

TIIVISTELMÄRAPORTTI (SUMMARY REPORT)

RoboConOps- Operointikonseptin kehittäminen robottiparviin ohjaukseen

Jari Laarni, FT, Johtava tutkija, VTT Oy, PL 1000, 02044 VTT, puh. 020 722 111, jari.laarni@vtt.fi

Hanna Koskinen, FM, Tutkija, VTT Oy

Antti Väättä, DI, Erikoistutkija, VTT Oy

Tiivistelmä: RoboConOps-hankkeessa kehitettiin miehittämättömien, liikkuvien robottiparviin ohjaukseen operointikonsepti, joka perustuu sotilaan ja automaation saumattomaan yhteistyö-
mintaan. Autonomisia ominaisuuksia omaavia tai autonomisesti toimivia järjestelmiä hyödyn-
netään enenevässä määrin rauhanturvaamisessa tai sotilaallisissa tehtävissä. Autonomisesti
toimivat robotit ovat osoittautuneet hyödyllisiksi mm. tiedustelutehtävissä, ja niiden hankki-
man tiedon avulla voidaan parantaa joukkojen tilannetietoisuutta. Robottien autonomisuuden
aste voi vaihdella yksittäisestä etäohjattavasta robotista älykkääseen autonomisesti toimivaan
robottiparveen. Autonomisuus ja monen robotin muodostama parvi luovat uudenlaisia haastei-
ta operaattoreille ja muille robottiparviin kanssa samalla alueella toimiville. Tavoitteena on
kehittää mahdollisimman itsenäisiä järjestelmiä, jotka toimivat saumattomassa yhteistyössä
eri toimijoiden kanssa. Robotit, sotilaat ja automaatiojärjestelmä muodostavat ns. yhteisälyjär-
jestelmän, jonka onnistuneen ja tehokkaan toiminnan haasteita ovat mm., miten vuorovaiku-
tus rakentuu, minkälaiset käyttöliittymäratkaisut tukevat toimintaa ja kommunikaatiota sekä
miten tehtävien suorittaminen jaetaan tiimin jäsenten kesken. Hankkeessa operointikonseptiä
kehitettiin yhteistyössä Suomen puolustusvoimien kolmen eri puolustushaaran – Ilmavoimat,
Maavoimat ja Merivoimat – kanssa. Hankkeen tuloksia voidaan hyödyntää pohdittaessa miehit-
tämättömien tai muiden etäohjaukseen perustuvien järjestelmien toimintaa ja hyödyllisyyttä.

1. Johdanto

Miehittämättömiä, liikkuvia autonomisia piirteitä omaavia järjestelmiä ja laitteita, joista tässä
raportissa käytetään nimeä 'robotti', hyödynnetään enenevässä määrin rauhanturvaamisessa
tai sotilaallisissa tehtävissä. Robotit voidaan luokitella miehittämättömiin ilma-aluksiin (esim.
UAV, Unmanned Aerial Vehicle), maa-aluksiin (UGV, Unmanned Ground Vehicle) tai vedessä
liikkuviin aluksiin (esim. UUV, Unmanned Undersea Vehicle). Tällaisia robotteja käytetään
tiedustelutehtävien lisäksi monissa muissa sotilastehtävissä (mm. ilmasta maahan iskut sekä
ilmatorjunnan lamauttaminen). On esitetty, että sotilaallisen toiminnan kapasiteettia ja te-
hokkuutta voidaan kasvattaa robottien avulla, koska tietty joukko voi hallita ja valvoa laa-
jempia alueita sekä suorittaa useampia tehtäviä (Scharre, 2014). Sen vuoksi on välttämätön-
tä, että robotit ovat entistä itsenäisempiä. Sen lisäksi on tärkeää, että robotit integroidaan
osaksi muita taistelujärjestelmiä ja että robotit ja niihin liittyvä automaatio tulevat osaksi
tiimiä siten, että sotilaat voivat luottaa robottien toimintaan sekä niiden välittämään tietoon.

Parveilun hyöty perustuu siihen, että robottiparvi, joka koostuu suhteellisen yksinkertaisista
ja edullisista elementeistä, kykenee suorittamaan tietyn tehtävän tehokkaammin kuin
monimutkaisempi ja kalliimpi yksittäinen järjestelmä. Esimerkiksi tiedustelu- ja
valvontatehtävissä parvi kykenee kattamaan hyvin laajan alueen. Parveilun avulla
taisteluvoima voidaan hajaannuttaa ja vihollisen puolustus tehokkaasti kyllästä. Koska
kohteita on enemmän, vihollinen joutuu kuluttamaan enemmän ampumatarvikkeita niiden
tuhoamiseen verrattuna tilanteeseen, jossa robotteja on vain yksi. Robottiparvi on myös
vähemmän haavoittuva kuin keskitetty järjestelmä, koska itsekorjautuvana se kykenee

