar-tutkaa on käytetty myös Uberin itseajavassa autokokeilussa, kyseiseen ajoneuvoon palataan myöhemmin etiikan yhteydessä.

Kuva 5. Esimerkki Lidarin pistepilvestä. (Unavco, n.d.)



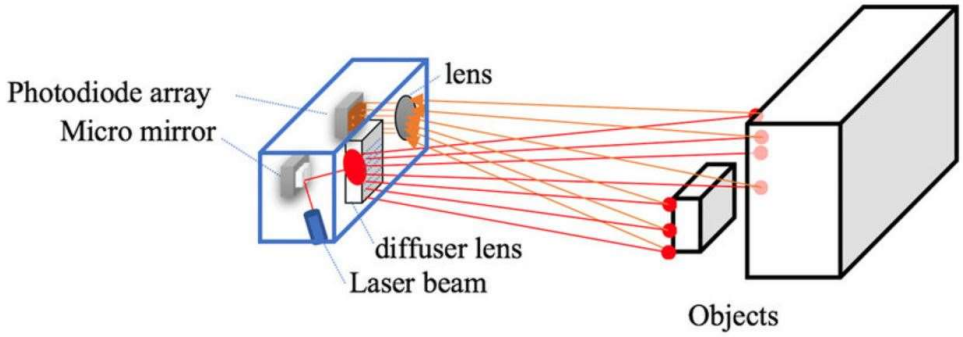
Lidariin liittyy muitakin rajoittavia tekijöitä, yksi niistä on hinta, joka voi valmistajasta vaihdelleen olla jopa noin 1000 dollaria per tutka (Root, 2019). Tosin kuluttajamarkkinoille tähdätyillä tuotteilla on hieman erilaiset hintapaineet verrattuna militariapuoleen. On myös hyvä huomioida, että monet uudet teknologiat sekä anturit ovat ajan myötä tulleet edullisemmiksi valmistuksen ja tuotteiden kehittyessä. Lidarissakin on teknologialähtöisiä rajoitteita, kuten esimerkiksi se, että lidarin näkökyvyssäkin on reunaehtoja. Lidarin näkökyky on noin 100m – 300m, eikä sen tehoa ole mahdollista nostaa ilman, että valotutkan toiminta aiheuttaa silmävauriovaaraa lähellä oleville ihmisille ja eläimille. Käyttöä rajoittavat myös sääolosuhteet kuten esimerkiksi sumu, lumisade (sääilmiöitä joita meilläkin Suomessa esiintyy usein) ja muut ilmassa olevat partikkelit, jotka tutka voi helposti tulkita kiinteäksi pinnaksi niiden estäessä valon läpäisyn. Kolmannen haasteen muodostavat valoa heijastavat pinnat. (Adler, 2018)

Lidarin heikkous on nimenomaan siinä, että se tarvitsee valoa toimiakseen. Esimerkkinä Lidar-tutkaan liittyvistä kysymyksistä on, että osaako lidar tarvittaessa erottaa kaksi kiinteätä pistepilveä toisistaan, esimerkiksi eron muovipussin ja tiellä olevan betonimöykyn välillä (German, 2020)? Lidarin heikkouksia on myös sen vaatima tila, sekä muut järjestelmät sen ympärille, kuin myös järjestelmän herkkyys rikkoutumiselle etenkin ajoneuvon kohdatessa töyssyjä, iskuja, äärimäisiä sääolosuhteita sekä lämpötilavaihtelua. (Hossay, 2019, s. 275)

Toki kehitys myös lidar-teknologian ympärillä etenee ja helpotusta anturiteknologiaan voisi tuoda tulevaisuudessa ”Solid-State lidar”-teknologia. Solid-State lidar ei käytä pyöriviä osia kuten mekaanisesti toimivat lidarit. Tämänlaisessa lidarissa on prosessori, joka ohjaa optomekanista laitetta mosfettia käyttämällä. Laserimpulssi ohjataan laseridiodin ja mosfetin kautta ja heijastettu pulssi poimitaan photodiodin avulla talteen ja vastaanotettu pulssi eli signaali käsitellään jälleen prosessorilla (Kuva 6.). Eri valmistajien lidar-tutkat eroavat prosessorien, diodien ja muiden ratkaisujen osalta, mutta käytetty teknologia on periaatteeltaan sama. (Dubois, 2018) Koska mekaanisesti liikkuvia osia on vähemmän, tekee se Solid-State lidarista kestävämmän sekä halvemman valmistaa. Käytännössä Solid-State lidar kykenee suuntamaan pulssit ilman, että lähettimen suuntaa tarvitsee fyysisesti muuttaa (Dubois 2018). Tämänlainen Lidar kykenee noin 270-asteen horisontaalisen näkymän

kartoittamiseen, kun taas mekaaninen valotutka pystyy skannaamaan koko ajoneuvon ympäristön eli 360-astetta ajoneuvon ympärillä. (Rodnitzky, 2021)

Kuva 6. Solid state Lidar. (Rosique ym., 2019)



Paperilla Solid-State lidar tuntuu soveltuvalta ympäristön kartoitusteknologialta autonomisiin laitteisiin, sillä se tarjoaa edullista, pienempää sekä kestävämpää ratkaisua tilan kartoittamiseen ajoneuvon ympärillä, eli tuo ajoneuvolle kykyä ”nähdä” ympärillä vallitsevia olosuhteita. Konfliktialueella toimivan ajoneuvon tulee pystyä toimimaan äärimäisissä olosuhteissa joissa ajoneuvo saattaa joutua äkillisten iskujen tai jopa tulivaikutuksen alaiseksi. Tulevaisuus näyttää mihin suuntaan lidar-teknologia kehittyy, sillä teknologialla on todennäköisesti tulevaisuudessa paljon annettavaa autonomialle. Ennusteiden mukaan Solid State lidar-teknologian markkinoille povataan 30,6% kasvua vuoteen 2026 mennessä ja tämän kehityksen takana on siviiliajoneuvojen autonomian lisääntyminen (Research and markets, 2020). On siis turvallista olettaa, että tätä teknologiaa tullaan näkemään ajoneuvoissa jatkossakin. Konenäkö on aiheena varsin mielenkiintoinen, mutta samalla myös monimutkainen ja pitää sisällään myös erilaisia kameroita ja teknologioita, mutta niiden laajuuden vuoksi ei näköteknologioihin syvennytä sen suuremmin tämän selvityksen puitteissa.

Merkittävän haasteen autonomiselle toiminnalle tuottaa myös autonomisen ajoneuvon navigoinnin toteuttaminen ja siihen liittyvä laitteisto. Laite tarvitsee jonkinlaista anturiteknologiaa näkemiseen, mutta laitteen tulisi kyetä myös tunnistamaan oma sijainti, jotta laite pystyy hahmottamaan matkan kohteeseen, sekä päättelemään sinne kuljettavan

reitin. Tämä haaste korostuu etenkin konfliktialueella, jossa ympäristö, infra ja maasto saattaa muuttua radikaalistikin konfliktin edetessä. Etenkin kun ottaa huomioon, että ajoneuvon liikkuminen saattaa tapahtua tien sijasta vaikeakulkuisessa maastossa.

Itseajavaa autoa kehittävä siviililiikennöintipuoli on keskittynyt ratkaisemaan navigointiongelmia nykyaikaisessa kaupunkiympäristössä, jossa tiet ja liikenne on selkeästi merkitty ja ne noudattavat selkeää logiikkaa sekä täsmäävät ajantasaiseen karttatietoon, jota on yleisesti helposti saatavilla navigoinnin helpottamiseksi. Lisäksi kuljettava maasto on kaupungin tieverkossa pääsääntöisesti helppokulkuista ja haasteita tuottavat lähinnä muuttuvat sääolosuhteet. Metsämaastossa tai konfliktin runtelemalla alueella ei ole vastaavanlaisia autonomiaa helpottavia ominaisuuksia ja sääolosuhteet hankaloittavat jo entisestään haastavaa navigointia esimerkiksi tiheässä metsikössä, jota Suomestakin löytyy. Maaston navigoinnin haasteisiin on kehitetty Yhdysvalloissa RELLIS 3-D tietoaineisto. Tietoaineistoon on kerätty erilaisia ominaisuuksia ajoneuvon liikkeistä ja sensoritiedosta erilaisiin maasto-olosuhteisiin, jotka voisivat jatkossa helpottaa navigointialgoritmien suunnittelussa sekä koneoppimisen kehittämisessä, mitä tulee tien ulkopuolisen maaston navigointiin. (Yhdysvaltain maavoimat, 2021)

Navigoinnista puhuessa on myös hyvä muistaa, että hyvin moni tässäkin työssä mainittu kaupallinen autonomiaa hyödyntävä ajoneuvo käyttää navigoinnissa GPS-teknologiaa eli satelliittipaikannusta. Kyseinen teknologia on kuitenkin otollista elektroniselle häirinnälle etenkin konfliktin alkaessa, mikä asettaa suuria haasteita autonomisen järjestelmän navigoinnille. Tilanne, jossa GPS ei ole käytettävissä asettaa suurempia paineita järjestelmän muulle anturiteknologialle. Etenkin konfliktialueella voi esiintyä häirintää ja GPS-navigoinnin puute voi lamauttaa miehittämättömän ajoneuvon tai lennokin toiminnan. Tähän ongelmaan on kehitteillä vaihtoehtoisia ratkaisua Yhdysvalloissa. Yhtenä ratkaisuehdotuksena on ohjelma nimeltään DARC, eli Distributed Autonomy Responsive Control. DARC on kehitetty lennokkien käyttöön ja ajatuksena on, että lennokin hukatessa GPS-signaalin kykenevät muut lennokit muodostamaan eräänlaisen ”drone-to-drone” eli lennokkien välisen tietoverkon, jonka avulla muut miehittämättömät lennokit kykenevät antamaan eksyneelle lennokille navigointitietoa. Kyseessä siis on muiden miehittämättömien ajoneuvojen, operaattorien sekä taustajärjestelmien luoma toisiaan tukeva verkko. Vaikka

kyseessä on lennokkiteknologiaa, vastaavanlaista toisiaan tukevaa järjestelmää voisi kenties soveltaa myös maata pitkin liikkuviin ajoneuvoihin. (Northrop grumman, n.d.).

Jotta miehittämätön ajoneuvo ylipäätään toimisi ja liikkuisi, tarvitsee järjestelmä kokonaisuutena energiaa, sekä tätä energiaa tuottaakseen joko poltto-, sähkömoottorin tai näiden hybridin kuin myös tarvittavat akustot. Militariapuoli luo omat haasteensa myös tähän osa-alueeseen sillä siviilipuolen miehittämättömät ajoneuvot voivat olla kevyitä ja aerodynaamisesti muotoiltuja, mutta konfliktialueella operoivan ajoneuvon tulee olla ennen kaikkea kestävä. Kestävyys tarkoittaa vankempaa rakennetta, sekä tehtävän niin vaatiessa panssarointia, joka lisää ajoneuvon painoa. Painoa lisää myös ajoneuvon omat voimajärjestelmät, akut, kuin myös ajoneuvon kuljettama lasti. Kaikki tämä paino on yhteydessä energian kulutukseen, sillä energian kulutus on täysin riippuvainen ajoneuvon liikettä vastustavien voimien summasta. (Väljaots & Sell, 2019, s. 57) Liikkumisen tehokkuuteen taasen vaikuttaa ajoneuvon alusta ja vaihteiston tehokkuus), sekä maasto-olosuhteet. Esimerkiksi tasaisella asfaltilla eteneminen on energiatehokkaampaa kuin esimerkiksi mutaisen rinteen kiipeäminen, jossa alustasta johtuen voi esiintyä heikkoa pitoa ja sutimista. Tosin on mainittava, että alhaisissa noin 30km/h nopeuksissa ei alustan muotoilulla ja aerodynaamisuudella ole havaittu vaikutusta energiatehokkuuteen (Väljaots & Sell, 2019 s. ,63). Energiaa kuluttaa ajoneuvon liike, mutta myös sijainnin kartoittaminen, ajoneuvon virtatason seuraaminen, ympäristön ja esteiden havainnointi, esteiden välttäminen sekä päämäärään kuljettavan matkan laskeminen. Karkeana arviona jos ajoneuvo kuluttaa 100 W liikkeen tuottamiseen, se kuluttaa 10 W havainnointiin ja laskemiseen ja 1 W kommunikointiin. Täten tehtävää suunnitellessa on huomioitava energian riittävyys ja se, että suurin osa tarvittavasta energiasta kuluu liikkeeseen, etenkin kiihdytyksiin ja mäkien kiipeämiseen. (Sadrpour & Jionghua, 2012, s. 399) Ajoneuvo pitää pystyä myös tankkaamaan, joko lataamalla tai polttoaineella kenttäolosuhteissa.

Kuten huomataan, autonomisuudessa on monia haasteita, jotka rajoittavat vielä autonomisen laitteen toimintaa niin, että laite toimisi minimaalisella valvonnalla. Haasteiden kirjo on suuri ja hyvin laaja tutkimuksen kannalta, mutta tämän kappaleen ja selvityksen tarkoitus ei ole käydä niitä kaikkia läpi kovinkaan syvällisesti. Tärkeintä on luoda katsausta sekä ymmärrystä haasteiden luonteisiin ja sitä kautta kokonaiskuvaa.

