

## TIIVISTELMÄRAPORTTI

### Sensorifuusio ja koneoppiminen autonomisessa järjestelmässä Jukka Heikkonen, Turun yliopisto, Tietotekniikan laitos, [jukka.heikkonen@utu.fi](mailto:jukka.heikkonen@utu.fi)

#### Tiivistelmä

Tutkimushanke tuki maanpuolustuskorkeakoulun (MPKK) tutkimusstrategiaa liittyen erityisesti tulevaisuuden muuttuvan taistelukentän ja autonomian osa-alueeseen. Tutkimuksessa hyödynnettiin MPKK:n kehittämää Laykka demonstraatioalustaa, joka kykenee liikkumaan itsenäisesti erilaisilla maastoissa ja on käytettävissä tulevaisuudessa sekä sotilas- että siviilikäytössä (esim. suuronnettomuuksissa) ihmiselle vaarallisilla alueilla/tehtävissä. Tutkimuksessa on kehitetty monisensorijärjestelmään pohjautuvia koneoppimismenetelmiä ympäristön havainnointiin ja saadun tilannekuvan pohjalta autonomisen järjestelmän optimaaliseen ohjaukseen tehtävän kannalta. Merkittävää tässä on erilaisten ns. kapeiden tekoälyn osa-alueiden, kohteen tunnistaminen ja kohteelle hakeutuminen/seuraaminen, integrointi yhdeksi autonomista toiminnallisuutta tuottavaksi järjestelmäksi. Puolustusvoimien kannalta tutkimus on tuottanut arvokasta tietoa monille puolustushaaroille uuden sukupolven autonomisten järjestelmien toimintakyvyn ymmärtämiseen sekä niiden käytettävyyteen erilaisissa tehtävissä.

#### 1. Johdanto

Osittain tai kokonaan autonomiset miehittämättömät järjestelmät ovat kasvavan mielenkiinnon kohteena niin siviili- kuin sotilasteollisuudessa. Tekoälyn viimeaikainen nopea kehitys erityisesti koneoppimisessa mahdollistaa entistä monimutkaisempien järjestelmien kehittämisen ja käytönoton asevoimissa jo lähitulevaisuudessa. Autonomisilta järjestelmiltä vaaditaan kyvykkyyttä toimia monimutkaisissa, monidimensioisissa, aika-/paikkariippuvissa sekä erilaista hajatietoa sisältävissä reaaliaikaisissa ja dynaamisissa toimintaympäristöissä. Autonomisten järjestelmien kehittämiseen asevoimien käyttöön tarvitaan tehokkaita tekoälypohjaisia työkaluja ja tämä hanke vastaa tähän tarpeeseen monien puolustushaarojen kannalta niin että saadut tulokset ovat yleistettävissä ja hyödynnettävissä uuden sukupolven autonomissa järjestelmissä eri puolustushaaroissa.

Keskeisintä autonomisen järjestelmän osalta on pystyä tekemään nopeasti oikeita päätöksiä suoritettavan tehtävän kannalta perustuen data/sensorifuusio-pohjaisen tilannekuvaan. Autonomisen järjestelmän tilannekuvalla (Situational awareness, SA) on kolme tasoa: 1) ympäristön elementtien ja tapahtumien havaitseminen ajan tai paikan suhteen; 2) niiden merkityksen ymmärtäminen eli tilannearvion tulkinta ja 3) niiden tulevan käyttäytymisen/tilanteen ennustaminen. Tilannetietoisuus ja erityisesti prediktiivinen tilannetietoisuus dynaamisessa ympäristössä on oikean päätöksenteon perusta. Dynaamisessa tilanteessa tilannetietoisuus on osa silmukkaa, jossa ympäristö vaikuttaa tilannetietoisuuteen ja tietyllä tilannetietoisuuden tasolla tehdyt päätökset vaikuttavat ympäristöön ja siten tulevaan tilannetietoisuuteen.