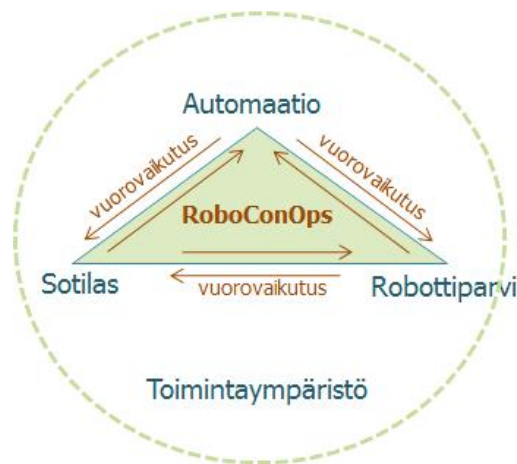
Postiosoite	Käyntiosoite	Puhelin	s-posti, internet
Postadress	Besöksadress	Telefon	e-post, internet
Postal Address	Office	Telephone	e-mail, internet
MATINE/Puolustusministeriö	Eteläinen Makasiinikatu 8 A	Vaihde 295 160 01	matine@defmin.fi
PL 31	00130 Helsinki		www.defmin.fi/matine
FI-00131 Helsinki	Finland		
Finland			

jatkamaan toimintaansa yksittäisen robotin menetyksen jälkeenkin.

1.1 Ihmisen ja autonomisen järjestelmän yhteistoiminta

Autonominen robottiparvi koostuu yleensä suuresta joukosta samankaltaisia robotteja, jotka muodostavat yhtenäisen kokonaisuuden koordinoimalla ja muokkaamalla toimintaansa ilman jatkuvaa ulkoista ohjausta. Monirobottijärjestelmä sen sijaan koostuu rajoitetusta joukosta keskenään erilaisia robotteja, joiden toiminnan koordinointi perustuu pitkälti etäohjaukseen. Parveilulla tarkoitetaan sotilaskielessä taktiikkaa, jossa useat yksiköt hyökkäävät useasta suunnasta samanaikaisesti vastustajaa kohti.

Sotilaan, automaation ja robotin muodostaman tiimin yhteistoiminta riippuu monista tekijöistä, kuten robotin autonomisuuden asteesta, sotilaan luottamuksesta automaatioon, hänen kyvystään toimia monitehtäväympäristössä sekä käyttöliittymän ominaisuuksista (ks. kuva 1).



Kuva 1. Sotilaan, automaation ja robottiparven muodostama kokonaisuus ja riippuvuussuhteet.

Autonomisuuden tasolla tarkoitetaan sitä, missä määrin sotilaan on puututtava miehittämättömän robotin toimintaan. Alla olevassa taulukossa 1 on esitetty Sheridanin ja Verplankin (1978) autonomisuusasteluokittelu, joka koskee ihmisen ja automaatiojärjestelmän vuorovaikutusta. Taulukkoa hyödynnettiin hankkeessa keskusteltaessa eri puolustushaarojen edustajien kanssa robottiparven ohjaukseen soveltuvasta autonomisuuden asteesta. Ruskealla taustalla on esitetty ne automaatioasteet, joita asiantuntijat pitivät mahdollisina tarkastelun kohteena olleissa skenaarioissa.

Taulukko 1. Autonomisuuden tasot ihminen-kone-vuorovaikutuksessa. Ruskealla taustalla olevat vaihtoehdot ovat mahdollisia hankkeen skenaarioissa.

ASTE	TOIMINTATAPA
1	Ihminen tekee kaiken.
2	Kone antaa kaikki vaihtoehdot.
3	Kone rajoittaa vaihtoehdot muutamaan.
4	Kone ehdottaa yhtä vaihtoehtoa.
5	Kone toimii ko. vaihtoehdon mukaan, jos ihminen hyväksyy.
6	Kone antaa ihmiselle hetken aikaa käyttää veto-oikeutta.
7	Kone toimii itsenäisesti, minkä jälkeen se kertoo ihmisille mitä teki.
8	Kone kertoo vain, mikäli ihminen sitä pyytää.
9	Kone kertoo, mikäli katsoo sen tarpeelliseksi.
10	Kone toimii itsenäisesti eikä huomioi ihmistä lainkaan.

1.2 Operointikonsepti

Ihmisen ja järjestelmien vuorovaikutusta voidaan tarkastella ja kehittää operointikonseptin avulla. Operointikonsepti on dokumentti, joka kuvaa järjestelmän toimintaperiaatteet käyttäjän näkökulmasta (esim. Fairley & Thayer, 1997). Järjestelmälle asetetut vaatimukset muunnetaan toimintoja kuvaavaksi konseptiksi, jonka avulla havainnollistetaan kaikille yhteinen käsitys järjestelmästä ja sen suorituskyvystä. Operointikonseptin avulla voidaan välittää tietoa järjestelmän suunnitteluun osallistuvien tahojen välillä sekä tarjota lähtökohdat vaatimusten tarkemmalle määrittelylle sekä varsinaiselle järjestelmäsuunnittelulle.

Operointikonseptin kehittäminen perustuu tässä hankkeessa jatkuvan ja ketterän järjestelmäsuunnittelun periaatteisiin (esim. Shamieh, 2014), ja se on luonteeltaan iteratiivinen prosessi. Operointikonseptin kehittäminen voidaan jakaa neljään päävaiheeseen, konseptointi-, määrittely-, suunnittelu- ja toteutus- sekä raportointivaiheeseen. Nämä vaiheet on kuvattu tarkemmin luvussa 3.