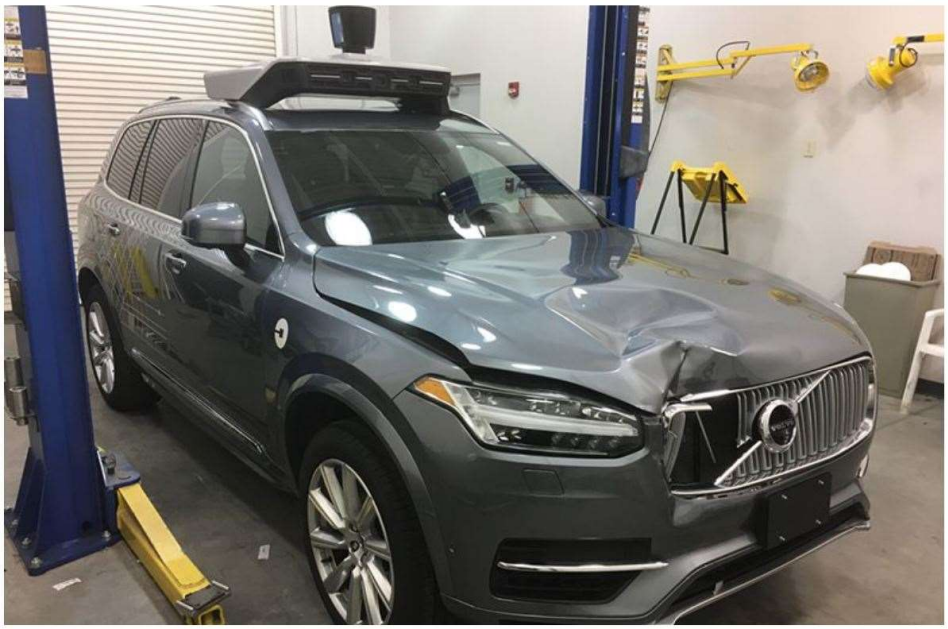
1.3.3 Eettiset haasteet

Selvityksen painotus on teknisessä puolessa sekä autonomisten ajoneuvojen ominaisuuksissa, mutta on myös tärkeä mainita samassa yhteydessä aiheeseen liittyvät eettiset kysymykset. Autonomisuuteen sekä autonomiaa hyödyntäviin ajoneuvoihin ja laitteisiin liittyy myös monenlaisia eettisiä, moraalisia sekä lakiteknisiä haasteita. Edellä mainitut asiat eivät ole myöskään ihmiskunnalle välttämättä täysin selkeitä eikä niissä vallitse konsensusta maailmanlaajuisesti. Jos elämää koskevat päätökset viedään kauas ihmisestä ja lopulta koneen tai tekoälyn tehtäväksi, niin kuka on loppujen lopuksi vastuussa koneen tekemistä päätöksistä? Eräänlaisena siviilimaailman esimerkkinä voidaan pitää 2018 Yhdysvalloissa Arizonan osavaltiossa tapahtunutta itseajavan auton onnettomuutta, joka aiheutti 49-vuotiaan Elaine Herzbergin menehtymisen. Onnettomuudessa oli osallisena Uberin lanseeraama puoliautonominen auto sekä kuljettaja joista kumpikaan ei huomannut henkilöä yön keskellä taluttamassa pyörää tien yli johtaen törmäykseen. (Stilgoe, 2019)

Törmäyksen syyllisen tai onnettomuuden aiheuttajan löytäminen ei ollut mitenkään yksioikoinen asia, sillä vaikka auto oli ajohetkellä puoliautomaattinen, oli autossa myös törmäyshetkellä kuljettaja. Lisäksi onnettomuuden uhri talutti pyöräänsä sellaisesta kohdasta tietä, jossa ei ollut kadunylityspaikkaa. Kuskin tehtävä ajohetkellä oli lähinnä seurata auton tekemiä liikkeitä ja tarvittaessa ottaa auto hallintaansa mikäli havaitsi liikkeessä ongelmia. Mainittakoon myös että törmäyshetkellä kuski oli autossa olevien kameroiden ja kuskin puhelindatan perusteella katsellut matkapuhelinta tien seuraamisen sijasta. Autossa (Kuva 7.) oli törmäyshetkellä 360-astetta skannaava tutka, pitkän ja lyhyen matkan kamerat sekä lidar, mutta silti kyseisessä tilanteessa järjestelmän viimeinen hätävara, eli ihminen, ei ollut tilanteen tasalla. Tämän lisäksi turma-ajoneuvon (Volvo XC90) omat hätäjarrutusjärjestelmät oli kytketty pois sillä niiden pelättiin vaikuttavan Uberin suunnittelemiin itseajojärjestelmiin. Loppujen lopuksi onnettomuus ratkaistiin Uberin toimesta oikeuden ulkopuolisella sovinnolla tapaturman uhrin omaisten kanssa. (Loizos, 2018) Vaikka kyseinen esimerkki onkin siviilimaailmasta, se tuo esille sen että jos autonomisesti tai puoliautonomisesti toimiva ajoneuvo aiheuttaa onnettomuuden (oli se ihmisten keskuudessa konfliktialueella tai ei) on vaikeaa määrittää kuka viimekädessä on vastuussa laitteen aiheuttamasta vahingosta. Esimerkki osoittaa myös sen, että eri osapuolet

ovat valmiita osoittelemaan toisiaan ja syytämään vastuuta pois harteiltaan, jos se on vain mahdollista. Autonomisen järjestelmän taustalla on pelko siitä, ettei ajoneuvo toimi halutulla tavalla ja tämä aiheuttaa onnettomuuden, jossa voi pahimmillaan loukkaantua sivullisia.

Kuvat 7. Uberin Volvo XC90 onnettomuuden jäljiltä. (The Royal Automotive Club, 2019)



Kun siirrytään sotilasmaailmaan, autonomisesti toimivat asejärjestelmät ovat herättäneet keskusteluita eettisyyden ympärillä. Autonomiset asejärjestelmät viittaavat aseisiin, jotka on suunniteltu käyttämään tappavaa voimaa täysin omatoimisesti ja tekemään näihin liittyviä valintoja. Tämä eroaa esimerkiksi räjähteistä ja lentopommeista, jotka eivät aktiivisesti tee valintoja kohteiden välillä. Yhdysvaltain puolustusministeriö määrittelee autonomisen aseen ”asejärjestelmäksi, joka aktivoinnin jälkeen kykenee vaikuttamaan kohteisiin ilman operaattorin ohjausta.” (Horowitz, 2016)

Yksi autonomisiin asejärjestelmiin kohdennettu huoli on se, kuinka kyseinen järjestelmä kykenee erottelemaan taistelijan siviilistä. Käytännön tasolla esimerkiksi erottelemaan asetta kantavan taistelijan esimerkiksi kameraa kantavasta uutiskuvaajasta tai keppiä kantavasta siviilistä. Taistelijan ja siviilin erotteluun kytkeytyy myös keskeisesti sodan oikeussäännöt, joita moni länsimaa Suomi mukaan lukien on sitoutunut noudattamaan. Toinen ihmiselle

ominainen piirre on empatia joka tekoälyn ja algoritmien varassa toimivalta järjestelmältä puuttu. Empatiaa sovelletaan esimerkiksi antautuvaa taistelijaa kohtaan. Tämän lisäksi ongelmana voidaan nähdä, että autonomisesti toimivat järjestelmät voivat turruttaa sodankäyntiin viedessään aktiivisen konfliktin ruudun sekä ohjausjärjestelmien taakse. Kuitenkin jotkin lähteet kertovat, että esimerkiksi lennokkien operaattorit kärsivät samanlaisista traumaperäisen stressihäiriön oireista kuin aktiivisesti sotatoimiin osallistuvat lentäjät (Dao, 2013).

Kuten Elaine Herzbergin tapaus osoitti, onnettomuuden sattuessa sen aiheuttajan tai syyllisen löytäminen ei ole täysin yksioikoista. Samaa ajatusta jatkaen on olemassa riski, että autonomisesti toimiva asejärjestelmä käyttää voimaa väärää kohdetta kohtaan joko ohjelmoinnin virheen, anturivian tai jonkun muun teknisen vian tuloksena. Tälläisessä tilanteessa saattaa myös olla vaikea löytää syyllistä tai onnettomuuden aiheuttajaa. Kun kyseessä on ihmisen operoima järjestelmä, voidaan laitteiston käyttäjää pitää syyllisenä ja tätä kautta selvittää onnettomuuden vastuuketjua. Autonomisten järjestelmien yhteydessä on kuitenkin pelko, että ne saattava luoda vastuun sekä moraalin tyhjiön.

Etiikka on tärkeä osa autonomisuuden tulevaisuutta. Etenkin laitteiden yleistyessä on siihen liittyvät kysymykset hyvä tiedostaa. Vaikkakin tässä työssä ei lähdetä sen tarkemmin puimaan näitä ongelmia, on kuitenkin tärkeää myös tiedostaa kansainvälinen laki ja säädökset. Ne ovat myös sellaisia tekijöitä, jotka tulevat vaikuttamaan sotilaskäytössä oleviin autonomisiin laitteisiin. Kirjoitushetkellä kansainvälinen lainsäädäntö autonomisiin aseisiin on vielä auki ja keskusteluja sääntelyiden luonteesta käydään tälläkin hetkellä (lähde arms control asociation hehe.) Joissain keskusteluissa autonomisesti toimivat asejärjestelmät halutaan kieltää kokonaan, kun taas toinen puoli kolikkoa on luottaa kehitykseen ja siihen, että autonomiset aseet voisivat tulevaisuudessa tehdä ihmistä humaanimpia päätöksiä. Vuonna 2021 Genevessä YK:n toimesta käytyjen keskusteluiden perusteella autonomisiin asejärjestelmiin keskittyvä lainsäädäntöpaine on kova (Farge, 2021). Kirjoitushetkellä konkreettista lainsäädäntöä koskien autonomisia asejärjestelmiä ei ole laadittu ainakaan kansainvälisellä tasolla.

Tässäkin selvityksessä eritellyt esimerkit ajoneuvoista toimivat useasti puoliautomaattisesti, eli ajoneuvo vaatii operaattorin ohjaamaan ajoneuvon tärkeimpiä toimintoja ja etenkin tulitoimintoja. Puoliautomaattisessa ajoneuvossa ihminen valitsee kohteen ja lopulta tekee päätöksen siitä, käyttääkö voimaa kohdetta vastaan vai ei, vaikka taustalla saattaakin olla autonomisesti toimivia tukitoimintoja. Kun ihminen on voimankäytön päätöksessä mukana, eli kuvainnollisesti ”aseen takana”, on vastuiden selvittäminen myös selkeämpää.

2 Esimerkkejä miehittämättömistä järjestelmistä

Ajatus autonomisesti toimivasta tai niin sanotusta ”miehittämättömästä robottiajoneuvosta” sodankäynnissä ei ole mitenkään viime vuosien aikana syntynyt ajatus vaan esimerkkejä löytyy historiasta. Varhaisena esimerkkinä tästä kehityksestä voidaan pitää Neuvostoliitossa tehtyä tutkimusta 1930-luvulla radiojärjestelmän käytöstä panssarivaunun ohjauksessa niin, että panssarivaunulle pystyttiin välittämään yksinkertaiset pysähtymis-, kääntymis- ja liikkeellelähtökäskyt käyttäen radiosignaalia. Testeissä käytetty panssarivaunu oli malliltaan Neuvostoliittolainen T-18 panssarivaunu, josta käytettiin tunnusta TT-18s, jossa kirjaimet ”TT” tarkoittavat ”teletankkia” (Kuva 8.). Teletankin testien aikana huomattiin, että panssarivaunua etäältä ohjaavalla ryhmällä oli hankaluuksia havainnoida ja täten arvioida ajoneuvon kulkemaa maastoa. Tämä yhdistettynä ajoneuvon matalaan painoon ja kapeisiin teloihin teki ajoneuvosta erityisen hankalan ohjata haastavassa maastossa, saati tähdätä vaunun aseistusta luotettavasti. Ongelma vaunun tähtäämisen haasteellisuuteen liittyen päätettiin ratkaista aseistamalla vaunu liekinheittimellä. Lisähaastetta tarjosi myös rajallinen radiokantama, joka saattoi vaihdella 500-1000 metriin riippuen sääolosuhteista. Tästä huolimatta teletankit etenivät lopulta taistelukäyttöön ja ajoneuvot pääsivät taistelukosketukseen talvisodassa Suomen joukkoja vastaan vuosina 1939-1940. Ajoneuvoja oli tarkoitus ajattaa Mannerheim-linjan linnoituksille ja käyttää järjestelmän liekinheitintä linjan tuhoamiseen. Teletankki osoittautuikin hyvin haavoittuvaiseksi kohdatessaan panssarimiinoja, panssariesteitä ja lumisen maaston. Tämän lisäksi Suomen talven sääolosuhteet haittasivat radioyhteyttä ja täten laitteen etäohjausta. Arvioiden mukaan 42 teletankkia tuhottiin sodan aikana. Teletankin kehitystä jatkettiin Talvisodan jälkeenkin ajatuksena tuoda ohjaamiseen alkeellinen videonäyttö, mutta taistelut Saksaa vastaan eivät

tarjonneet tilaisuutta uudistetun teletankin testaukselle, joten Neuvostoliitto luopui myöhemmin aktiivisesta kehitystyöstä. (Roblin, 2018)

Kuva 8. Neuvostoliiton käyttämä teletankki. (Budnik, 2018)

Neuvostoliiton radio-ohjattava panssarivaunu on varhainen esimerkki miehittämättömästä ajoneuvosta, vaikka varsinaista autonomiaa ajoneuvosta ei nykymääritelmän mukaan juurikaan löytynyt. Tekniikka on kuitenkin kehittynyt toisen maailmansodan ajoista ja se on ollut huimaa esimerkiksi antureiden, tietokoneiden, satelliittipaikannuksen ja kameroiden saralla. Tässä kappaleessa esitellään muutamia olemassa olevia järjestelmiä eri puolelta maailmaa, jotka hyödyntävät jonkinlaista automaatiota. Tarkoituksena on ollut keskittyä nimenomaan sotilas- sekä viranomaiskäyttöön suunniteltuihin järjestelmiin, sillä ne ovat lähimpänä tämän selvityksen aihetta. Painotus on myös selkeästi maalla liikkuvissa järjestelmissä, eli esimerkiksi lennokkiteknologia on jätetty vähemmälle tarkastelulle.

Tarkkaa tietoa järjestelmien toiminnasta on hankala saada, sillä monet tuotteista ovat kaupallisia, joten kehittäjillä on vahva halu pitää tarkemmat yksityiskohdat ajoneuvojen toiminnasta salassa. Suuri osa tiedosta on valmistajien sekä myyntiedustajien julkisuuteen

antamien tietojen sekä uutisten varassa. Tämän vuoksi on syytä suhtautua tietynlaisella terveellä skeptisyydellä valmistajan ilmoittamiin ominaisuuksiin sekä tietoihin.