Tämä tutkimushanke tuki maanpuolustuskorkeakoulun (MPKK) tutkimusstrategiaa ja liittyi erityisesti tulevaisuuden muuttuvan taistelukentän ja autonomian osa-alueeseen. Tutkimuksessa hyödynnetään MPKK:n kehittämää Autonomous Multipurpose Ground Vehicle (AMGV) Laykka demonstraatio-alustaa (kuva 1), joka kykenee liikkumaan itsenäisesti erilaisilla maastoissa ja

on käytettävissä tulevaisuudessa sekä sotilas- että siviilikäytössä (esim. suuronnettomuuksissa) ihmiselle vaarallisilla alueilla. Laykka alustan kehityksen johtajatuksena on tehdä siitä monikäyttöinen, moniin erilaisiin tilanteisiin ja tehtäviin soveltuva autonominen järjestelmä kaikkia puolustushaaroja palvelevaksi kokonaisuudeksi uuden sukupolven autonomisten järjestelmien osalta. Tämä edellyttää luotua kykyä korvata ihmisen tekemiä tehtäviä monipuolisesti. Tätä tarkoitusta varten tässä tutkimuksessa Laykkalle kehitettiin ympäristön havainnointikykyä kohteiden tunnistamiseen ja toimintaympäristön mallintamiseen erityisesti passiivisia sensoreita hyödyntäen.

Lisäksi tutkimuksessa integroitiin kaksi kapean alueen tekoälyä (kohteen tunnistaminen tilannekuvan luomiseksi ja kohteelle hakeutuminen) yhdeksi toimivaksi autonomista toiminnallisuutta tuottavaksi järjestelmäksi optimaalisen vaikutuspisteen ja vaikuttamisen määrittämiseksi. Tutkimuksen tulosten toimivuutta demonstroitiin TRL-6 tasolla eli oikeassa toimintaympäristössä.

	<p><u>Laykka – AMPGV versio X.3</u></p> <ul style="list-style-type: none"><li>– Paino: 100 kg, ilman lisälaitteita.</li><li>– Toiminta-aika: 2 tuntia jatkuvassa ajossa, 36 tuntia valmiustilassa.</li><li>– Toimintasäde: 2 km-10 km.</li><li>– Kantokyky: 50-80 kg.</li><li>– Huippunopeus: 16-25 km tunnissa.</li><li>– Vääntö: 118.1 Nm.</li><li>– Runko: Alumiinia ja <u>polykarbonaattia</u>.</li></ul>
	

Kuva 1 Laykka demonstraatioalusta

## 2. Tutkimuksen tavoite ja suunnitelma

Keskeiset tutkimuskysymykset liittyvät seuraaviin kolmeen päteemaan:

- 1 Automaattinen kohteentunnistus lähiympäristössä:** Lähtökohtana tässä Laykkaan asennetut ympäristöä havainnoivat passiiviset sensorit ja näiden avulla kehitettävä koneoppimiseen perustuva data/sensorifuusiomenetelmä kohteiden tunnistamiseen toimintaympäristössä. Oikean tilannekuvan luomiseen ympäristössä olevien kohteiden tunnistamiseksi edellyttää kattavan opetusaineiston keräämistä Laykkan omia sensoreita käyttäen. Ennen koneoppimismenetelmän opettamista kohteiden tunnistamiseen, kerätty aineisto on annotoitava eli sensoreilla nähtävät kohteet on merkittävä. Lisäksi aineistoa kannattaa aina

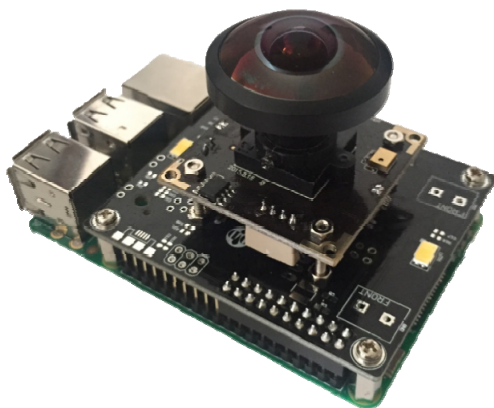
keinotekoisesti rikastuttaa sensori-informaatio manipuloidulla, mm. lisäämällä keinotekoisia kohinaa sensoreiden antamiin mittauksiin.