2. Tutkimuksen tavoite

Hankkeen päätavoite on kehittää miehittämättömien ja eri autonomian tasoilla operoivien robottiparvien hallintaan ja ohjaukseen operointikonsepti, joka mahdollistaa operaattorin, kentällä toimivien sotilaiden ja autonomisen järjestelmän saumattoman yhteistoiminnan. Ratkaisujen tarkasteluajanjakso ulottuu noin 15-25 vuoden päähän. Aiheen laajuuden vuoksi tässä hankkeessa keskitytään sotilaan ja robottiparven yhteistoimintaan. Tavoitteena on kuvata sotilaan ja automaation yhteistoiminta robottiparven operoinnissa ja sitä tukevat käyttöliittymäratkaisut. Sotilaan ja robottiparven yhteistoiminnan tutkimisessa ja määrittämisessä keskitytään seuraaviin toimintaan liittyviin kysymyksiin:

- Miten parvi otetaan käyttöön;
- Miten tehtävä annetaan parvelle;
- Miten tehtävän suoritusta valvotaan ja ohjataan;
- Minkälaisin käyttöliittymäratkaisuin operaattorin tehtävien suoritusta voidaan tukea.

Lisäksi tarkoitus on esittää alustava kuvaus siitä, miten autonominen robottiparvi integroituu

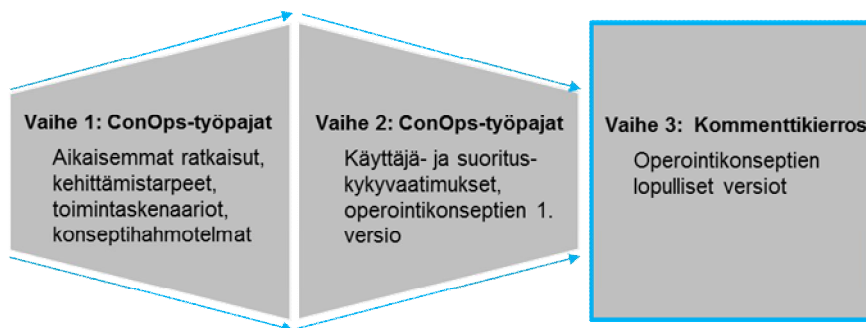
osaksi johtamis-, tiedustelu- ja valvontajärjestelmiä sekä eri puolustushaarojen toimintaperiaatteita ja tavoitteita.

3. Aineisto ja menetelmät

Operointikonseptin määrittämisessä hyödynnettiin useita menetelmiä ja työvaiheita. Iteratiivisessa, Puolustusvoimien eri puolustushaarojen kanssa yhteistyössä toteutetussa prosessissa hyödynnettiin kirjallisuusselvityksiä, työpajoja, teemahaastatteluita, kyselyitä ja tehtävä-analyyssejä sekä erilaisia visualisointeja kuten järjestelmäarkkitehtuuriluonnoksia ja animaatioita.

Tutkimustyö eteni seuraavasti (ks. kuva 2):

- 1) *Robottiparven operointikonseptin luonnostelu*: kyselyt, työpajat ja haastattelut eri puolustushaarojen kanssa, käyttäjätarpeiden tunnistaminen ja kehitettävän operointikonseptin alustava määrittely toimintaskenaarioiden avulla;
- 2) *Operointikonseptin määrittelyvaihe*: Ensimmäisessä vaiheessa kerättyjen tarpeiden ja vaatimusten tarkempi määrittely perustuen tehtäväanalyysiin sekä vaatimusten priorisointiin ja luokitteluun;
- 3) *Operointikonseptin suunnittelu ja visualisointi*: Vaatimusmääritysten perusteella operointikonseptista tehtiin järjestelmäarkkitehtuuriluonnoksia, animaatioita ja ihminen-robottiparvi-vuorovaikutuskonsepteja;
- 4) *Operointikonseptin arviointi*: kyselyiden, työpajojen ja haastatteluiden avulla eri puolustushaarojen edustajien kanssa arvioitiin kehitetyt operointikonseptiratkaisut ja määritettiin niihin liittyvät keskeiset suorituskykyvaatimukset.



Kuva 2. Operointikonseptin suunnittelun keskeiset vaiheet.

4. Tulokset ja pohdinta

4.1 Suorituskykyvaatimukset ja -haasteet

Jokaisella puolustushaaralla on omat erityistarpeensa, mutta myös paljon yhtäläisyyksiä robottiparviin operointiin liittyen. Alla olevassa taulukossa 2 on kuvattu keskeisiä robottiparvien käyttöön liittyviä suorituskykyvaatimuksia eri puolustushaarojen näkökulmasta.



Taulukko 2. Haastatteluiden ja kyselyiden avulla kerättyjä keskeisiä autonomisen robottiparven suorituskykyvaatimuksia.