2.1 REX MKII (Israel Aerospace Industries, Israel)

Yksi aiheen kannalta relevanteimpia esimerkkijärjestelmiä on Israelin valtion omistaman Israel Areospace Industriesin kehittämä ”REX MKII” järjestelmä (Kuva 9.). REX on maata pitkin kulkeva, neljällä pyörällä sekä nelivedolla varustettu sotilaskäyttöön valmistettu miehittämätön ajoneuvo. Laite on hieman tavallista mönkijää muistuttava ja jatkumoa Israelin jo käytössä olevalle ”Jaguar” ajoneuvolle. Valmistajan mukaan kyseisen järjestelmän pääasialliset käyttötarkoitukset ovat konfliktialueen monitorointi sekä rajavyöhykkeiden valvonta, REX on myös kykenevä avaamaan tulen ja siten vaikuttamaan erilaisiin kohteisiin. (Aljazeera, 2021)

Kuva 9. REX MKII. (Israel Aerospace Industries, 2021)

Ajoneuvon ohjaaminen suoritetaan tabletilla ja valmistajan mukaan ajoneuvo on mahdollista aseistaa raskailla konekivääreillä, erilaisilla sensoreilla sekä kameroilla. Vaikka ajoneuvon ohjaaminen tapahtuu manuaalisesti tablettia käyttäen, voidaan laitteen muita ominaisuuksia käyttää puoliautonomisesti (semi autonomously.) Esimerkiksi laitteen liikkumista sekä valvontaa voidaan käyttää puoliautonomisesti. Valmistaja on tuonut esille, että ajoneuvoa

voitaisiin käyttää haavoittuneiden sotilaiden evakuointiin, tiedusteludatan keräämiseen, sekä sotilaiden ja tarvikkeiden kuljettamiseen konfliktialueille ja sieltä pois. Aseistuksen lisääminen laitteeseen on mahdollista, mutta tulenkäyttö on täysin ihmisen ohjauksen alaista. Valmistajan mukaan valmiudet olisivat valmiit autonomiseen tulenkäyttöön, mutta tällä hetkellä tätä ominaisuutta ei tarjota asiakkaille. Joten tällä hetkellä aseen ja voiman käyttö laitteen avulla jää edelleen järjestelmän operaattorille, eli ihmiskäyttäjälle. (Aljazeera, 2021)

2.2 Mission Master (Rheinmetall AG, Saksa ja Kanada)

Saksalainen Rheinmetall AG, joka on myös tunnettu Suomessakin käytössä olevista Leopard 2A6 sekä vanhemmasta 2A4 panssarivaunusta, on myös tuonut markkinoille oman miehittämättömien ajoneuvojen tuoteperheen. Tälle tarjonnalle on annettu nimi ”Mission Master” ja siihen kuuluu kolme eri kokoluokan ajoneuvoa, Mission Master SP joka on pienempi järjestelmä tiedustelukäyttöön, keskikokoinen CXT sekä suurikokoisin Mission Master XT (Kuva 10.) Tuotekehitys tapahtuu Rheinmetallin mukaan Kanadassa sijaitsevassa tytäryhtiössä. ”Mission Master” on käyttöprofiililtaan lähellä Israelilaista ”REX MKIII:a” sillä senkin käyttötarkoitukset voivat olla valmistajan mukaan taistelu, omien joukkojen materiaalitäydennys, valvonta, tiedustelu, omien joukkojen kuljettaminen paikasta toiseen sekä haavoittuneiden sotilaiden evakuointi. (Rheinmetall, n.d.-a)

Kuva 10. Rheinmetall Mission Master-perhe. (Rheinmetall, n.d.-b)

Kyseisen järjestelmän ohjaaminen on mahdollista tehdä täysin manuaalisesti käyttäen ohjainta, puoliautomaattisesti tai täysin autonomisesti, jolloin käyttäjä ohjelmoi järjestelmälle suoritettavat toimenpiteet ja valvoo laitteen toimintaa. Operaattori voi myös tarvittaessa keskeyttää laitteen toiminnan. Rheinmetallin mukaan järjestelmää on myös mahdollista ohjata täysin digitaalisesti, mutta tämän lisäksi järjestelmä kykenee autonomiseen navigointiin. Järjestelmän alusta on modulaarinen, joten siihen voidaan asentaa erilaisia varusteita riippuen tilanteen ja tehtävän vaatimuksista. Mission Masterin virtalähteenä toimii hybridi diesel- sekä sähkömoottori ja valmistajan tietojen mukaan SP-alustan käyttöaika on noin kahdeksan tuntia. Alustassa on kahdeksan pyörää sekä lisämahdollisuus asentaa tarvittaessa telat ja alustan kantavuus on 600 kg. Järjestelmä on myös kykenevä suorittamaan kahlausta. (Rheinmetall, n.d.-c)

Aseistuksena laitteeseen on mahdollista asentaa erilaisia kevyitä kranaatinheittimiä ja raskaita konekivääreitä. Kuvissa (Kuva 11.) näkyy myös ranskalaisen Thalesin valmistamat 70mm ilmatorjuntatykit (Army recognition, 2022).

Kuva 11. Mission Master SP Thalesin ilmatorjuntatykeillä. (Army recognition, 2022)

2.3 Uran-9 (JSC 766 UPTK, Venäjä)

Myös Venäjän asevoimat ovat tutkineet modernia autonomisesti toimivaa kalustoa, josta esimerkkinä Uran-9 (Kuva 12.) joka on taistelukäyttöön tarkoitettu miehittämätön ajoneuvo.

Kuten aikaisemmin todettiin, Venäjä on jo aikaisemmin testannut radio-ohjattujen teletankkien käyttöä sotilastoiminnassa. Uran-9 esiteltiin ensimmäisen kerran 2016 ja sitä on kehittänyt JSC 766 UPTK, joka on osa Kalashnikov-konsernia. Ajoneuvoa on myös käytetty Syyrian konfliktissa vuonna 2018. (Roblin, 2021) Ajoneuvoa on mahdollista käyttää joko käsiohjauksella tai etäkäytöllä kolmeen kilometriin saakka. (Army technology, 2016)

Kuva 12. URAN-9. (European Security & Defence, n.d.)

Ulkonäöltään URAN-9 muistuttaa hieman rynnäkköpanssarivaunua, vaikkakin on mitoiltaan huomattavasti täysikokoista vaunua pienempi. Suojaustaso riittää valmistajan mukaan käsiaseiden sekä sirpaleiden vaikutusta vastaan. Rakenteeltaan URAN-9 koostuu telojen päälle rakennetusta rungosta, jossa on kuusi pyörää. Ajoneuvo itsessään on 5,12 metriä pitkä, 2,53 metriä leveä sekä korkeudeltaan 2,5 metriä, painoa järjestelmällä on 10.000kg. Uran-9:n ilmoitettu maksiminopeus tiellä on 25km/h ja 10 km/h maastossa (Lähde armyrecognition.) ja sen voimalähteenä toimii 300 hevosvoiman sähkö-dieselmoottori sähköisellä vaihteistolla. (Army technology, 2016)

Ajoneuvossa on etäohjauksella liikuteltava torni, johon on mahdollista asentaa erilaisia aseita riippuen tehtävän vaatimuksista. Aseistukseen kuuluu neljä 9M120-1 Ataka

panssarintorjuntaohjuksien laukaisuun tarkoitettua putkea, kaksi molemmilla puolin ajoneuvoa, joilla voidaan vaikuttaa panssaroituihin kohteisiin. Kyseisen ohjustyypin tehokas kantama on 400 metristä kuuteen kilometriin ja valmistajan mukaan se kykenee läpäisemään panssaria 800mm syvyyteen reaktiivisen panssarin läpi. Tämän lisäksi ajoneuvossa on 30mm konetykki 2A72 sekä Kalashnikov PKT/PKTM 7.62mm kevytkonekivääri. Aseistukseen sisältyy lisäksi kuusi 93mm Shmel-M rakettiavustettua liekinheitintä. Optioina aseistuksessa on mahdollista käyttää neljää Igla tai kuutta 9M133m Kornet-M ilmatorjuntaohjusta, tai vaihtoehtoisesti 9K333 Verba ilmatorjuntajärjestelmää. (Military media, n.d.)

Ajoneuvon kamerana toimii elektro-optinen kamera, josta löytyy myös lämpökameraominaisuus. Tämän lisäksi Uran-9:ssä on mahdollisuus automaattiseen kohteen havaitsemiseen sekä tunnistamiseen. Valmistajan mukaan laite kykenee tunnistamaan sekä seuraamaan kohdetta kuuteen kilometriin asti päivännäöllä ja yöllä kolmeen kilometriin asti. Kuten aikaisemmin todettiin, Uran-9 pystyy toimimaan osittain autonomisesti sekä etäohjauksella. Etäohjauksella operaattori ohjaa ajoneuvoa erillisestä ajoneuvosta, jossa sijaitsee tätä varten tarvittava laitteisto. Ohjaaminen onnistuu myös erillisellä kuljetettavalla ohjainlaitteella. Itse autonomisiin toimintoihin kuuluu kohteiden huomaaminen, tunnistaminen sekä seuraaminen. Ajoneuvo kykenee seuraamaan ohjaajan määrittelemää reittiä, mutta kykenee samalla myös esteen sattuessa etsimään kiertotien autonomisesti sekä kiertämään kohdalle tulevia esteitä. (Army technology, 2016)

Mielenkiintoisen kyseisestä laitteesta tekee se, että se on Suomen rajanaapurin kehittelemä, mutta myös se että sitä on testattu konfliktialueella. Syyriassa tehtyjen kenttätestien perusteella lopputulema oli, että kyseinen ajoneuvo, sekä sen hyödyntämä teknologia ei ollut kuitenkaan vielä valmis konfliktialueella käytettäväksi. Esille nousivat yleisesti autonomisuuteen liittyvät haasteet, jotka rajoittavat myös Uran-9:n käyttöä taistelutilanteessa. Esimerkiksi yhteys ajoneuvon sekä operaattorin välillä saattoi kadota minuuteiksi ja yhdessä tapauksessa jopa tunniksi. Erityisen haasteellisen taisteluympäristön muodostivat asutuskeskukset, joissa rakennukset saattoivat estää radiosignaalin käyttäjän ja ajoneuvon välillä. Tämä rajoitti myös laitteen ohjaamisetäisyyden muutamaan sataan metriin. Ongelmia muodosti myös tulikomentojen antaminen, jolloin operaattorin antaman tulikomennon sekä tulen avaamisen välissä oli selkeä viive tai jopa katko. Ampumista

vaikeuttaa myös se, että laite ei kykene ampumaan liikkeestä, sillä optiikka, sensorit sekä aseistus ei ole stabiloitu liikkeellä ampumista varten. Tämä tarkoitta sitä, että käyttääkseen aseistusta Uran-9:n täytyy ensin pysähtyä. Voidaan täten ajatella, että tulen ja liikkeen hyödyntäminen ei tapahdu optimaalisesti kyseisen laitteen kohdalla. (Lähde popular mechanics uran9 ongelmat) Muita huolia aiheuttivat ongelmat kohteiden huomaamisen sekä tunnistamisen kanssa kuin myös laitteen telojen sekä jousituksen luotettavuusongelmat. (Roblin, 2021)

Venäjän tutkimusupseeri Andrei Anisimov arvioi Syyrian kenttätestauksen perusteella, että Uran-9 ”ei kykene suoriutumaan tehtävistään tavallisessa taisteluympäristössä” ja hänen arvionsa mukaan autonomisilla taistelujärjestelmillä on 10-15 vuotta tuotekehitystä vielä edessään ennen kuin niitä voidaan harkita taistelutehtäviin. Merkittävin Uran-9:n sudenkuoppa oli kuitenkin yhteysongelmat operaattorin sekä ajoneuvon välillä. Maata pitkin liikkuva ajoneuvo joutuu helpommin rakennuksien sekä maaston katveeseen kuin esimerkiksi lennokki. Tähän yhdistettynä mahdollinen häirintä sekä muu elektromagneettinen liikenne sotatoimialueella loivat Venäläisten autonomiselle ajoneuvolle liian suuria haasteita. (Roblin, 2016)

Uran-9 on vain yksi esimerkki Venäjän asevoimien sotilaskäyttöön kehittelemistä autonomisista ajoneuvoista. Muita esimerkkejä ovat: miehistön kuljetuskäyttöön suunnitteilla oleva kevyt ajoneuvo Mars A-800 (Janes, 2019), BMP-3 rynnäkkötaisteluvaunusta modifioitu autonominen hyökkäysvaunu Vihr (Malyasov, 2016), autonomisesti navigoiva sekä esteitä välttävä miehittämätön T-72 panssarivaunu (Roblin, 2020) sekä pienikokoisempi miehittämätön ajoneuvo Nerekhta (Way, 2018).