- 2 Paikannus ja ympäristön mallintaminen.** Tavoitteena kehittää satelliittiriippumattomia paikannusmenetelmiä. Lähtökohtana on hyödyntää visuaalista odometriaa ja SLAM (simultaneous localization and mapping)-menetelmiä, joissa autonomisen järjestelmän suhteellista paikkaa ja asentoa estimoidaan laitteeseen itseensä kiinnitettyjen, ympäristöä havainnoivien antureiden avulla.
- 3 Kohteelle hakeutuminen ja vaikuttaminen.** Oikea tilannekuva mahdollistaa tekoälypohjaisen epävarmuuksiin perustuvan navigointipäätöksen teon järjestelmän oman liikku-  
misen osalta kohteelle hakeutumiseksi. Erityisesti tehtävässä on keskityttävä integroimaan kaksi kapean tekoälyn osa-aluetta (kohteiden tarkka tunnistaminen ja kohteelle hakeutuminen) yhdeksi autonomista toiminnallisuutta tuottavaksi järjestelmäksi haluttuihin kohteisiin vaikuttamisen osalta operaation onnistumisen kannalta. Lähtökohtana tutkimuksessa on hyödyntää Laykkaa sekä ns. taistelukentän valvontaan ja toisaalta myös huollon apuvälineenä. Taistelukentän valvonnassa toiminen edellyttää Laykalta oikein kohteiden luotettavan tunnistamisen ja kohteelle lähestymisen niin että haluttuihin kohteisiin voidaan vaikuttaa. Huollon apuvälineenä toimiminen, mm. materiaalien kuljettajana, edellyttää ihmisen seuraamiskykyä erilaisessa vaihtelevassa maastossa.

### 3. Aineisto ja menetelmät

#### 3.1. Automaattinen kohteentunnistus

Kohteiden automaattista tunnistamista varten tutkimuksessa tarkasteltiin passiivisten sensoreiden käyttökelpoisuutta. Kamerakuvan osalta päädyttiin 360 asteen kameraan, joka mahdollistaa järjestelmän ympäristön kartoittamisen yhdellä sensorilla tuoden samalla kustannustehokkuutta. Kameraksi valittiin ROS-yhteensopiva 360-kamera Picam 360 (Kuva 2) ja kamera integroitiin Laykkaan niin että videosaatiin saatiin synkronoitua IMU-tietoon. Laykassa IMU eli Inertia Measurement Unit koostuu sekä gyroskoopista että 3D-kiihtyvyyssensorista. Kamera kalibroitiin niin että ympäristön kuvautuminen kameran kuvatasolle saatiin määriteltyä.



**Kuva 2 Picam 360 kamera**

Taistelukentän valvontatehtävän osalta kohteiden tunnistamista varten kerättiin opetusaineistoa kahdesta rynnäköpanssarivaunuista (BMP ja CV90) Parolassa ja Santahaminassa. Picam 360 kameran osalta päädyttiin käyttämään 2K-kuvaresoluutiota, joka mahdollistaa sekä riittävän tarkan kuvan kohteista, mutta myös riittävän nopean kohteiden tunnistamisen. Opetusaineiston keräämisessä Laykkaa ohjattiin käsin peliohjaimella. Rynnäköpanssarivaunuja kuvattiin eri etäisyyksistä ja kulmista, samoin kuin erilaisilla naamiointiasteella (Kuva 3).