MERIVOIMAT	ILMAVOIMAT	MAAVOIMAT
Suorittaa rannikkoalueiden kattava ja jatkuva valvonta pääosin automaattisesti	Suorittaa aluetiedustelua pääosin automaattisesti	Suorittaa kaupunkialueen kattava ja jatkuva valvonta pääosin automaattisesti
Kyetä keräämään riittävän laadukasta tietoa ja välittämään sitä edelleen eteenpäin	Kyetä keräämään riittävän laadukasta tietoa ja välittämään sitä edelleen eteenpäin	Kyetä keräämään riittävän laadukasta tietoa ja välittämään sitä edelleen eteenpäin
Pyrkiä annettuihin tavoitteisiin ja reagoida ohjaustoimenpiteisiin kokonaisuutena ja yhteistyössä muiden järjestelmien kanssa	Pyrkiä annettuihin tavoitteisiin ja reagoida ohjaustoimenpiteisiin kokonaisuutena ja yhteistyössä muiden järjestelmien kanssa	Pyrkiä annettuihin tavoitteisiin ja reagoida ohjaustoimenpiteisiin kokonaisuutena ja yhteistyössä muiden järjestelmien kanssa
Toimia eri sää- ja virtausolosuhteissa	Toimia eri sää- ja valaistusolosuhteissa	Toimia eri sää- ja keliolosuhteissa
Koostua eri tehtäviin erikoistuneista ja eri tavoin varustetuista roboteista, jotka kykenevät toimimaan eri syvyyksissä	Mahdollistaa ilmatilan kyllästyminen suurella määrällä robotteja, joista osa on erilaisin hyötykuormin varustettuja, osa valemaleja	Toimia pitkään ilman latausta ja huoltoa
Toimia pitkään ilman latausta ja huoltoa	Lentoonlähdon ja laskeutumisen tulee tapahtua luotettavasti ja pitkälti automaattisesti ilman erillistä nousu- tai laskeutumispaikkaa	Kyetä liikkumaan parvena kaupunkiympäristössä talojen ja muiden rakennelmien seassa
Jäljittää liikkuvia kohteita merellä	Jäljittää maassa/merellä/ilmassa liikkuvia kohteita	Jäljittää maassa/ilmassa liikkuvia kohteita
Kyetä navigoimaan, vaikka GPS on heikko	Kyetä maalittamaan ja vaikuttamaan kohteisiin	Kyetä navigoimaan myös sisätiloissa
Tunnistaa ja luokitella mahdollisia uhkia merellä	Tunnistaa ja luokitella mahdollisia uhkia ilmasta käsin	Tunnistaa ja luokitella mahdollisia uhkia rakennetulla alueella
Reagoida vihollisen vastatoimiin meren pinnalla/pinnan alla	Reagoida vihollisen vastatoimiin ilmasta käsin	Reagoida vihollisen vastatoimiin kaupunkiolosuhteissa
Täyttää eettiset ja oikeudelliset kriteerit	Täyttää eettiset ja oikeudelliset kriteerit	Täyttää eettiset ja oikeudelliset kriteerit

Taulukko 3 listaa vaatimusten toteutumiseen vaikuttavia keskeisiä suorituskykyyn vaikuttavia teknisiä, johtamiseen liittyviä ja ympäristöä koskevia haasteita.

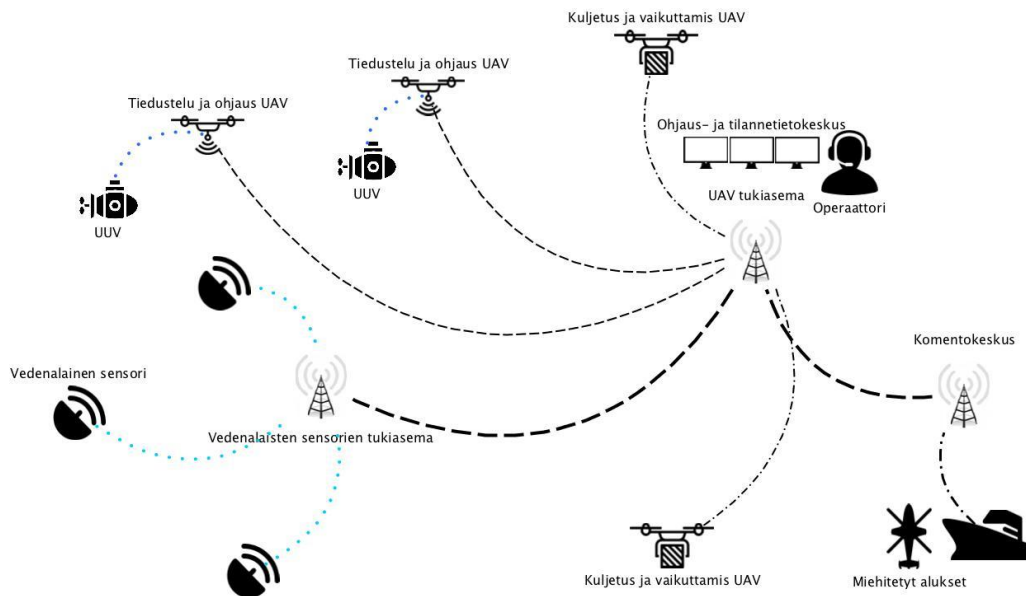
Taulukko 3. Haastatteluiden ja kyselyiden avulla kerättyjä keskeisiä suorituskykyhaasteita.