2.4 THeMIS ja Type-X (Milrem Robotics, Viro) sekä Norjan puolustusvoimien tutkimus

Virolainen Milrem Robotics on kehitellyt myös autonomista ajoneuvoa, kyseisen ajoneuvon nimi on THeMIS (Tracked Hybrid Modular Infantry System) (Defence procurement, 2021). Ulkomuodoltaan THeMIS on matala, teloilla liikkuva ja hieman panssarivaunun alustaa muistuttava ajoneuvo (Kuva 13.) ja se esiteltiin ensimmäisen kerran Singapore Airshow

messuilla vuonna 2016 (Atherton, 2016). Valmistajan mukaan järjestelmää on myyty muun muassa Viroon, Saksaan, Alankomaihin, Norjaan, Saksaan, Iso-Britanniaan sekä Yhdysvaltoihin. (Milrem Robotics, n.d.-a)

Kuva 13. Milrem Roboticsin THeMIS. (MilitaryLeak, 2021)

THeMIS soveltuu valmistajan mukaan kuljetustehtäviin, kuten ryhmäkohtaisen kaluston kuljettamiseen, räjähteiden raivaamistoimintaan, tiedusteluun sekä tiedonkeräämiseen. Alustaan on myös mahdollista kiinnittää aseistusta tehtävän niin vaatiessa, alustassa on myös tätä varten integroitava vakauttimella varustettu asejärjestelmä. Valmistajan mukaan järjestelmään on mahdollista kiinnittää kevyt- tai raskas konekivääri, 40mm kranaatinheitin, 30mm konetykki tai panssarintorjuntaan tarkoitettu ohjusjärjestelmä. Alustan voimalähteenä toimii diesel-generaattori sekä sähkömoottori, eli hybridivoimalähde. Antureina järjestelmä käyttää lidaria sekä apuna ohjauksessa toimivat kamerat, joissa on myös mukana infrapuna sekä lämpökuva. (Milrem Robotics, n.d.-a)

Valmistajan mukaan THeMIS:n huippunopeus on noin 35km/h, sekä ajoneuvon käyttöaika on 15 tuntia hybridinä ja 1,5 tuntia pelkällä sähköllä. Tällä hetkellä laite kykenee etäohjaukseen noin 1,5km asti ja kirjoitushetkellä ajoneuvossa on mahdollisuus etäohjaukseen yhdistettynä

yksinkertaiseen navigointiin tiettyyn pisteeseen kartalla. THeMIS on siis vielä aika vahvasti ihmiskäyttäjän varassa ja varsinainen autonomia on varhaisella kehitysasteella. (Atherton, 2016)

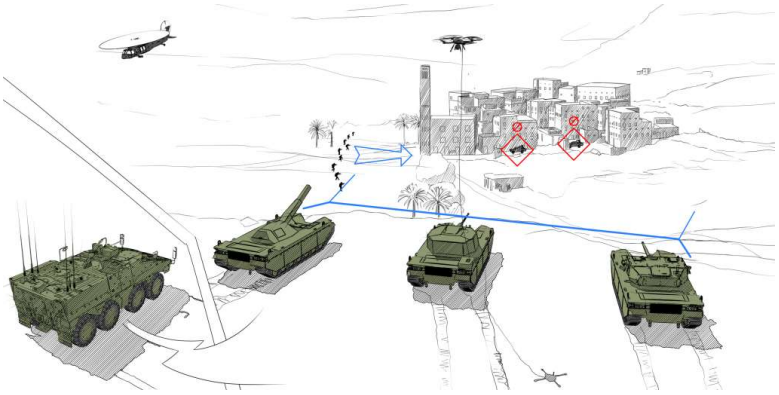
Samaan aikaan kun THeMIS vastaa kokoluokaltaan kevyempiä noin mönkijän kokoisia ugv:tä, on Milrem myös kehittämässä suuremman kokoluokan autonomista järjestelmää nimeltään Type-X RCV (Robotic Combat Vehicle.) Kyseinen ajoneuvo muistuttaa enemmän teloilla kulkevan taisteluvaunun alustaa (Kuva 14.), painoa sillä on 12.000kg ja alustan mitat ovat 600cm pituutta, 290cm leveyttä ja 220cm korkeutta. Ajoneuvon maksikinopeus valmistajan mukaan tiellä on 80km/h ja maastossa 50km/h. Panssarointisuojaluokaksi valmistaja ilmoittaa tason neljä (STANAG 4569 standardi) suoraa- sekä tykistötulta vastaan sekä taso yhden miinojen vaikutusta vastaan. (Milrem Robotics, n.d.-b) Voimalähteenä toimii diesel-generaattori yhdessä sähkömoottorin kanssa aivan kuten laitteen pienemmässä versiossa THeMIS:ssä. Diesel-generaattori toimii akkujen lataajana ja sähkömoottori saa akuista käyttövirran. Type-X pystyy ajamaan valmistajan mukaan 600 km ennen tankkaamista. Moottori itsessään on sijoitettu vaunun takaosaan kuten moderneissa taisteluvaunuissa on tapana vaunun lämpöjäljen minimoimiseksi edestäpäin tähystettäessä. (Valpolini, 2020)

Kuva 14. Milrem Roboticsin Type-X. (Businesswire, 2021)

Type-X on selkeästi suunniteltu taistelukäyttöä ajatellen ja sitä markkinoidaan tueksi varsinaisille panssarivaunuille. Alustaan on mahdollista asentaa 25mm sekä 50mm konetykit

tarpeen mukaan. Alusta kykenee samanlaisiin yksinkertaisiin etäohjauksella tapahtuviin toimenpiteisiin kuin THeMIS eli navigoimaan käyttäjän määrittelemään pisteeseen. (Lähde Milrem type X sivut) Milremin mukaan yhden Type-X vaunun ohjaamiseen tarvitaan kaksi operaattoria (ampuja sekä kuljettaja), jotka ohjaavat vaunua etäältä omasta komentovaunustaan. Valmistaja kuitenkin pyrkii lisäämään yksittäisen vaunun autonomisia ominaisuuksia niin, että ohjaamisen voisi hoitaa yksittäinen operaattori. Kuitenkaan ajatus lähtökohtaisesti ei ole että vaunu olisi niin sanottu täysautonominen vaan vaunu tarvitsee aina yhden käyttäjän, etenkin jos vaunuun on asennettu asejärjestelmä. Kantava ajatus Type-X mallisen etäohjattavan vaunun taustalla on, että ohjaus tapahtuu erillisestä komentokeskuksesta (Kuva 15.) kuten esimerkiksi toisesta vaunusta. Päätös lähettää miehittämätön vaunu riskialttiiseen tuliasemaan on helpompi tehdä kuin että kyseessä olisi vaunu miehistöineen. (Valpolini, 2020)

Kuva 15. Havainnekuva Type-X komentokeskuksesta. (Valpolini, 2020)

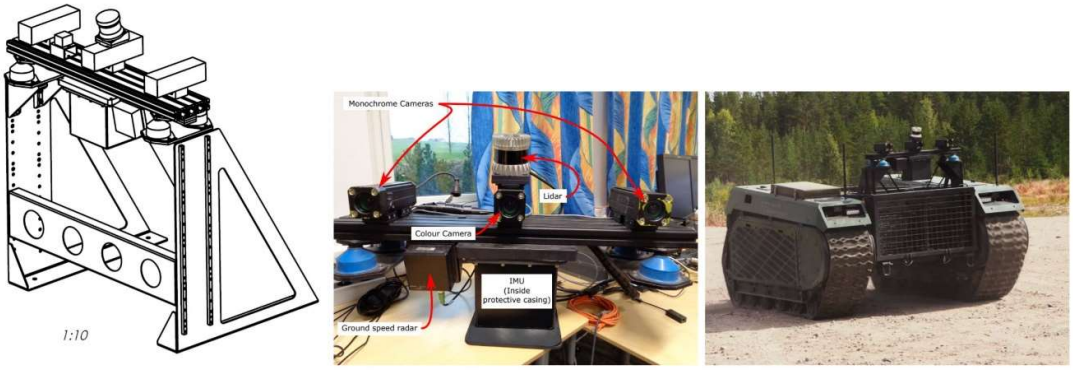


Maailmalla on kuitenkin viitteitä siitä, että TheMis alustaa on myös kehitetty autonomisempaan suuntaan. Tästä esimerkkinä Norjan asevoimat, jotka ovat tehneet modifikaatioita Milremin alustaan ajatuksena lisätä sen autonomisuutta. Kyseinen projekti aloitettiin vuonna 2019 FFI:n (Forsvarets forskningsinstitutt) eli Norjan puolustusvoimien tutkimuslaitoksen toimesta. SPIE:n julkaiseman raportin mukaan käytetty alusta oli Milrem THeMIS 4.5, jolle annettiin tutkimuksessa lempinimi ”Tor” (Mathiassen ym., 2021, s. 3). Tor on tarkoitettu projektissa tutkimuskäyttöön, mutta raportin mukaan mahdollisia käyttökohteita voisi olla esimerkiksi tukikohdan suojaus, viestireleenä toimiminen, joukkojen

siirtely tai tiedustelutehtävät (Intelligence, Surveillance and Reconnaissance eli ISR.) (Mathiassen ym., 2021, s. 4)

Tutkimuksessa alustaan lisättiin kolme kameraa sekä lidar-tutka näkökyvyn turvaamiseksi. Navigointia varten alustaan on lisätty GNSS (Global Navigation Satellite System), eli satelliittipaikannusjärjestelmän vastaanotin (Kuva 16.). Tukijärjestelmiksi on lisätty myös muita antureita, kuten inertianmittausyksikkö (IMU eli Inertia Measurement Unit) sekä nopeustutka. Kaikki anturit saavat sähköisen aikaleiman serveriltä. Anturit asennettiin alumiiniprofiiliin joka kiinnitettiin ajoneuvon etuosaan, sillä näin voitiin mahdollisimman hyvin varmistaa näköantureiden suuntautuvan oikeaan suuntaan ja pienentää virheiden mahdollisuutta.

Kuva 16. Toriin asennetut anturit. (Mathiassen ym., 2021, s. 4)



Muutokset alustaan eivät rajoittuneet pelkästään antureiden (Kuva 17.) lisäämiseen vaan ajoneuvon ohjausjärjestelmiin on myös tehty muutoksia ja lisäyksiä. Alustan käyttöliittymä on rakennettu käyttäen ROS 2-järjestelmää. ROS 2 (Robotic Operating System 2) on avoimeen lähdekoodiin perustuva kehitysalusta erilaisten robottien ohjaukseen ja se tarjoaa valmiita osioita robottien ohjauskäyttöön, kuten valmiita robottialgoritmeja ja kommunikaatioratkaisuja järjestelmien välillä (Ros.org, n.d.). Käyttäen kyseistä ohjausjärjestelmää ajoneuvolle pystytään syöttämään nopeuskäskyjä kummallekin telalle erikseen. (Mathiassen ym., 2021, s. 3)

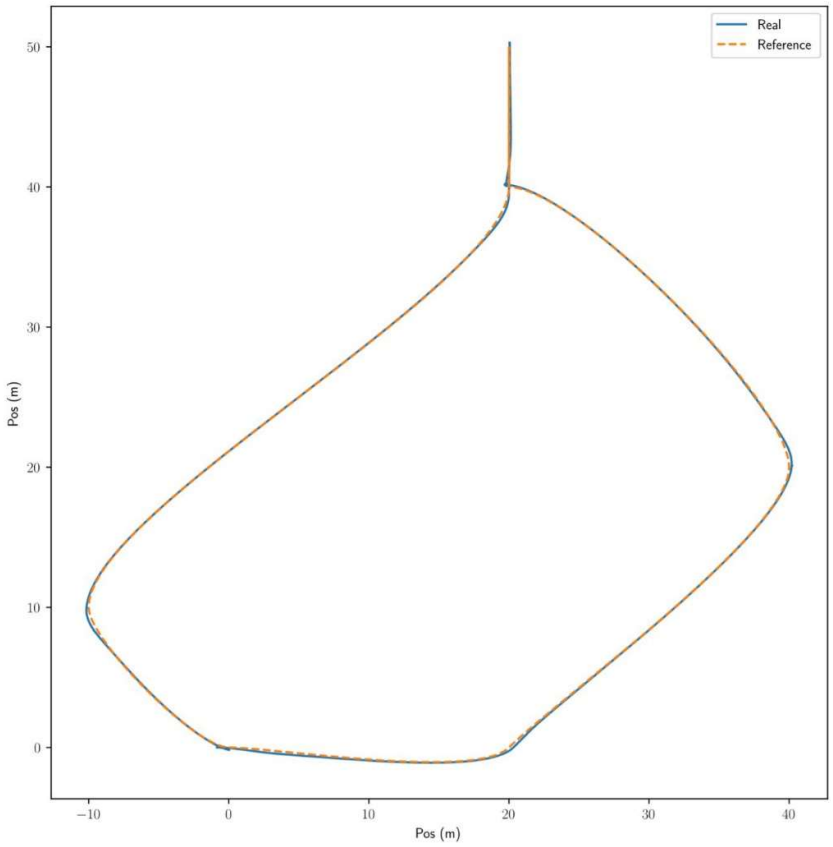
Kuva 17. Torin anturit listattuna. (Mathiassen ym., 2021, s. 5)

Make	Model	Description
FLIR	BFS-PGE-31S4C-C	Blackfly S colour camera, 3.1 MP, Gigabit Ethernet interface
FLIR	BFS-PGE-23S3M-C	Two Blackfly S monochrome cameras, 2.3 MP, Gigabit Ethernet interface
Edmund Optics	Stock #68-669	Three 3.5mm FL Wide Angle Low Distortion Lenses, used on all cameras
Ouster	OS-1-64	Lidar, 64 beams, 850 nm, $\pm 16.6°$ vertical field of view, 360° horizontal field of view
RADARXSENSE	RXS-SOG-10	Ground speed radar, $11° \times 11°$ beam, mounted with $-10°$ downward tilt, measurement range ± 80 m/s, minimum speed measured 0.1 m/s, accuracy $\pm 0.5\%$
Honeywell	HG9900	IMU used for inertial navigation
uBlox	NEO M8T	GNSS receiver

Table 1: Sensors

Ajoneuvon itsenäistä navigointikykyä testattiin kahdella tavalla, simuloidussa ympäristössä sekä käytännössä ulko-olosuhteissa. Tutkimusryhmä käytti simuloinnissa ROS 2:sen omaa sisäänrakennettua simulointiympäristöä sekä Veranda-fysiikkasimulaattoria telojen simuloimiseen 2D-ympäristössä. Ensimmäisessä testissä ajoneuvoa ohjeistettiin ajamaan suoraa linjaa kolmella radalla, mutta muutamalla pienellä muutoksella. Ensimmäisellä radalla lähtöpiste oli samassa kohdassa kuin itse ajoneuvo ja ajettava matka oli pituudeltaan 30m. Toisella ja kolmannella radalla lähtöpisteessä oli tarkoituksella 0,5m ja 2m poikkeama (offset) ajoneuvon sekä kuljettavan suoran aloituspisteen välillä, kuljettava matka oli toisella radalla 30m ja kolmannella 40m. Ensimmäisen radan tarkoitus oli määrittää kykeneekö Tor seuraamaan määriteltyä reittiä, toisen ja kolmannen radan tarkoitus taas oli nähdä miten ajoneuvo suoriutuu poikkeamasta sijainnin suhteen. Toisessa simuloidussa testissä Torin ajamaa matkaa oli pidennetty yli 160m ja siihen sisällytettiin myös peruuttaminen sekä neutraali käännös. Neutraalissa käännöksessä teloja ajetaan samalla nopeudella, paitsi telat liikkuvat vastakkaisiin suuntiin. Näin saadaan aikaiseksi paikallaan tapahtuva käännös. Toisessa simulaatiossa Torin kulkema rata (Kuva 18.) koostui yhdeksästä eri pisteestä ja ajoneuvon kulkema matka on havainnollistettu kuvassa (Kuva x2). Ajoneuvon saavuttua pisteeseen (20,40) ajoneuvo suorittaa neutraalin käännöksen ja peruuttaa pisteeseen (20,50), palaa takaisin pisteeseen (20,40) ja jatkaa matkaa seuraavaan pisteeseen radalla. (Mathiassen ym., 2021, s. 12-13)