**Kuva 3 vasemmalla CV90 ja oikealla BMP rynnäköpanssarivaunu naamioituna takaapäin kuvattuna.**

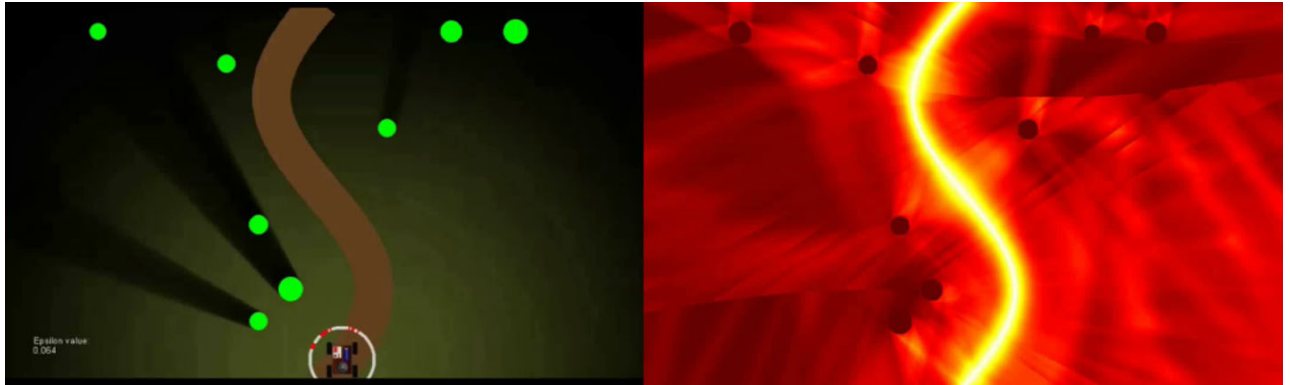
Kerätyn opetusaineiston 360-kuvat muunnettiin panoraamakuviksi ja kuvista annotoitiin seuraavat kohteet siltä osin kuin ne olivat näkyvissä: vaunu, vaunun sivu-, etu- ja takaosa, sekä yksittäisiä puita. Annotointi tuotti tuhansien näytteiden opetusaineiston, jota vielä rikastutettiin ns. augmentointimenetelmiä hyödyntäen; kuvia kierrettiin, mittakaavaa muutettiin, kuvia peilattiin ja kuviin lisättiin kohinaa.

Samoilla kuvauskerroilla kuvattiin myös punaisella liivillä varustettua ihmistä huollon apuvälineenä toimimisen kannalta. Kerättyjen ”punaliivikuvien” avulla määriteltiin ihmisen yllä olevan punaisen liivin tunnistamiseen tarvittavat RGB-komponenttien kynnystystasot kehitetylle kuvan segmentointimenetelmälle.

Kahden rynnäköpanssarivaunun tunnistamiseen testattiin useita ns. aluepohjaisia syväoppimismenetelmiä. Aluepohjaisuus tarkoittaa menetelmää, jossa kohteen tunnistamisen lisäksi menetelmä myös määrittää kohteen paikan. Testattavat menetelmät olivat R-CNN, fast RCNN, faster R-CNN, Yolo v5 ja MobileNet. Luotettavimmaksi menetelmäksi osoittautui oma faster R-CNN menetelmä, jolla saavutettiin N-kerran ristiinvalidointimenetelmää käyttäen tunnistamistarkkuudeksi yli 90 prosentin tarkkuus yksittäisen kuvan osalta. Faster R-CNN menetelmällä pystyttiin käsittelemään vajaa 10 panoraamakuvaa sekunnissa ja peräkkäisten kuvien kohteiden tunnistaminen yhdistämällä päästiin lähes 100% tunnistamistarkkuudenvaunujen osalta.

### 3.2. Paikannus ja ympäristön mallinnus

Satelliittiriippumattoman odometria ja SLAM (simultaneous localization and mapping) –menetelmän kehittämisen lähtökohtana oli estimoida Laykkan suhteellista paikkaa ja asentoa Laykkaan itseensä kiinnitettyjen ja ympäristöä havainnoivien antureiden avulla. Paikannusmenetelmän kehittämistä varten ohjelmoitiin simulaattori, johon voitiin rakentaa keinotekoinen maailma Laykkalle. Lähtökohtana tässä oli puista koostuva tunnettu ympäristö ja Laykkan kunkin hetken paikallinen sensori-informaation 3D malli. Lokaalin paikkatiedon määrittämiseen suhteessa tunnettuun ympäristöön (kuva 4) päädyttiin lopulta optimointitehtävään, jossa määriteltiin kullekin potentiaalisella paikannuspisteelle lokaalin sensorien tuottaman ympäristötiedon ja globaalin ympäristömallin välinen sensori-informaation eroavaisuus. Kunkin ajanhetken eroavaisuuden minimi määritti lopulta Laykan paikan suhteessa tunnettuun ympäristöön.