MERIVOIMAT	ILMAVOIMAT	MAAVOIMAT
Tekniset <ul style="list-style-type: none"> Energian riittävyys kiinteissä antureissa ja pitkäkestoisissa operaatioissa Vedenalainen kommunikointi vaikeaa Toiminta eri syvyyksillä Järjestelmää kehittäminen kokonaisuutena ja osien yhteensopivuus Järjestelmän osien kuluminen ja vaurioituminen haastavissa olosuhteissa 	Tekniset <ul style="list-style-type: none"> Parven taktiset kyvyt vihollisparven hyökätessä Energian riittävyys pitkäkestoisissa operaatioissa Järjestelmän osien kuluminen ja vaurioituminen haastavissa olosuhteissa 	Tekniset <ul style="list-style-type: none"> Energian riittävyys kiinteissä antureissa ja pitkäkestoisissa operaatioissa Rakennusten sisällä, kadulla ja ilmassa liikkuvien lavettien yhteistoiminta Järjestelmän osien kuluminen ja vaurioituminen haastavissa olosuhteissa
Toiminnan johtamista koskevat <ul style="list-style-type: none"> Erilaisten parvien toiminnan koordinointi Yhteisoperaatioiden haasteet 	Toiminnan johtamista koskevat <ul style="list-style-type: none"> Erilaisten parvien toiminnan koordinointi Ilmatilan hallinta 	Toiminnan johtamista koskevat <ul style="list-style-type: none"> Sopivan laitteistokokonaisuuden valinta Erilaisten parvien toiminnan koordinointi Yhteisoperaatioiden haasteet
Ympäristöä koskevat <ul style="list-style-type: none"> Kylmyys ja jääkerros talvella Virtausten vaikutukset pinnan alla liikkuviin järjestelmän osiin Aallokon vaikutus pinnalla liikkuviin aluksiin 	Ympäristöä koskevat <ul style="list-style-type: none"> Tuulen, sateen ja jään vaikutus 	Ympäristöä koskevat <ul style="list-style-type: none"> Rakennusten ja rakennelmien aiheuttamat esteet Paljon muuta tietoliikennettä Paljon siviilejä ja muuta liikennettä Tuulen, sateen ja kylmyyden vaikutus ilmassa liikkuviin järjestelmän osiin

4.2 Toimintaskenaariot

Merivoimat – rannikkoalueen vartiointi

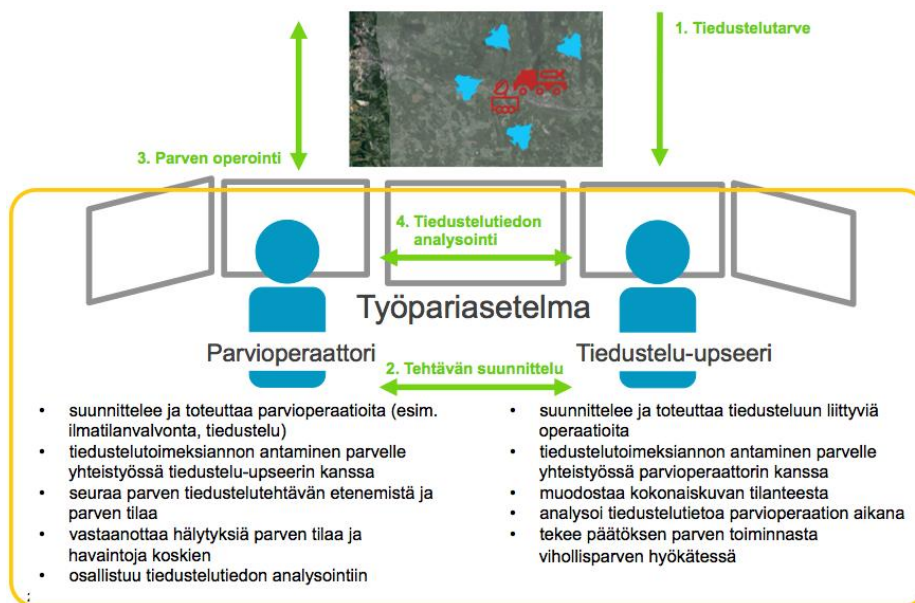
Merivoimien toimintaskenaariossa keskityttiin robottiparvien toimintaan perustuvaan merialueiden valvontaan Suomen rannikkovesillä vuonna 2030. Järjestelmän ensisijaisiksi tehtäviksi katsottiin sukellusveneiden etsintä, tunnistaminen ja torjunta. Lisäksi järjestelmän avulla voi tukea miinanraivausta, tilannekuvan muodostamista, pelastustoimintaa, kuljetusta sekä sää- ja jääolosuhteiden kartoitusta. Skenaariossa vieras sukellusvene havaitaan kiinteän anturiverkon avulla ja tiedustelukäyttöön tarkoitetut UAV:t lentävät paikalle. Lopulta paikalle lennätetään pinnan alla operoivia UUV-robotteja, jotka kartoittavat aluetta tarkemmin. Toinen mahdollisuus on, että meren pohjassa 'uinuvat' UUV:t heräävät ja aloittavat vieraan kohteen tiedustelun. Erityisesti talvella sääolosuhteet voi olla vaativat ja meri jäässä. Lisäksi vieraalla sukellusveneellä voi olla käytössään miehittämättömiä robotteja tilannekuvan sekoittamiseksi tai partioivien autonomisten lennokkien ja sukellusveneiden tuhoamiseksi. Kuva 3 esittää toimintaskenaarion yleistä järjestelmäarkkitehtuuria laitteistokokonaisuuksineen.