Kuva 18. Torin simulaatiossa kulkema matka. (Mathiassen ym., 2021, s. 17)



Ajoneuvo testattiin myös konkreettisesti oikeassa ympäristössä, jossa suoritettiin ensimmäinen simuloitu harjoite, joka sisälsi kolme suoraa rataa. Ulkoilmassa tapahtuvassa testissä ajoneuvoa ajettiin hieman ylämäkeen lumisella kentällä, jossa oli märkää lunta noin 10cm paksuudelta (Mathiassen ym., 2021, s. 14). Ajoneuvon nopeus oli noin 1 m/s. Näiden yksinkertaisten testien perusteella huomattiin, että ajoneuvo pystyy suoriutumaan yksinkertaisista navigaatiotehtävistä. Raportti kuitenkin huomioi, että laitteen käännösnopeuksissa on huomattavaa heittoa, joka johtui ajoneuvon liikkeiden laskentamallista. Ajoneuvo pystyi myös navigoimaan suunniteltua reittiä simulaatiossa, sekä suorittamana vaadittavat käännökset sekä peruutukset pienillä sijaintivirheillä. (Mathiassen ym., 2021, s. 15)

Raportti antaa mielenkiintoisen katsauksen siihen, mitä autonomisuuden toteuttaminen vaatisi ensitekijöiksi. Tietysti Norjassa tehty tutkimus antaa hyvän kuvan tarvittavista

antureista, minkälaista ohjelmointia perustason autonomisuuden luominen vaatisi käytännössä ja minkälaisia testiä ajoneuvolla voi suorittaa järjestelmän toimivuuden toteamiseksi, kun kyseessä on yksinkertainen pisteeltä toiselle tapahtuva liike. On kuitenkin huomioitava, että raportin puitteissa saavutettiin hyvin yksinkertainen reittiä kulkeva ajoneuvotekoäly, joka osaa navigoida pisteeltä pisteelle ja tarvittaessa kääntyä sekä peruuttaa. Nämä toiminnot ovat perustoimintoja, eli suhteellisen alkeellisia ottaen huomioon taistelukentän haastavat vaatimukset. Ajoneuvon tulisi kyetä toimimaan myös poikkeustilanteissa sekä navigoimaan pisteiden välissä olevia erilaisia esteitä.

2.5 Yhteenveto olemassaolevista järjestelmistä

Koska miehittämättömien ajoneuvojen teollisuuden ala on kovalla vauhdilla kehittyvä ja uusia järjestelmiä luodaan jatkuvasti, ei ole järkevää käydä jokaista mahdollista ajoneuvoa läpi ja eritellä niiden ominaisuuksia. Kappaleen tarkoitus on luoda katsaus kehittyvään teknologiaan ja minkälaisia tuloksia ollaan jo saatu, minkälaisia ratkaisuja ollaan jo luotu ja mahdollisesti minkälaisia ratkaisuja mahdollisesti nähdään tulevaisuudessa. On kuitenkin hyvä mainita, että autonomisia ajoneuvoja on tutkittu myös EU-tasolla TALOS (Transportable Autonomous patrol for Land bOrder Surveillance) projektin puitteissa 2008 – 2012 jonka tuloksena saatiin itsenäisesti navigoiva ajoneuvo, vaikkakin ratkaisu kärsi samoista paikallistamisen ja kartoituksen ongelmista kuin moni muu aikaisempi autonominen ajoneuvo (Euroopan komissio, n.d.). Euroopassa on tämän lisäksi suunniteltu muitakin puoliautonomisia ajoneuvoja, kuten esimerkiksi Tsekeissä kehitetty 6x6 ajoneuvo nimeltään ”Taros” (Tšekin puolustusministeriö, n.d.) sekä Yhdysvalloissa kehitteillä oleva Ripsaw M5 (Textron systems, n.d.). Yksi mainitsemisen arvoinen, hieman muista mainituista laitteista eroava esimerkki on Espanjan SASCorpin kehittämä ”Valkyrie”, joka on myöskin profiililtaan 6x6 ajoneuvo, mutta myös amfibinen, eli ajoneuvo kykenee vesisuihkumoottoreiden avulla uimaan tyynessä vesistössä (Valpolini, 2021). Kehitys on jatkuvaa ja moni maa on tuonut markkinoille useampia puoliautonomisia ajoneuvoja, voidaan olettaa, että puoliautonomiset miehittämättömät maa-ajoneuvot (UGV) ovat todennäköisesti lisääntymässä militariamarkkinoilla lähitulevaisuudessa.

Tässä kappaleessa esitellyissä ajoneuvoissa on yhteisiä ominaisuuksia ja käyttöprofiili on monessa laitteessa hyvin samankaltainen. Ulkoisista ominaisuuksista voidaan huomata, että alustoiksi on valikoitunut yleisesti 6x6 tai 4x4 alusta varustettuna kumipyörillä tai teloilla. Ajoneuvot ovat kooltaan vaihtelevia, mutta teemana näkyy vahvasti noin mönkijän kokoluokan UGV:t (kuten esimerkiksi Themis) sekä hieman taistelupanssarivaunua pienemmät ajoneuvot (kuten esimerkiksi venäläisten URAN9 ja amerikkalaisten Ripsaw M5.) Ajoneuvon toimiessa autonomisesti tai puoliautonomisesti ei järjestelmää tarvitse suunnitella miehistöä huomioiden, mikä mahdollistaa tietysti pienemmän ja matalaprofiilisemman rungon verrattuna esimerkiksi rynnäkköpanssarivaunuihin. Matalampi profiili mahdollistaa ajoneuvolle helpomman piiloutumisen tähystykseltä ja esimerkiksi panssarintorjunta-aseilta, mutta tuo myös mukanaan haasteita ajoneuvon kameroiden näkökyvyn suhteen.

Mielenkiintoinen huomio ajoneuvoja tutkiessa on myös se, että niiden käyttöprofiileissa on myös paljon yhteisiä piirteitä. Yleinen listattu käyttötarkoitus pienemmille noin mönkijän kokoisille ajoneuvoille on toimiminen eräänlaisena kuormajuhtana. Tällöin ajoneuvoa ohjataan joukon mukana, kun taas joissakin malleissa on tarkoitus käyttää erillistä seuraamistoimintoa niin, että ajoneuvo kuljettaa joukon varusteita mukanaan jolloin joukon jäsenten eli yksittäisten taistelijoiden kantama kuorma kevenee. Yksittäisen sotilaan kantama kuorma on arvioiden mukaan noin 53kg erilaisten varusteiden muodossa (Fish & Scharre, 2018, s.7) Kun tähän lisätään vielä ryhmäkohtainen materiaali, on helppo kuvitella joukon mukana kulkeva pieni puoli- tai täysautonominen ajoneuvo jakamassa taakkaa ja lisäämässä joukon nopeutta maastossa. Kuorman kantamisen lisäksi ajoneuvojen käyttöprofiileihin lukeutuu myös tiedustelu, eli tiedon kerääminen sekä alueiden valvonta. Tämäkin tehtävä on järkevämpi hoitaa kevyemmillä ajoneuvoilla ja monessa on polttomoottorin lisäksi sähkömoottori, mikä mahdollistaa hiljaisen ajon pelkkää sähköä käyttäen. Hiljainen liikkuminen helpottaa alueen tiedustelua eikä anna liikaa osviittaa viholliselle lähestyvästä ajoneuvosta. Tämä on etu myös aluetta partioidessa.

Ajoneuvojen antureita ja toteutuksia on vaikeampi arvioida keskenään, sillä tarkkaa tietoa eri antureista on hankalaa saada ja valmistajat eivät ymmärrettävästi näitä tietoja paljasta. Voidaan kuitenkin todeta, että moni ajoneuvoista hyödyntää tarpeen mukaan pitkän matkan

sähköoptisia antureita sekä osassa ajoneuvoissa on mahdollisuus myös hyödyntää infrapunakameraa. Näkökyvystä päästäänkin itse järjestelmien ohjaamiseen ja aseistukseen. Vaikka ajoneuvon liikkeitä voidaan toteuttaa autonomisesti, on huomion arvoista että ajoneuvojen aseistuksen käyttö on ihmisen päätöksen takana eikä ole mukana ajoneuvon autonomisessa toiminnassa. Tässä kohtaa tullaan varmasti tekniikan äärelle, että luotettavaa kohteiden tunnistamista ja aseiden käyttöä ei nykyisellään voida toteuttaa, mutta myös eettisten kysymyksien äärelle kuten autonomisten haasteiden yhteydessä kävi ilmi. Edelleen aika ja teknologioiden kehittyminen tulee osoittamaan tien mihin tässä kappaleessa esitellyt ratkaisut päätyvät ja minkälaista kehitystä tullaan näkemään jatkossa.

3 Puolustusvoimien huomioitavia asioita autonomisessa navigoinnissa ja mahdollisia käyttökohteita autonomiselle ajoneuvolle

Autonomian tutkiminen aiheena on hyvin laaja, joten tämän työn puitteissa huomio on tarkennettu autonomisen järjestelmän navigointiin sekä asioihin, jotka tulisi ottaa huomioon kyseistä ominaisuutta suunnitelleessa. Tämä kappale tarkastelee autonomisen maa-ajoneuvon toimintaa navigoinnin kannalta ja nimenomaan huomioiden Suomen olosuhteet. Jotta autonominen ajoneuvo kykenisi liikkumaan Suomen olosuhteissa itsenäisesti ilman jatkuvaa operaattorin ohjaamista (vaikkakin ihmisen tulisi silti valvoa itse järjestelmää), tulisi sen kyetä hahmottamaan edessä olevaa maastoa sekä saamaan tieto omasta sijainnista. Autonomiseen navigointiin ja liikkumiseen Suomen luonnossa tarvittaisiin ajoneuvolta näkökykyä, nähdyn ymmärrystä sekä paikkatietoa.

Metsässä ei esiinny asutuskeskuksen tavoin toistuvia rakenteita, merkintöjä tai ennakoitavuutta vaan metsä on täynnä kaaosta. Tämän kaaoksen tulkitseminen vaatii järjestelmältä kykyä analysoida näkemäänsä. Koneäly ja koneen opettaminen taas voisi tuoda ratkaisuja navigointiin Suomen metsäolosuhteissa. Tunnistamisen ongelmaan on sovellettu koneoppimista aina DARPAa myöten ja sillä on saatu lupaavia tuloksia (Soule, 2008, s. 103). Kun ajatellaan metsässä ajavaa miehittämätöntä ajoneuvoa ja sen kameran tuottamaa kuvaa, niin on järjetöntä käsin luoda jokaiselle kameran tuottamalle kuvalle sopivaa algoritmiä tai säännöstöä miten toimia. Koneoppimisessa on siis kyse siitä, että miehittämätön ajoneuvo opetetaan ymmärtämään antureilta tulevaa kuvadataa, siinä

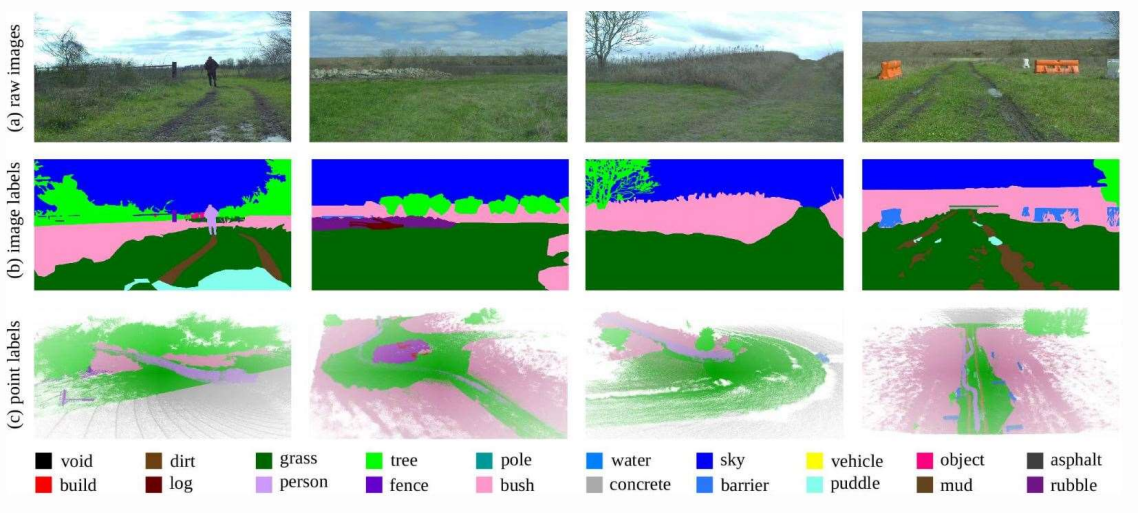
esiintyviä muotoja ja ominaisuuksia. Järjestelmä siis tulkitsee sille tulevaa syötettä, analysoi saamaansa tietoa ja tekee sen perusteella päätöksen. Sitä mukaa kun ajoneuvo saa lisää kuvamateriaalia, eli dataa, lisätään tietoa ajoneuvon järjestelmän tietokantaan ja ajoneuvo oppii samalla. Jos kuvassa näkyy suoraan etenevä polku ja järjestelmä osaa analysoida kuvan poluksi, ajetaan esimerkiksi suoraan ja niin edelleen. Kameralta tulevan kuvan analysointiin on mahdollista käyttää CNN:ää (Convolutional Neural Network) eli koneellista neuroverkkoa. CNN-neuroverkkoa käytetään erityisesti kuvadatan käsittelyyn, kuten esimerkiksi luokitteluun. Neuroverkolle ei tarvitse erikseen kertoa kuvadatan luokittelua, riittää että se saa tarpeeksi suuren, ihmisen jo valmiiksi luokitteleman datan, jonka perusteella CNN kykenee päättelemään kuvien luokat (Kallio, 2018). CNN siis etsii kuvista piirteitä, ominaisuuksia sekä samankaltaisuuksia, mutta opetuksessa käytetyn datan laatu tulee olla hyvää. CNN voisi olla eräs työkalu, jolla saataisiin näkökykyä Puolustusvoimien käyttämälle ajoneuvolle.