**Kuva 4 Laykkan suhteellinen paikkatieto verrattuna globaaliin ympäristömalliin saatiin estimoitua vertailemalla sensorien antamaa ympäristötietoa globaaliin ympäristön 3D malliin.**

### 3.3. Kohteelle hakeutuminen ja vaikuttaminen

Kohteelle hakeutuminen ja vaikuttaminen edellyttävät tilannekuvaan ja tehtävään liittyvän oikeanlaisen ohjaustiedon antamista Laykkalle. Kontrollia varten määriteltiin ns. tilakaavio-arkkitehtuuri, joka mahdollistaa uusien toimintojen ja komponenttien helpon lisääminen jatkossa, niin että Laykka on helposti siirrettävissä erilaisiin tehtäviin. Tutkimuksessa kehitetty kontrolliversio toimii kahdessa eri tilassa, joka ovat 1) kohteen havaitseminen ja 2) kohteelle hakeutuminen/seuranta. Kun kohde tunnistetaan kuvasta (joko rynnäkköpanssarivaunu johon vaikutetaan tai huollon ihminen jota seurataan) kohteen tunnistamismoduli aktivoi kohteelle hakeutumis/seurantamodulin. Kohteelle hakeutumis/seurantamodulin lähtökohtana on muunneltu DIP-ohjain, johon on lisättävissä maaston kulkukelpoisuuteen liittyvää toiminnallisuutta esimerkiksi puuston osalta.

## 4. Tulokset ja pohdinta

Tutkimuksessa kehitettyjä autonomista toimintaa mahdollistavien menetelmien toimivuutta demonstroitii Parolassa 2.12.2022 TRL-6 tasolla Laykkan oikeassa toimintaympäristössä. Näytökseen kuului ns. taistelukentän valvonta ja tähän liittyvä halutun kohteen tunnistaminen (BMP rynnäkköpanssarivaunu) ja sen läheisyyteen hakeutuminen vaikuttamista varten. Lisäksi demonstroitii laitteen monikäyttöisyyttä eli Laykkan tehtävän muuttamista niin että taistelukentän valvontatehtävästä Laykka nopeasti vaihdettiin toimimaan huollon apuna materiaalin kuljettajana seuraten autonomisesta edellä kulkevaa punaisella liivillä varustettua ihmistä paikasta toiseen. Demonstraatiossa ei vielä toteutettu esteiden väistämiskokonaisuutta johtuen työn keskeneräisyydestä tältä osin.

Demonstraatio, samoin kuin koneoppimismenetelmien hyvyyden evaluointi perustuen N-kerran ristiinvaldointiin, osoitti että kohteiden tunnistamisessa voidaan päästä syväoppimismenetelmiä hyödyntäen hyviin tuloksiin. Tutkimuksen kautta on myös saatu oppia naamiointin vaikutuksesta kohteiden tunnistamisessa ja miten naamiointi on huomioitava koneoppimismenetelmissä. Yksittäisellä kuvalla kahden rynnäkköpanssarivaunun osalta päästiin yli 90% tunnistamistarkkuuteen ja hyödyntämällä peräkkäisten kuvien tunnistamistietoa päästään käytännössä 100% tarkkuuteen. Tämä edellytti kattavan opetusaineiston keräämistä tunnistettavien kohteiden osalta, ja tämä työ on koneoppimismenetelmien hyödyntämisen kannalta kaikista työläin osuus. Käytetyt tunnistamismenetelmät mahdollistavat erilaiset muiden sensoreiden (esimerkiksi lämpökameroiden) liittämisen järjestelmään tunnistamisen luotettavuuden parantamiseksi esimerkiksi erilaisissa olosuhteissa (yö, sumu, lumi- tai vesisade).

Modulaarinen Laykkan ohjausarkkitehtuuri mahdollistaa Laykkan nopean siirrettävyyden tehtävästä toiseen. Tutkimus tuotti arvokasta tietoa siitä, miten autonomisessa järjestelmässä eri osa-alueet kannattaa integroida yhdeksi toimivaksi kokonaisuudeksi huomioiden itse laitteisto, sensorit, tekoäly ja tehtävä. Parolan demonstraatio osoitti valitun kokonaisintegroinnin luotettavan toimivuuden.