Kuva 3. Rannikkoalueen vartiointi –toimintaskenaarion yleinen järjestelmäarkkitehtuuri.

Ilmavoimat – Ilmatiedustelu ja ilmatorjunnan paikantaminen

Ilmavoimien toimintaskenaariossa havainnollistetaan lennokkiparven toimintaa tiedustelutehtävissä, jonka tavoitteena on tunnistaa ja paikallistaa vihollisen liikuteltavia tutkajärjestelmiä ja ilmatorjunta-asemia. Havaintojen perusteella on tarkoitus selvittää liikuteltavien järjestelmien määrä, laatu ja reitti sekä niihin liittyvien joukkojen siirtyminen. Lisäksi lennokkiparvi voi tarvittaessa vaikuttaa havaittuihin aseisiin sekä joutua taisteluun vihollisen lennokkiparven kanssa. Alla olevassa kuvassa 4 esitetään asiantuntijakommenttien pohjalta muodostettu näkemys siitä, miten parvea valvotaan ohjauskeskuksesta käsin.

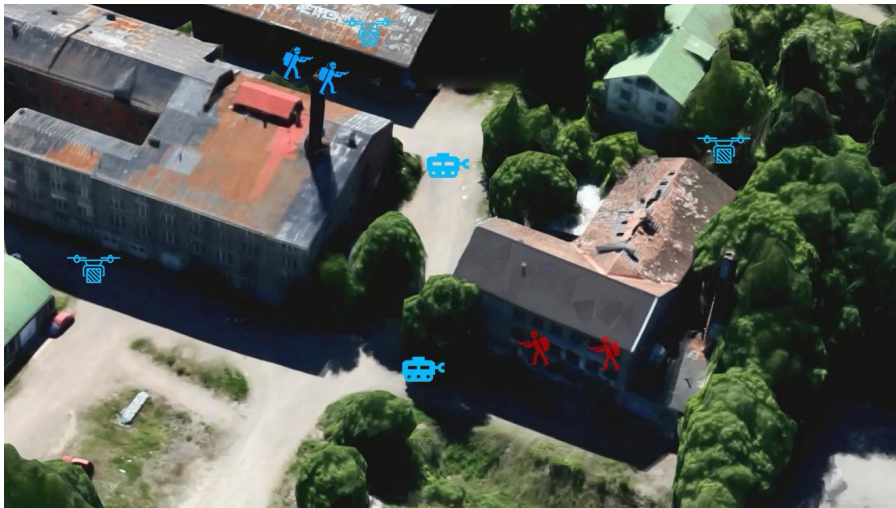


Kuva 4. Robottiparven ohjauskonsepti ilmatiedusteluskenaariossa.

Maavoimat – Kaupunkijääkäritoiminnan tukeminen

Kolmannessa toimintaskenaariossa tarkasteltiin robottiparvia hyödyntävää kaupunkijääkärijoukon toimintaa. Esitetyssä järjestelmässä tavoitteena on kaupunkiympäristössä toteutettavien tehtävien tukeminen esim. tilannekuvan kartoittamisella tai asutun ympäristön turvaamisella (kuva 5) vuonna 2030. Lisäksi tehtäviä voivat olla vihollisen tunnistaminen (sijainti, määrä ja laatu) sekä taistelun tukeminen. Toissijaisiksi tehtäviksi listattiin mm. läsnäolon ja näkyvyyden avulla saatava ennaltaehkäisevä toiminta, rauhanturvatehtävien tukeminen epävakaisissa toimintaympäristöissä ja tilannekuvan tukeminen onnettomuuksien ja pelastustehtävien yhteydessä.

Normaalitilanteessa kaupunkialuetta voidaan vartioida kiinteiden tai lennokkeihin liitettyjen kameroiden ja antureiden avulla ja pyrkiä havaitsemaan, tunnistamaan ja jäljittämään vieraita toimijoita kaupunkiympäristössä tai rakennusten sisällä. Vaativassa poikkeustilanteessa sääolosuhteet kuten kova kylmyys, sade ja pimeä voivat vaikeuttaa toimintaa. Kaupunkiympäristössä liikkuu tavallisesti myös paljon siviilejä ja muita kulkuneuvoja. Lisäksi alueella voi lentää tai liikkua siviilien tai vieraiden joukkojen kauko-ohjattavia tai autonomisia robotteja.



Kuva 5. Kuvakaappaus kaupunkijääkäritoiminnan tukemista esittelevästä animaatiosta.