Maaston tunnistuksessa käytetyssä kuvadatassa on otettava huomioon myös kuvakulma, mistä kuvadataa on tuotettu (Lind, 2018, s. 36). Kun maaston tunnistamista lähdetään opettamaan on huomioitava korkeus miltä itse ajoneuvo näkee maaston suurimmaksi osaksi. Datan tulee täten vastata oikean elämän tilannetta ja sitä mitä ajoneuvo tulee oikeasti näkemään. Lisäksi kameran asema ajoneuvossa tulee ottaa huomioon sekä tarvittavat tukijärjestelmät kalibroimaan kameraa sekä vakauttamaan kamera liikkeen ja tärinän aikana. Jos kamera liikkuu ja tärisee liikaa, se ei välttämättä kykene tunnistamaan maastoa etenkin kasvillisuuden liikkuessa ja valolähteiden muuttuessa. (Mahony ym., 2018, s. 5)

Autonomisen järjestelmän opettaminen vaatii paljon datamateriaalia, josta esimerkkinä aikaisemmin jo mainittu Rellis 3-D niminen tietokanta jonka on koostanut Texas A&M University ja se koostuu oppilaitoksen mukaan 13 556 lidar-skannauksesta sekä 6 235 kuvasta, joita on otettu Teksasin maastosta käyttäen kevyttä miehittämätöntä ajoneuvoa (Kuva 19.). Tämän lisäksi tietopankki sisältää anturitietoa muun muassa ajoneuvon inertiayksiköstä. (Unmanned Systems Lab, n.d.) Vastaavanlaista tietokantaa voitaisiin myös kerätä Suomen olosuhteissa. Suomessa on suhteellisen vaihtelevaa maastoa ja meillä esiintyy erilaisia metsävyöhykkeitä. Siitä huolimatta Suomessa esiintyvät luontotyypit ovat yleisiltä piirteiltään ja ominaisuuksiltaan määriteltävissä ja näistä erilaisista ympäristöistä

voisi esimerkiksi Puolustusvoimat kerätä vastaavanlaista kuvamateriaalia. Tätä dataa voitaisiin käyttää juurikin konenäön opettamiseen vastaamaan Suomen olosuhteita.

Kuva 19. Esimerkki Rellis 3-D datasta luokiteltuna. (Unmanned Systems Lab, n.d.)

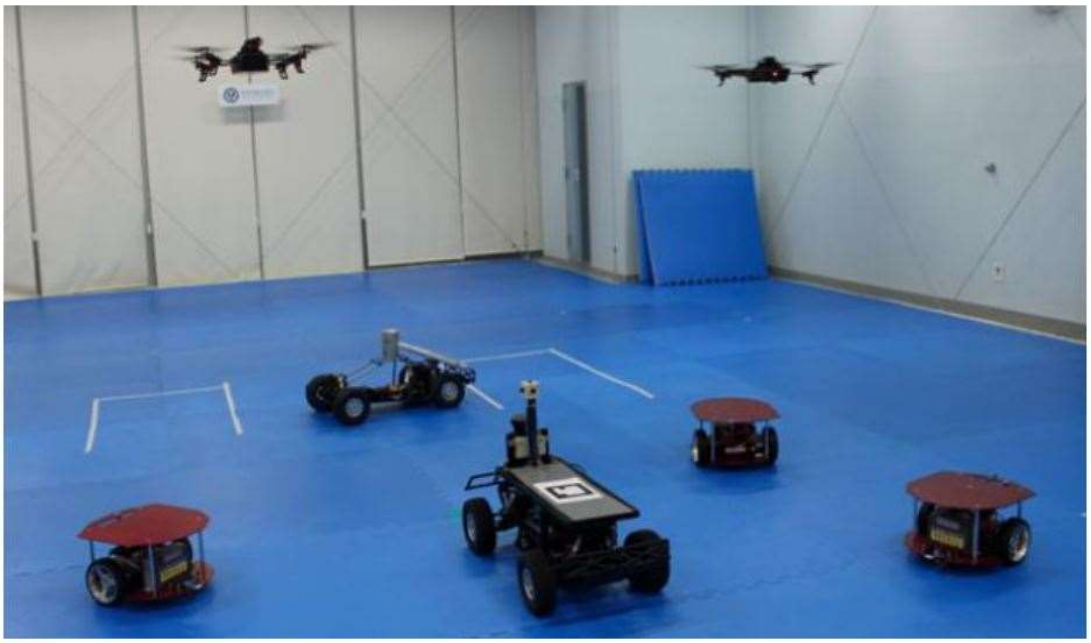


Näön lisäksi ajoneuvon tulee tietää myös oma sijaintinsa, jotta tiedetään mihin suuntaan kuuluu edetä navigoitaessa ja mistä pisteestä lähdetään. GPS-signaalin käyttö on normaaleissa oloissa varteenotettava vaihtoehto navigoida, mutta satelliittipaikannusta voidaan häiritä tai se voi muuten vain ottaa häiriötä ympäristöstä, kuten esimerkiksi asutuskeskuksissa eli niin sanotuissa ”urbaaneissa kanjoneissa”, joissa korkeat rakennukset saattavat estää tai heijastaa GPS-signaalia. Satelliittipaikannuksen lisäksi ajoneuvolla tulisi olla myös muitakin tapoja paikantaa sijaintinsa, eli GPS-navigointi tarvitsee tuekseen muitakin järjestelmiä. Eräs vaihtoehto tällaiseksi tukijärjestelmäksi voisi olla inertiasuunnistus (INS eli inertial navigation system) jota on käytetty pitkään esimerkiksi raketeissa. Inertiasuunnistus vaatisi ajoneuvon käyttöön inertianmittausyksikön (Inertia measurement unit eli IMU.) IMU koostuu gyroskoopeista, kiihtyvyysantureista sekä vaihtoehtoisesti magnetometristä ja sen tehtävänä on mitata ajoneuvon kiihdytystä sekä siihen kohdistuvaa voimaa. IMU:n avulla pystytään siis tuottamaan sijaintitietoa ajoneuvolle, kuten esimerkiksi montako metriä ollaan liikuttu lähtöpisteestä, missä asennossa ja mihin suuntaan liike on tapahtunut ilman ulkopuolista tietoa kuten satelliittipaikannusta.

Puolustusvoimien tulisi siis ajoneuvon antureissa huomioida GPS-navigoinnin lisäksi inertiamittausyksikön käyttö. (Mahony ym., 2018, s. 3)

Paikkatiedon tuottamiseen voidaan käyttää myös toisia miehittämättömiä laitteita, eli maata kulkevaa ajoneuvoa voisi tukea esimerkiksi ilmassa lentävä miehittämätön lennokki tai nelikopteri (Kuva 20.). Näiden kahden järjestelmän välille olisi mahdollista rakentaa yhteys niin, että ne tukisivat toisiaan ja antaisivat toisilleen tarvittavat tiedot navigointiin. Tämänlaista infrastruktuuria kutsutaan nimellä VANET (Vehicular Ad hoc Networks) ja se voisi olla yksi lisäkeino navigointiin. VANETin avulla esimerkiksi drone pystyisi avustamaan maassa liikkuvaa autonomista ajoneuvoa lähettämällä tälle dataa ilmasta suoraan tai reitittämällä datan tukiaseman kautta. UAV tai drone voi ilmasta käsin toimia tässä tehtävässä sillä ilmassa ei ole kiinteitä esineitä, jotka voisivat estää datan lähettämisen. (Oubbati ym., 2019, s. 1) Dronen ilmasta kuvaamaa ilmakuvaa voisi käyttää esimerkiksi vaihtoehtoisten reittien löytämiseen, vihollisen sekä omien joukkojen paikallistamiseen. Toki varjopuolena tämä toisi yhtälöön yhden ajoneuvon lisää joka tekisi kokonaisuudesta monimutkaisemman. Myös Suomen metsäinen maasto sekä puiden tarjoama näkösuoja voi tehdä tarkan ilmakuvan saamisen hankalaksi tai jopa mahdottomaksi.

Kuva 20. Miehittämättömät ajoneuvot tekemässä yhteistyötä. (UAS Vision, n.d.)



Suomen maasto-olosuhteisiin liittyen on myös otettava energiankulutus huomioon. Navigoinnissa, etenkin metsäolosuhteissa, on järkevää suunnitella kuljettu reitti niin, että otetaan huomioon virrankulutus. Ajoneuvon ei ole mielekästä valita kaikista vaikeakulkuisinta maastoa, mikäli tehtävä ei vaadi sitä. Mitä vaikeakulkuisempi maasto ja mitä enemmän ajoneuvo joutuu esimerkiksi kiipeämään jyrkkiä kulmia tai ajamaan vaikeakulkuisessa maastossa, sitä enempi se kuluttaa energiaa. Navigoinnin ja energiakulutuksen optimoinniksi olisi hyvä luoda malli, joka ottaa huomioon mekaanisen rasituksen ja virrankulutuksen. Aiheeseen liittyen on tehty jo tutkimusta, jossa ajoneuvon sensoreilta kerätään tietoa, kuten esimerkiksi lidarin pistepilvidataa ja tähän dataan yhdistetään energiakulutusta mallintava algoritmi. (Lourenco ym., 2020, s. 2) Näin ajoneuvo kykenee laskemaan kuinka paljon sen valitsema reitti kuluttaa energiaa, eli polttoainetta tai sähköä. Maaston vaativuus sekä sen analysointi olisi siis hyvä ottaa huomioon ajoneuvon navigointitoimintoja suunnitellessa myös Puolustusvoimissa.

Kun ajoneuvosta löytyy näköä ja paikkatietoa, olisi mahdollista tuottaa autonomista navigointia metsämaastossa. Käytännön tasolla tulee huomioida Suomen keliolosuhteet sekä käytettyjen antureiden ominaisuudet. Esimerkkinä ajoneuvo, joka seisoo pihalla useita tunteja talvella, jolloin ajoneuvon anturit voivat peittyvät lumeen tai jäätyä. Tämä voitaisiin ratkaista esimerkiksi suunnittelemalla antureiden paikat niin, ettei tällaista vahinkoa pääse tapahtumaan. Esimerkiksi niin, että anturit tulevat esiin vasta kun ajoneuvo käynnistetään ja muun ajan ne ovat suojassa sääolosuhteilta. On silti huomioitava, että kosteus, jäätyminen sekä metsäolosuhteet asettavat korkeat vaatimukset antureiden fyysisille ominaisuuksille kuin myös niitä tukevalle mekaniikalle.

On sanomattakin selvää, että autonomista navigointia voidaan myös kehittää sekä testata virtuaalisesti, kuten aiemmin mainittu Norjan asevoimien esimerkki osoittaa. Tämä mahdollistaa joustavan sekä kustannustehokkaan navigoinnin sekä anturien toiminnan testaamisen, joten tätä vaihtoehtoa kannattaisi myös Puolustusvoimien harkita. Simulointiin voisi käyttää esimerkiksi Unity-pelimoottoria, jolla voidaan simuloida 3D-ympäristöjä. Testaus on kuitenkin tärkeässä roolissa jos autonomista navigointia halutaan kehittää, näön, paikkatiedon sekä antureiden toimivuuden lisäksi.

On hyvä pitää katse tulevaisuuteen ja nähdä autonomia sekä autonomiset ajoneuvot uutena teknologiana, jota tullaan todennäköisesti näkemään niin siviili- kuin armeijakäytössä. Myös Puolustusvoimilla on tilaisuus hyödyntää autonomian suomia etuja ja organisaatiossa on varmasti olemassa erilaisia käyttökohteita joita voitaisiin jatkossa ajatella ainakin osittain suoritettaviksi autonomisilla ajoneuvoilla. Olettaen että tässäkin selvityksessä esitetyt haasteet saadaan jatkossa selätettyä.

Ajoneuvo Puolustusvoimien käytössä voisi olla matalaprofiilinen kuten markkinoilla olevat ajoneuvot. Matalasta profiilista ja pienestä koosta on omat hyötynsä. Pieni profiili tekee ajoneuvosta vaikeamman havaita sekä samaan aikaa pienemmän maalitaulun. Ajoneuvon tulisi myös kyetä liikkumaan suomalaisessa maastossa, eli alusta tulisi olla myös kotimaiseen metsämaastoon sekä eri vuodenaikoihin sopiva, vaikkakin alustaa ei tämän selvityksen puitteissa tutkittukaan syvällisesti. Tämän lisäksi keliolosuhteet tulee ottaa huomioon esimerkiksi antureiden sijoittelussa kuten työssä on aikaisemminkin todettu.

Itse käyttökohteita voidaan autonomiselle ajoneuvolle keksiä Puolustusvoimien käytössä useita. Autonomisia ajoneuvoja voitaisiin käyttää esimerkiksi tiedustelu- sekä vartiointikäytössä. Käyttämällä aikaisemmin esitettyä ”hiljaisen ajon” sähkömoottoriajoa voisi tiedusteluajoneuvo liikkua maastossa hiljaisesti. Ei olekaan täysin kaukaa haettua, että Puolustusvoimat voisivat käyttää esimerkiksi kohteiden suojaamisessa sekä laajojen metsäalueiden vartioinnissa autonomista ajoneuvoa, joka keräisi maatasosta tietoa sekä välittäisi kerätyn tiedon eteenpäin ihmiselle analysoitavaksi.