Tutkimus on tuottanut Puolustusvoimille kattavan annotoidun opetusaineiston kahden eri kohteen (BMP ja CV90) tunnistamista varten ja tätä aineistoa on mahdollista käyttää jatkossa kohteiden tunnistamismenetelmien jatkokehittämistä varten.

Tutkimus myös osoitti miten asiakkaan (MPKK) ja toteuttajan (Turun yliopiston) välinen tiivis yhteistyö ja ketterä kehitys opetusaineiston suunnittelun ja mittausten toteutuksen, samoin kuin ohjelmistointegroinnin ja TRL-6 tason demonstraation osalta pystyy tuottamaan lyhyessä ajassa onnistuneita tuloksia. Samantyylistä yhteistyömuotoa kannattaa käyttää myös muissa Puolustusvoimien tutkimuksissa.

Yleisimminkin tutkimus on

- hyödynnettävissä Puolustusvoimissa laajasti eri puolustushaaroissa uuden sukupolven autonomisten järjestelmien osalta.
- tuottanut arvokasta tietoa erilaisten sensoreiden soveltuvuudesta erityyppisten kohteiden tunnistamiseen
- antanut tietoa autonomisten järjestelmien toimintakyvyn ymmärtämiseen sekä niiden nykyiseen käytettävyyteen erilaisissa tehtävissä (tiedustelu, vaikuttaminen, maalittaminen, jne).
- tuottanut Puolustusvoimille uutta tietoa opetusdatan keräämisen, luokittelun, taltioinnin ja hallinnan osalta.
- antanut tietoa nykyisistä teknologista mahdollisuuksista korvata sinänsä sangen monikäyttöinen ihminen modulaarisella monikäyttöisellä autonomisella alustalla taistelukentällä.
- palvelee myös erinomaisesti esimerkiksi puolustusvoimien uusien koulutus- ja osaamistarpeiden kehittämistä liittyen autonomisiin asejärjestelmiin, mutta myös ymmärtämään ihmisen ja koneen vuorovaikutusta.

## 5. Loppupäätelmät

Tutkimus tuotti uusia monisensorijärjestelmään pohjautuvia koneoppimismenetelmiä erilaisten kohteiden tunnistamiseen, satelliittiriippumattomaan paikannukseen ja ympäristön mallintamiseen sekä kohteelle hakeutumiseen ja vaikuttamiseen. Kohteiden tunnistamisessa tutkimus on tuottanut arvokasta tietoa passiivisten sensoreiden soveltuvuudesta tietäntyyppisten kohteiden tunnistamiseen, sekä tunnistamisessa käytettävien laskentamenetelmien laitteistovaatimuksista reaaliaikaisen käytön kannalta. SLAM- ja odometriatekniikoiden osalta hanke tuottaa algoritmeja ja menetelmiä monimuotoisen sensoridatan yhdistämiseksi autonomisen luonnossa liikkuvan laitteen reaaliaikaiseen suhteelliseen paikantamiseen satelliittiriippumattomasti. Tieteellisesti erityisesti merkittävää tutkimuksessa on ollut kahden kapean tekoälyn osa-alueita (kohteiden tarkka tunnistaminen ja kohteelle hakeutuminen) integrointi yhdeksi autonomisesti toimivaksi järjestelmäksi tuottamaan toiminnallisuuden kannalta optimaalisia päätöksiä. Menetelmiä ja tuloksia julkaistaan kansainvälisissä tieteellisissä sarjoista siltä osin kuin se on mahdollista puolustusvoimien osalta.