4.3 Lopullinen operointikonsepti

Robottiparven ohjaukseen sopivimpina autonomian asteina pidettiin taulukossa 1 esitettyjä luokkia 5-7. Robottiparven tulee toimia mahdollisimman itsenäisesti, ja tehtävät ja niihin liittyvät mahdolliset poikkeustilanteet sekä se, miten niihin reagoidaan, tulisi olla operaattorin ohjelmoitavissa ennen tehtävän suoritusta. Tehtävät voivat jakaantua osatehtäviin, joita arvioitiin olevan yleisesti 4-6. Sopiva robottiparven koko riippuu tehtävästä ja vaihteli esimerkiksi skenaarioissa välillä 3-100. Parvessa voi olla paljon edullisia, yksinkertaisia ja vain muutamaani tehtäviin kykeneviä robotteja sekä muutamia kalliimpia monitoimirobotteja. Kustannusten minimoimiseksi kalliiden monitoimirobottien käyttö tulee suunnitella ja perustella hyvin etukäteen. Niitä ei saa menettää operaation aikana; sen sijaan tehtävän suoritus ei vaaranna, jos osa edullisista, suuren parven muodostavista roboteista menetetään. Vihollisen tilannekuva voidaan sekoittaa ja robottiparvi torjua, jos vihollisen ilmatila voidaan kyllästää edullisten robottien avulla.

Robottiparville tehtävien kesto vaihteli eri puolustushaaroittain. Merivoimien rannikkovartiointiin liittyvässä tilanteessa tehtävä on kuukausia kestävä jatkuvaa toimintaa, kun puolestaan Ilmavoimien ja Maavoimien operaatioiden kesto on lyhyempi (1,5 – 6 tuntia). Ilmatorjunnan

etsimisessä ja tuhoamisessa liittyvässä toimintaskenaariossa tehtävien arvioitiin myös muuttuvan huomattavasti nopeammin. Ilma- ja Maavoimien skenaarioon liittyvien operaattori-interventioiden määrä on suurempi (1-5 min välein) kuin Merivoimien skenaariossa (20 min – 24 t välein).

Tulosten perusteella voidaan robottiparvi, operaattoreiden ja sotilaiden yhteistoiminta luokitella seuraavasti (taulukko 4). Ensimmäisellä tasolla on yksi operaattori ja tietyn tyyppinen (esim. UAV), yhteen tehtävään erikoistunut robottiparvi. Korkeimmalla, teknologian sekä johtamisen kannalta haasteellisimmalla tasolla suoritetaan monia tehtäviä samanaikaisesti samalla alueella. Käytössä voi olla erityyppisiä robottiparvia (esim. UAV ja UUV), ja kunkin ryhmän sisällä voi olla eri tehtäviin erikoistuneita robotteja, kuten tiedusteluun ja vaikuttamiseen erikoistuneita robotteja sekä monitoimirobotteja. Koska operaattoreita voi myös olla useita, operaation johtajan rooli kasvaa. Tällä korkeimmalla tasolla operaatioon osallistuu myös miehitettyjä kulkuneuvoja sekä eri tehtäviin erikoistuneita sotilaita.

Taulukko 4. Robottiparvi, operaattoreiden ja sotilaiden yhteistoimintaa koskeva luokittelu.

TASO	TOIMINTATAPA
1	Operaattori antaa yhdelle, tietyn tyyppiselle parvelle (esim. UAV) tehtäviä ja valvoo tehtävän suoritusta.
2	Operaattori antaa usealle samantyyppiselle parvelle tehtäviä ja valvoo tehtävän suoritusta.
3	Operaattori antaa erityyppisille parville (esim. UUV ja UAV) tehtäviä ja valvoo tehtävän suoritusta.
4	Useita operaattoreita ja erityyppisiä parvia suorittaa tehtävää.
5	Robottiparvi lisäksi yhteen aselajiin/puolustushaaraan kuuluvia sotilaita ja kulkuneuvoja mukana tehtävässä.
6	Robottiparvi lisäksi useaan aselajiin/puolustushaaraan kuuluvia sotilaita ja kulkuneuvoja mukana tehtävässä.

5. Loppupäätelmät

Useat sotilastehtävät voidaan suorittaa huomattavasti edullisemmin ja tehokkaammin autonomisten robottien ja robottiparviavun avulla. Tällaisia tehtäviä ovat esimerkiksi erilaiset valvonta- ja tiedustelutehtävät. Mini- ja mikrokokoisten robottien parvi on myös moniin tehtäviin parempi ratkaisu kuin yksittäinen strateginen monitoimirobotti. Tulosten mukaan parven on kyettävä toimimaan pääosin autonomisesti eli ilman ulkoista ohjausta, ja autonomisuuden astetta tulee voida joustavasti muuttaa operaation suorituksen aikana.

Autonomisia robottiparvia tutkitaan tällä hetkellä paljon. Yliopistotutkimuksen lisäksi on meneillään useita sotilashankkeita, joista tunnetuimpia ovat USA:n GREMLINS-, LOCUST- ja COYOTE-hankkeet. Intensiivisestä tutkimuksesta huolimatta toimivia ja käytössä olevia kaupallisia tai sotilassovelluksia ei tietääksemme tällä hetkellä vielä ole. Miehitämättömät autonomiset robottiparvet ovat siis vielä pitkälti tulevaisuuden mahdollisuus. Keskeinen haaste on, miten sotilaan ja robottiparven yhteistyö järjestetään niin, että parven toiminta on mahdollisimman tehokasta. Vaikka operaattori ei puuttuisikaan yksittäisen robotin tehtävän suoritukseen, tehtävien kokonaisuus, jota parvi suorittaa, tulee olla ihmisen valvonnassa.