Puolustusvoimien käytössä oleva hajautettu taistelutapa voisi hyötyä myös autonomisen ajoneuvon käytöstä. Ajoneuvo voisi toimittaa joukoille varusteita ja muita tehtävän kannalta tärkeitä täydennyksiä (Kuva 21.). Koska ajoneuvo olisi miehittämätön, ei levolle olisi tarvetta jolloin huoltoyhteys voisi teoriassa toimia kellon ympäri, ottaen tietysti huomioon ajoneuvon tankkaustarpeet. Tämän lisäksi ajoneuvo voisi kulkea ryhmän mukana ja kuljettaa ryhmäkohtaisen materiaalin, kuten esimerkiksi majoitustarvikkeet, ryhmän reput ja ammukset. Ajoneuvo voisi myös kuljettaa tykistöpattereille sekä TVÄL-ryhmille ammuksia ja muita tulitoiminnan kannalta tarvittavia tarvikkeita. Ajoneuvoa voitaisiin siis käyttää kuormajuhtana, joka helpottaisi materiaalien liikuttamista paikasta toiseen. Ajoneuvoon

voitaisiin asentaa myös tehtäväkohtaista aseistusta, mutta kuten tämänkin selvityksen puitteissa on useasti mainittu, ihminen on pidettävä mukana päätöksenteossa kun käytetään tappavaa voimaa. Puolustusvoimien tapauksessa ajoneuvolla olisi täten operaattori tai useampi operaattori, jotka vastaavat aseistuksen käyttämisestä. Kuitenkin tällainen ajoneuvo voisi ryhmätasolla tarjota kuormajuhdan lisäksi myös tulivoimaa esimerkiksi jalkaväkiryhmälle.

Kuva 21. Australialainen sotilas miehittämätömän kuormajuhdan kanssa. (Dwierga, 2020)

Taistelukenttä kehittyy vaikka tietyt asiat pysyvätkin samanlaisina, mutta tämän myötä myös miehittämättömät ajoneuvot ja niiden käyttötarkoitukset muuttuvat. Tässä kappaleessa on eritelty käyttötarpeita, jotka vastaisivat nykyajan taistelukentän tarpeisiin, mutta vain tulevaisuus näyttää minkälaisia tarpeita nousee esille lähitulevaisuudessa ja minkälaista on tulevaisuuden sodankäynti ja konfliktien luonne.

4 Yhteenveto ja aiheet jatkotutkimuksille

Selvityksen aiheesta voidaan todeta, että aihe on todella laaja ja sitä on haastavaa täysin tyhjentävästi käsitellä yhdessä opinnäytetyössä tai selvityksessä. Autonominen toiminta on kuin yksi iso kokonaisuus, jossa jokainen osa-alue vaikuttaa toisiinsa. Autonomian ongelma voidaan nähdä monimutkaisena palapelinä, jonka jokainen yksittäinen palanen on oma monimutkainen osa-alue joka vaatisi syvempää tutkimusta.

Alkuperäinen tutkimuskysymys oli mitä tarvittaisiin, jotta ajoneuvo pystyisi liikkumaan itsenäisesti eli autonomisesti. Tämän itsenäisen eli autonomisen liikkeen aikaansaamiseksi monen osa-alueen tulisi toteutua. Ajoneuvon alustan tulisi olla sellainen, että liike halutussa ympäristössä (oli se sitten metsä- tai kaupunkiympäristö) on mahdollista. Tämän lisäksi ajoneuvon antureiden (lidarit, näkökamerat, kiihtyvyysanturit ja niin edelleen) tulisi olla riittävät ympäristön aistimiseen, ajoneuvon tekoälyn tulisi kyetä myös ymmärtämään antureilta tulevaa tietoa sekä toimimaan tehtävän edellyttämällä tavalla. Sotilasympäristö asettaa myös hyvin tarkat vaatimukset antureille esimerkiksi kestävyyden suhteen. Tähän yhdistettynä energian kulutus sekä voimanlähteelle asetettavat vaatimukset kuten teho, ladattavuus, hiljaisuus ja niin edelleen tulisi myös kartoittaa tarkkaan. Myös ajoneuvon käyttötarkoitus tulisi pohtia sekä teknisten, että myös eettisten kysymyksien kautta.

Aiheen laajuuden vuoksi navigaatio otettiin tarkempaan tarkasteluun. Ajoneuvon tulee kyetä navigoimaan haastavaa maastoa ilman ihmisen suoraa ohjausta jos autonomia halutaan saavuttaa. Tätä varten tarvitaan tieto ajoneuvon omasta sijainnista jotta voidaan navigoida kohteeseen sekä näköä, jotta matkalla kohteeseen pystytään välttämään mahdolliset esteet. Paikkatietodataa voidaan saada satelliittipaikannuksen avulla, mutta myös muita vaihtoehtoja tulisi tutkia paikkatiedon saamiseksi, sillä satelliittipaikannus ei aina tilanteesta riippuen ole välttämättä käytettävissä. Tämän ongelman ratkaisemiseen voitaisiin käyttää inertiamittausyksikköä satelliittipaikannusta täydentävänä järjestelmänä. Tämän lisäksi voisi käyttää avustavan dronen antamaa paikkatietoa, eli ad-hoc verkkoa eli VANETia. VANET tarvitsisi oman tutkimuksen ja itse infrastruktuurin ideointi olisi jo oma opinnäytetyönsä, mutta toisiaan tukevat autonomiset ajoneuvot voisivat olla eräänlainen ratkaisu tai kokonaisuutta tukeva järjestelmä.

Paikkatiedon lisäksi tarvittiin näkökykyä ja tätä voitaisiin saavuttaa erilaisilla kameroilla sekä lidaria käyttämällä. Pelkkä näkösensoreilta tuleva data ei kuitenkaan riitä yksinään, vaan ajoneuvon tulee ymmärtää mitä sen antureilta tuleva tieto tarkoittaa. Tähän pulmaan tuotiin esille CNN-neuroverkko jonka avulla voitaisiin tunnistaa kameran kuvadatasta eri esineitä, kasvillisuutta ja maan muotoja. Tämä kuitenkin vaatii opettamista ja paljon kuvadataa, jolla järjestelmän kuvatunnistusta voidaan opettaa. Tähän käyttötarkoitukseen voitaisiin Puolustusvoimien tai jonkin muun organisaation puolesta kerätä kuvamateriaalia Suomen luonnosta. Materiaalin tulisi olla monimuotoista, eli siinä otettaisiin huomioon Suomessa esiintyvät erilaiset metsätyypit ja metsien erilaiset alueet kuten esimerkiksi suot ja hakkuualueet. Myös vuodenajat tulisi ottaa huomioon dataa kerätessä. Jatkotutkimusta olisi hyödyllistä tehdä CNN-neuroverkkojen kuvantunnistamiseen liittyen, sekä siihen minkälainen kuvadata Suomen luonnosta olisi optimi koneoppimiseen.

Autonomisen navigoinnin tulisi olla tehtävän salliessa mahdollisimman tehokasta. Ajoneuvon tulisi kyetä suunnittelemaan reitti niin, että reitin kulkemiseen kuluu mahdollisimman vähän energiaa. Sotilasympäristössä tulee ottaa huomioon erilaiset rajoitteet, kuten esimerkiksi tähystyksen kannalta huonot alueet, vihollisen toiminta sekä vihollisen oletettu suunta. Täten sotilasympäristössä kaikista helpoiten kuljettavan reitin valinta ei aina ole mahdollista. Ajoneuvon tulisi kuitenkin pyrkiä priorisoimaan sellaisia reittejä joiden energiakulutus olisi alhainen. Tässä selvityksessä mainittu tutkimus oli soveltanut energiatehokkuutta reitinvalintaan lisäämällä energiatehokkuuden lisämuuttujana lidarin pistepilven analysointiin. Tämä nimenomainen energiatehokkuuden parantaminen olisi myös asia, joka tulisi ottaa huomioon autonomista toimintaa suunnitellessa. Ei ole mielekästä, että ajoneuvo valitsee suorimman reitin, jos se samalla kuluttaa suuren määrän energiaa jyrkkien ylämäkien tai vaikeakulkuisen maaston ylittämiseen.

Loppujen lopuksi voidaan yksinkertaisesti todeta, että autonominen navigointi tarvitsee näköä, paikkatietoa ja kykyä suunnitella reitti järkevästi sekä energiatehokkaasti. CNN, VANET sekä energiatehokkuuden huomioon ottaminen ovat työkaluja tämän saavuttamiseen, mutta kuten aikaisemmin mainittu kyseiset aiheet vaatisivat ihan oman kattavan tutkimuksensa. Voidaan todeta, että aihe on ollut mielenkiintoinen tutkia kokonaisuutena. Ala kehittyy jatkuvasti ja spekulointi on vahvaa: mihin suuntaan tekniikka

seuraavaksi suuntaa? Sotilasilmailussa on jo käytössä drone-teknologiaa, joten voidaan myös olettaa, että maassa tapahtuva autonominen ajoneuvotoiminta tulee myös kehittymään perässä ja löytää myös tiensä sotilaskäyttöön. Laajempi käyttöönotto vaatii sen, että tässäkin työssä esitetyt ongelmat ratkaistaan, niin tekniikan kuin etiikan saralla.

Lähteet

Adler, A. (10.7.2018). Four Challenges for LiDAR on the Road to Autonomous Vehicles. Design News. https://www.designnews.com/electronics-test/four-challenges-lidar-road-autonomous-vehicles

Aljazeera. (13.9.2021). Israeli firm introduces armed combat drone to patrol borders. https://www.aljazeera.com/economy/2021/9/13/israeli-firm-introduces-armed-combat-drone-to-patrol-borders

Aljazeera. (29.8.2003). US soldier killed in convoy attack. https://www.aljazeera.com/news/2003/8/29/us-soldier-killed-in-convoy-attack

Anderson, K. (20.10.2016). Challenges for the U.S. Military in Designing and Deploying Self-Driving Vehicles. Lawfare blog. https://www.lawfareblog.com/challenges us military designing and deploying self driving vehicles

Army recognition. (7.4.2022). Rheinmetall Mission Master SP UGV with Thales 70mm guided rockets demonstrated in Sweden. https://www.armyrecognition.com/defense_news_april_2022_global_security_army_industry/rheinmetall_mission_master_sp_and_thales_70mm_guided_rockets_demonstrated_in_sweden.html

Army technology. (20.11.2016) Uran-9 Unmanned Ground Combat Vehicle. https://www.army-technology.com/projects/uran-9-unmanned-ground-combat-vehicle/

Atherton, K. (3.3.2016). This Estonian Tankette Is A Modular Body For War Robots. Popular Science. https://www.popsci.com/estonian-tankette-is-modular-body-for-war-robots/

Baldwin, R. (11.2.2020). Self-Driving-Car Research Has Cost $16 Billion. What Do We Have to Show for It?. Car and driver. https://www.caranddriver.com/news/a30857661/autonomous-car-self-driving-research-expensive/

Budnik, R. (2018). Early Drones – Radio Controlled Tanks of the USSR. [Kuva]. Haettu 10.12.2022 https://www.warhistoryonline.com/war-articles/radio-controlled-tanks-ussr.html?chrome=1

Businesswire. (2021). Milrem Robotics' Type-X Robotic Combat Vehicle with John Cockerill's CPWS II unveiled at IDEX 2021. [Kuva]. Haettu 10.12.2022 https://www.businesswire.com/news/home/20210220005001/en/Milrem-Robotics%E2%80%99-Type-X-Robotic-Combat-Vehicle-with-John-Cockerill%E2%80%99s-CPWS-II-unveiled-at-IDEX-2021

CBS News. (17.1.2007). U.S. Woman Among 4 Killed In Iraq Ambush. https://www.cbsnews.com/news/us-woman-among-4-killed-in-iraq-ambush/

Cummings, M. (1.1.2017). Artificial Intelligence and the Future of Warfare. [Kuva]. https://www.chathamhouse.org/sites/default/files/publications/research/2017-01-26-artificial-intelligence-future-warfare-cummings-final.pdf

Cummings, M. (1.1.2017). Artificial Intelligence and the Future of Warfare. International Security Department and US and the Americas Programme. https://www.chathamhouse.org/sites/default/files/publications/research/2017-01-26-artificial-intelligence-future-warfare-cummings-final.pdf

Dao, J. (22.2.2013). Drone Pilots are Found to Get Stress Disorders Much as Those in Combat Do. The New York Times. https://www.nytimes.com/2013/02/23/us/drone-pilots-found-to-get-stress-disorders-much-as-those-in-combat-do.html

Davies, A. (2017). An Oral History of the Darpa Grand Challenge, the Grueling Robot Race That Launched the Self-Driving Car. [Kuva]. https://www.wired.com/story/darpa-grand-challenge-2004-oral-history/

Defence procurement. (29.6.2021). THeMIS Unmanned Ground Vehicle at Special Forces Seminar in France. https://www.defenceprocurementinternational.com/news/land/the-themis-unmanned-ground-vehicle-at-sofins-in-france

Defense advanced research projects agency. (n.d.-a). DARPA Subterranean challenge. Haettu 1.12.2022 osoitteesta https://web.archive.org/web/20210627220604/https://www.subtchallenge.com/

Defense advanced research projects agency. (n.d.-b). The Grand Challenge. Haettu 1.12.2022 osoitteesta https://www.darpa.mil/about-us/timeline/-grand-challenge-for-autonomous-vehicles

Dubois, C. (18.6.2018). What Is Solid State LiDAR and Is It Faster, Cheaper, Better? All about circuits. https://www.allaboutcircuits.com/news/solid-state-lidar-faster-cheaper-better/

Dwierga, A. (2020). Unmanned Ground Vehicles: Transitioning Capability. [Kuva]. Haettu 14.12.2022 https://www.asianmilitaryreview.com/2020/03/unmanned-ground-vehicles-transitioning-capability/

Euroopan komissio. (n.d.) Final Report Summary - TALOS (Transportable Autonomous patrol for Land bOrder Surveillance). Haettu 6.7.2021 https://cordis.europa.eu/project/id/218081/reporting

European Security & Defence. (n.d.). Russia URAN 9 Unmanned Combat Ground Vehicle UCGV. [Kuva]. Haettu 14.12.2022 https://euro-sd.com/russia-uran-9-unmanned-combat-ground-vehicle-ucgv/