Tutkimus antaa hyvän lähtökohdan jatkotutkimuksille. Erityisesti passiivisten sensoreiden osalta tärkeää olisi tutkia erilaisten passiivisten sensoreiden (RGB-kuva, FLIR/IR kamera, mikrofoni) käytettävyyttä sensorifuusiopohjaisessa tilannekuvan luomisessa kohteiden tunnistamisen osalta. Tässä tutkimuksessa kehitetyt menetelmät ovat suhteellisen suoraviivaisesti laajennettavissa monisensoritiedon käyttöön. Edelleen kohteiden tunnistamisen osalta kannattaa tutkia miten kohteiden 3D malleja sellaisenaan voidaan hyödyntää koneoppimismenetelmissä tunnistustehtävissä ja millaisiin tarkkuuksiin tällaisella lähestymistavalla on mahdollista päästä. Lisäksi tutkimuksessa kehitettyyn modulaariseen ohjainmoduuliin jatkotutkimuksissa kannattaa liittää erilaisten esteiden havaitseminen (mm. puut, kivet, kannat), ja näiden väistämiskyky navigoinnin tueksi. Samoin lokaalin paikannuksen lisäksi jatkotutkimuksissa olisi tarvetta kehittää globaaliin paikannukseen pystyvä malli, niin että esimerkiksi huollon apuvälineenä toimiva Laykka voisi huoltoihmistä seuraamisen jälkeen palata takaisin lähtöpaikkaansa luomansa globaalin ympäristömallin avulla.

## 6. Tutkimuksen tuottamat tieteelliset julkaisut ja muut mahdolliset raportit

Tutkimuksen intensiivisyydestä johtuen tieteelliset julkaisut ajoittuvat vuodelle 2023.

## 7. Hankkeen seuraajan lausunto raportista

Maanpuolustuskorkeakoulun Sotatekniikan laitoksen autonomiatutkimus saavutti merkittäviä tuloksia tiiviin tutkimusyhteistyön myötä. Kohteentunnistus-, paikannus-, ja hakeutumisalgoritmit kyettiin integroimaan Sotatekniikan laitoksen Laykka-järjestelmäalustaan onnistuneesti ja haluttua toiminnallisuutta kyettiin demonstroimaan todellisissa maasto-olosuhteissa, millä voitiin osoittaa teknologian kypsyyden olevan riittävä (TRL 6) autonomisten järjestelmien rakentamiselle kenttäolosuhteisiin. Tämä kyettiin toteuttamaan lisävaatimuksen mukaisesti passiivisilla ja kustannustehokkailla sensoreilla, mitkä osaltaan pienentävät järjestelmien havaittavuutta, lisäävät toimintavarmuutta (satelliittivapaa paikannus ja navigaatio) ja myötävaikuttavat hankintakustannusten pitämiseen matalina.

Sotatekniikan laitos kokeili yhteistyössä Digitalisaatio-ohjelman proto-paja toiminnan mukaisista ketterämmän tutkimusyhteistyön mallia ja inkrementaalista kehitystyötä, mikä havaittiin toimivaksi ja nopeaksi tavaksi toteuttaa tekoälypohjaisia projekteja. Tutkimustiedon lisäksi opittiin ja kehitettiin runsaasti uusia hyviä projektikäytänteitä, integrointiin liittyvien haasteiden ratkaisemista ketterästi tiimityöskentelyllä sekä haavoittuvuuksien tunnistamista, mikä on avain asemassa autonomisten vasta-aseteknologioiden kehittämisessä. Laykka-tutkimusalueen konseptin kehittämistä kyettiin tukemaan modulaarisella ratkaisulla, mikä mahdollistaa uusien käyttötapauksien tutkimuksen ja kehittämisen samalla alustalla tai siihen pohjautuvalla kehitysversiolla kustannustehokkaasti. Modulaarisuuden toimivuutta kyettiin esittelemään demo-tilaisuudessa onnistuneesti, vaikkei tehtävänvaihtoa ollutkaan alun perin asetettu tutkimusprojektin tavoitteeksi. Lisäksi käyttöön saatiin runsaasti annotoitua dataa tulevaisuuden tekoälyohjelmistojen kehitystyössä hyödynnettäväksi.

Tutkimusyhteistyö mahdollisti yliopistojen välisen yhteistyön myös tieteellisten julkaisuiden kirjoittamisessa. Sotatekniikan laitoksen ja Turun yliopiston väitöskirjatutkijat saivat tutki-



---

muksen myötä runsaasti materiaalia tieteellisten julkaisuiden tekemiseen. Verkottuminen ja yhteistyö mahdollistivat uusien julkaisu- ja rahoituskanavien hyödyntämisen maanpuolustusta tukevan tutkimuksen edistämiseksi myös tulevaisuudessa.

Evl Petteri Hemminki  
Autonomia-tutkimustiimin johtaja / Sotatekniikan laitos