Ihminen suunnittelee parven tehtävät ja 'antaa' ne parvelle; ihminen valvoo tehtävän suoritusta ja suorittaa tarvittaessa tarvittavat korjaustoimenpiteet; ihminen myös toteuttaa jälkipuinnin ja ottaa opiksi suoritetusta tehtävästä. Parven valvonnan ja ohjauksen sekä toiminnan ennakkoinnin kannalta on tärkeää, että käyttöliittymä tarjoaa operaattorille riittävän täsmällistä tietoa parven tilasta ja liikkeistä tehtävän suorituksen aikana.

Keskeisenä oletuksena yleensä on, että autonomisuuden asteen lisääntyessä, operaattoreita tarvitaan vähemmän ja/tai heidän työkuormansa vähenee. Ei ole kuitenkaan itsestään selvää, että yksi operaattori pystyisi ohjaamaan suurta parvea (esim. 1000 robottia), jonka autonomisuuden aste on korkea. Tarvitaankin kokeellista tutkimusta sen selvittämiseksi, miten operaattorin työkuorma muuttuu autonomia-asteen ja parven robottien lukumäärän muuttuessa. Kuten edellä on todettu, kirjallisuuden ja asiantuntijahaastatteluiden perusteella parhaaksi ratkaisuksi koetaan joustava autonomiaratkaisu, jossa autonomisuuden aste voi joustavasti vaihdella operaation aikana tehtävän vaativuuden mukaan.

Hankkeessa kehitetyt operaatiokonseptit ovat luonteeltaan ohjaukseen ohjaukseen, joissa kuvataan operaattorin ja parven yhteistoiminta ja sen edellyttämät käyttöliittymäratkaisut. Hankkeessa ei ole pohdittu yksityiskohtaisesti niitä menetelmiä ja algoritmeja, joiden kautta parven älykkyys ilmenee ja joiden avulla parven autonomisuus toteutetaan. Keskeiset parven alkeistehtävät ja parvia algoritmit esitellään hankkeen loppuraportissa, ja tätä työtä jatketaan mahdollisesti Puolustusvoimien teknologiaohjelmassa (PVTO2017).

Keskeisenä haasteena on myös se, miten robottiparvi integroidaan Puolustusvoimien muihin, miehitettyihin tai miehittämättömiin järjestelmiin. Tämän aiheen yksityiskohtainen käsittely edellyttää syvällistä ymmärrystä Puolustusvoimien johtamisjärjestelmistä ja -prosesseista, ja sen selvittäminen ei kuulu tämän hankkeen päätavoitteisiin. Aihetta kuitenkin sivutaan pohdittaessa parven ja operaattorin yhteistyötä.

Tutkittaessa robottiparvien käyttöä sotilaallisissa tehtävissä ohjaukseen ja vuorovaikutukseen liittyvien kysymysten lisäksi myös eettisiin ja oikeudellisiin kysymyksiin on kiinnitettävä huomiota. Robottiparvi ei voi tehdä itsenäisesti päätöstä vaikuttamisesta, joka voi aiheuttaa ihmishuonoja, tai toimia muuten kansallisia/kansainvälisiä lakeja tai eettisiä normeja vastaan. Nämä seikat on huomioitava robottiparvien toimintojen suunnittelussa niiden ohjelmistojen kehittämisen aikana sekä tehtävien suunnittelussa operatiivisessa toiminnassa. Aihetta käsitellään kattavammin hankkeen loppuraportissa.

6. Tutkimuksen tuottamat tieteelliset julkaisut ja muut mahdolliset raportit

Hankkeesta ollaan kirjoittamassa suomenkielinen raportti nimeltä "RoboConOps - Operointikonseptin kehittäminen robottiparven ohjaukseen", joka julkaistaan VTT Technology -sarjassa. Sen lisäksi hankkeessa on kirjoitettu artikkeli nimeltä "Concept of Operations development for autonomous and semi-autonomous swarm of robots", joka lähetetään Human-Robot Interaction (HRI 2017) -kongressiin. Suunnitteilla on lisäksi toinen kongressiartikkeli ihmisen ja autonomisen järjestelmän vuorovaikutuksesta, joka lähetetään mahdollisesti Multi-Conference on Computer Science and Information Systems (MCSSIS 2017) -kongressiin.

7. Tekijöiden kiitokset

Seuraavat graafiset ikonit on suunnitellut Freepik Flaticonilta: Drones, Helicopter, Antenna, Submarine, Army soldier, Monitor, Tablet screen, Satellite dishes, Battleship, Moon rover, Jeep, Transport truck.



Seuraavan graafisen ikonin on suunnitellut Ctrlstudio Flaticonilta: Operator.
Kartat, satelliittikuvat ja asuntojen visualisoinnit: Google Maps.

8. Lähteet

Fairley, R., & Thayer, R. (1997). The concept of operations: The bridge from operational requirements to technical specifications. *Annals of Software Engineering* 3, 417-432.

Schamie, C. (2014). *Continuous Engineering for Dummies*. Hoboken: Wiley.

Scharre, P. (2014). *Robotics on the battlefield. Part II*. Center for New American Security.

Sheridan, T. B., & Verplank, W. L. (1978). Human and computer control of undersea tele-operators. *Man-Machine Systems Laboratory Report*. Cambridge, MA: MIT.