Farge, M. (13.12.2021). U.N. chief urges action on 'killer robots' as Geneva talks open. Reuters. https://www.reuters.com/world/un-chief-urges-action-killer-robots-geneva-talks-open-2021-12-13/

Fiorenza, N. (2022). Rheinmetall Mission Master qualified to fire Thales laser-guided rockets. [Kuva]. Haettu 10.12.2022 https://www.janes.com/defence-news/news-detail/rheinmetall-mission-master-qualified-to-fire-thales-laser-guided-rockets

Fish, L. & Scharre, P. (2018) The Soldier’s Heavy Load. Center for New American Security. https://s3.us-east-1.amazonaws.com/files.cnas.org/documents/CNAS_Super-Soldiers_4_Soldiers-Heavy-Load-FINAL-2.pdf?mtime=20180926112023&focal=none

Francis, D. (2.4.2013). How a New Army of Robots Can Cut the Defense Budget. Fiscal times. https://www.thefiscaltimes.com/Articles/2013/04/02/How-a-New-Army-of-Robots-Can-Cut-the-Defense-Budget

German, S. (1.9.2020.) Why Tesla Won't Use LIDAR And which technology is ideal for self-driving cars. Towards Data Science. https://towardsdatascience.com/why-tesla-wont-use-lidar-57c325ae2ed5

Harju, J. (2022). Puolustus-voimat testasi maa-robottia, josta voi tulla suomalais-sotilaiden taistelu-apulainen 2030-luvulla. [Kuva]. Helsingin Sanomat. https://www.hs.fi/kotimaa/art-2000008720073.html

Hooper, J. (4.6.2004). From Darpa Grand Challenge 2004DARPA's Debacle in the Desert. https://www.popsci.com/scitech/article/2004-06/darpa-grand-challenge-2004darpas-debacle-desert/

Horowitz, C. (2016). The Ethics & Morality of Robotic Warfare: Assessing the Debate over Autonomous Weapons. Haettu 4.5.2021 https://www.amacad.org/publication/ethics-morality-robotic-warfare-assessing-debate-over-autonomous-weapons

Hossay, P. (2019). Automotive Innovation: The Science and Engineering behind Cutting-Edge Automotive Technology. CRC Press.

Israel Aerospace Industries. (2021). IAI Unveils Rex MK II: A New Multi-Mission Unmanned Land Vehicle. [Kuva]. Haettu 10.12.2022 https://www.iai.co.il/iai-unveils-rex-mk-ii-multi-mission-unmanned-land-vehicle

Janes. (1.7.2019). Army 2019: Russian VDV trials Mars A-800 UGV. https://www.janes.com/defence-news/news-detail/army-2019-russian-vdv-trials-mars-a-800-ugv

Kallio, J. (2018). Neuroverkot analytiikan edistäjinä. Insta Group Oy. https://www.insta.fi/ajankohtaista/neuroverkot-analytiikan-edist%C3%A4jin%C3%A4

Lind, L. (2018). Deep learning navigation for UGVs on forests paths. KTH Royal Institute of Technology. https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1192938/FULLTEXT01.pdf

Loizos, C. (29.3.2018). Uber has settled with the family of the homeless victim killed last week. Techcrunch. https://techcrunch.com/2018/03/29/uber-has-settled-with-the-family-of-the-homeless-victim-killed-last-week/

Lourenco, D., Ferreira, J. & Portugal, D. (2020). 3D Local Planning for a Forestry UGV based on Terrain Gradient and Mechanical Effort. https://wppmfr.isr.uc.pt/pdfs/WPPMFR_2020_paper_6.pdf

Mahony, N., Campbell, S., Krpalkova, L., Riordan, D. & Walsh, J. (2018). Deep Learning for Visual Navigation of UnmannedGround Vehicles. Institute of Technology Tralee. https://www.academia.edu/44043222/Deep_Learning_for_Visual_Navigation_of_Unmanned_Ground_Vehicles_A_review

Malyasov, D. (5.9.2016). Russia to display «Vihr» unmanned combat ground vehicle at ARMY 2016. Defence blog. https://defence-blog.com/russia-to-display-vihr-unmanned-combat-ground-vehicle-at-army-2016/

Mathiassen, K., Baksaas, B., Græe, S., Mentzoni, E. & Nielsen, N. (2021). Making the Milrem Themis UGV ready for autonomous operations. Spie digital library. https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/11758/117580S/Making-the-Milrem-Themis-UGV-ready-for-autonomous-operations/10.1117/12.2585879.short?SSO=1

Military media. (n.d.). Russian Uran-9 Robot Tank Specifications. Haettu 5.12.2022 https://www.militarymedia.net/2021/04/Russian-Uran-9-Robot-Tank.html

MilitaryLeak. (2021). Milrem Robotics Opens Its Central European Office and Introduces Upgraded THeMIS UGV. [Kuva]. Haettu 10.12.2022 https://militaryleak.com/2021/11/13/milrem-robotics-opens-its-central-european-office-and-introduces-upgraded-themis-ugv/

Milrem Robotics. (n.d.-a) The THeMIS UGV. Haettu 1.10.2022 https://milremrobotics.com/defence/

Milrem Robotics. (n.d.-b) Type-X RCV. Haettu 1.13.2022 https://milremrobotics.com/type-x/

Noor Hafizah, A., Zamzuri, H., Hudha, K., Zulkiffi, A., (2016) Modelling and Control Strategies in Path Tracking Control for Autonomous Ground Vehicles: A Review of State of the Art and Challenges. Researchgate.

Northrop grumman. (n.d.). Distributed Autonomy/Responsive Control – DA/RC. Haettu 4.4.2022 https://www.northropgrumman.com/what-we-do/air/distributed-autonomy-responsive-control-da-rc/

Oubbati, O., Chaib, N., Lakas, A., Lorenz, P. & Rachedi, A. (2019). UAV-assisted supporting services connectivity in urban VANETs. HAL Open Science. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02334367/file/IEEE_TVT_Double.pdf

Percepto (3.1.2019). The Differences Between UAV, UAS, and Autonomous Drones. Avinta, A. https://percepto.co/what-are-the-differences-between-uav-uas-and-autonomous-drones/

Phani, T., Bhavya, G., Neelaksh, S., Shyamsundar, P., Shyam, S., Surensh, S., Vaibhav, K. & Shishir, K. (2022). Control Barrier Functions in UGVs for Kinematic Obstacle Avoidance: A Collision Cone Approach. [Kuva]

Phani, T., Bhavya, G., Neelaksh, S., Shyamsundar, P., Shyam, S., Surensh, S., Vaibhav, K. & Shishir, K. (2022). Control Barrier Functions in UGVs for Kinematic Obstacle Avoidance: A Collision Cone Approach. Researchgate

Puolustusvoimat. (28.3.2022). Puolustusvoimat tutkii miehittämättömiä järjestelmiä puolustuksen tukena. https://puolustusvoimat.fi/-/puolustusvoimat-tutkii-miehittamattomia-jarjestelmia-puolustuksen-tukena

Research and markets. (1.12.2020). Solid State LiDAR Market - Forecasts from 2021 to 2026. https://www.researchandmarkets.com/reports/5238674/solid-state-lidar-market-forecasts-from-2021-to

Rheinmetall. (n.d.-a). The Rheinmetall Mission Master family. Haettu 25.11.2022 https://www.rheinmetall-

defence.com/en/rheinmetall_defence/systems_and_products/unbemannte_fahrzeuge/mission_master/index.php

Rheinmetall. (n.d.-b). The Rheinmetall Mission Master family. [Kuva]. Haettu 25.11.2022 https://www.rheinmetall-defence.com/en/rheinmetall_defence/systems_and_products/unbemannte_fahrzeuge/mission_master/index.php

Rheinmetall. (n.d.-c). THE RHEINMETALL MISSION MASTER FAMILY: A PIONEERING LINE OF AUTONOMOUS UNMANNED GROUND VEHICLES. Haettu 25.11.2022 https://www.rheinmetall.com/media/editor_media/rheinmetallag/events/land_forces_2022/vehicle_systems/B253e0822_Rheinmetall_Mission_Master_LR.pdf

Roblin, S. (17.1.2020). Russia Pushes Ahead With Development of Robotic T-72 Tanks and More. The national interest. https://nationalinterest.org/blog/buzz/russia-pushes-ahead-development-robotic-t-72-tanks-and-more-115341

Roblin, S. (30.4.2018). Russia Tried to Conquer Finland with Flamethrower Robot Tanks. The national interest. https://nationalinterest.org/blog/the-buzz/russia-tried-conquer-finland-flamethrower-robot-tanks-25629

Roblin, S. (7.4.2021). What Happened When Russia Tested Its Uran-9 Robot Tank in Syria? The national interest. https://nationalinterest.org/blog/reboot/what-happened-when-russia-tested-its-uran-9-robot-tank-syria-182143

Rodnitzky, A. (21.7.2021). Sensors 201: Scanning and Solid State LiDAR. Tamgram vision. https://www.tangramvision.com/blog/sensors-201-scanning-and-solid-state-lidar

Root, A. (4.7.2021). Lidar Is the Future of Autonomous Driving. This Company Is Making It Cheaper and Better. Barron's. https://www.barrons.com/articles/lidar-is-the-future-of-autonomous-driving-this-company-is-making-it-cheaper-and-better-51625405944

Ros.org. (n.d.) Why ROS? Haettu 1.11.2021 https://www.ros.org/blog/why-ros/

Rosique, F., Lorente, P. & Fernandez, C. (2019). A Systematic Review of Perception System and Simulators for Autonomous Vehicles Research. [Kuva]. Researchgate. Haettu

14.12.2022
https://www.researchgate.net/publication/330900887_A_Systematic_Review_of_Perception_System_and_Simulators_for_Autonomous_Vehicles_Research#pf5

Sadrpour, A. & Jionghua, J. (2012). Mission Energy Prediction for Unmanned Ground Vehicles Using Real-time Measurements and Prior Knowledge. University of Michigan.

Salminen, P. (n.d.). Robotiikka (2016). Haettu osoitteesta 1.11.2021 https://docplayer.fi/67729437-Robotiikka-2016-1-johdanto-ja-historiaa.html

Soule, T. (2008). Autonomous Navigation of an Unmanned Ground Vehicle in Unstructured Forest Terrain. Researchgate.

Stilgoe, J. (12.12.2019). Who Killed Elaine Herzberg? Onezero. https://onezero.medium.com/who-killed-elaine-herzberg-ea01fb14fc5e

Tech insights. (19.2.2019). LiDAR 101 – Solid-State and Mechanical LiDARs. https://www.techinsights.com/blog/lidar-101-solid-state-and-mechanical-lidars

Textron systems. (n.d.). M5. Haettu 8.9.2021 https://www.textronsystems.com/products/ripsaw-m5

The Guardian. (17.3.2017). Google's self-driving car avoids hitting woman chasing a bird – video. https://www.theguardian.com/technology/video/2017/mar/16/google-waymo-self-driving-car-video-woman-bird

The Royal Automotive Club. (2019). Uber self-driving car that killed pedestrian had software flaws. [Kuva]. Haettu 14.12.2022 https://www.rac.co.uk/drive/news/motoring-news/uber-self-driving-car-that-killed-pedestrian-had-software-flaws/

Tieteen Termipankki. (n.d.). Autonomia. Haettu osoitteesta 1.10.2022 https://tieteentermipankki.fi/wiki/Filosofia:autonomia

Tšekin puolustusministeriö. (n.d.) The UGV TAROS platform from VOP CZ is also used by the Czech army. Haettu 7.8.2021 http://www.vop.cz/en/clanek/29-the-ugv-taros-platform-from-vop-cz-is-also-used-by-the-czech-army.aspx

Turnbull, G. (14.10.2019) DARPA's Grand Challenge at 15: how far have autonomous military vehicles come?. Army Technology. https://www.army technology.com/features/darpas grand challenge at 15 how far have autonomous military vehicles come/

UAS Vision. (n.d.). UAV/UGV Cooperative System. [Kuva]. Haettu 14.12.2022 https://www.uasvision.com/2014/10/02/uavugv-cooperative-system/

Unavco. (n.d.). UNAVCO IDV LIDAR and TLS Point Clouds UNAVCO IDV: Displays of LIDAR and TLS Point Clouds. [Kuva]. Haettu 11.11.2022 https://www.unavco.org/software/visualization/idv/IDV_datasource_point_cloud.html

Unmanned Systems Lab. (n.d.). RELLIS-3D: A Multi-modal Dataset for Off-Road Robotics. Haettu 1.10.2022 https://unmannedlab.github.io/research/RELLIS-3D

Valpolini, P. (8.6.2020). Type-X: an unmanned direct fire support solution (and more) by Milrem Robotics. [Kuva].

Valpolini, P. (8.6.2020). Type-X: an unmanned direct fire support solution (and more) by Milrem Robotics. European Defence Review. https://www.edrmagazine.eu/type-x-an-unmanned-direct-fire-support-solution-and-more-by-milrem-robotics

Valpolini. P. (4.11.2021). Valkyrie, an amphibious 6×6 UGV by SASCorp. European Defence Review. https://www.edrmagazine.eu/valkyrie-an-amphibious-6x6-ugv-by-sascorp

Väljaots, E. & Sell, R. (2019). Energy efficiency profiles for unmanned ground vehicles. Talliinn University of Technology.

Way, S. (4.7.2018). THE NEREHTA COMBAT UNMANNED GROUND VEHICLE IS READY TO BE ADOPTED BY THE RUSSIAN ARMY. Army Guide. http://www.army-guide.com/eng/article/article.php?forumID=3230

Wiio, Osmo, A. (1989). Viestinnän perusteet. Weilin+Göös. (Alkuperäisteos julkaistu 1978)

Yhdysvaltain maavoimat. (2.2.2021). Mil Research and advances autonomous off-road navigation.

https://www.army.mil/article/242895/research_advances_autonomous_off_road_navigation

Yhdysvaltain puolustusministeriö. (10.12.2007). Unmanned systems roadmap 2007-2032. Globalsecurity https://www.globalsecurity.org/intell/library/reports/2007/dod-unmanned-systems-roadmap_2007-2032.pdf