



# Puolustustutkimuksen **VUOSIKIRJA 2020**



# PUOLUSTUSTUTKIMUKSEN VUOSIKIRJA 2020

**PÄÄTOIMITTAJA** Jouni Koivisto

**TOIMITTAJA** Merja Nousiainen



PUOLUSTUSVOIMAT  
RIIHIMÄKI 2020

**TOIMITUSKUNTA:**

Jouni Koivisto  
Timo Ristimäki  
Matias Aunola  
Juhani Hämäläinen  
Eeva-Maija Turpeinen  
Timo Kaurila  
Kirsi Valkeapää  
Merja Nousiainen  
Sirpa Korpela  
Stefan Oino

**TAITTO, GRAFIikka JA KUVANKÄSITTELY:**

Mario Malm  
Nooa Savukoski

**KANNEN KUVAT:**

Mario Malm  
Michel Antoine  
Valtteri Vanhatalo  
Veli-Pekka Kivimäki  
Tommi Luoto  
Heli Siljander  
Joona Repo  
TJ Toivanen  
Ilmavoimat

ISBN 978-951-25-3127-1 (painettu)  
ISBN 978-951-25-3128-8 (verkkojulkaisu)  
ISSN 2489-7329 (painettu)  
ISSN 2490-1601 (verkkojulkaisu)

Puolustusvoimat

PunaMusta  
Tampere 2020

# Tutkimuksen merkitys suorituskykyjen rakentamisessa ja ylläpitämisessä

Puolustusmateriaali teknistyy vauhdilla yleisen teknisen kehityksen mukana. Yhä useammin järjestelmien kesken verkottuneet ohjelmistot ovat ratkaiseva osa suorituskykyä. Vastaavasti järjestelmien valmistuksesta ja ylläpidosta vastaa laaja monikansallisten toimijoiden verkosto, jossa kullakin toimijalla voi olla hyvin kapea erikoisosaamisalue. Puolustusmateriaalin tekninen monimutkaistuminen on kasvattanut merkittävästi niiden elinkaarikustannuksia, ja ylläpitoon osallistuvan verkoston toiminta ja sopimusjärjestelyt voivat olla hyvin kompleksisia.

Muuttuvasta toimintaympäristöstä ja teknisestä kehityksestä riippumatta puolustusjärjestelmän suorituskykyjen ylläpidon kustannusten on pysyttävä käytössä oleviin resursseihin nähden kestävällä tasolla. Kokonaiskustannuksista järjestelmien käytön aikaisen ylläpidon osuus on usein yli kaksi kolmasosaa. Niinpä oikein ajoitetulla tutkimuksella ja tutkimustulosten käyttöönotolla ja hyödyntämisellä voidaan saavuttaa merkittäviä säästöjä tulevaisuuden kustannuksissa. Kun kehitetään suorituskykyjen rakentamisessa käytettäviä hankehallinnan menetelmiä ja systeemisuunnittelun työkaluja, autetaan rakentamaan asetettuihin vaatimuksiin vastavia, rajapinnoiltaan yhteensopivia ja seurannaisvaikutukset huomioivia suorituskykyjä. Puolestaan kun logistinen tuki integroidaan niin Puolustusvoimien kuin kumppaneidenkin hankittavaan suorituskykyyn jo suorituskyvyn rakentamisen ensi vaiheista alkaen, voidaan vaikuttaa ratkaisevasti suorituskykyjen käytettävyyteen, luotettavuuteen, ylläpidettävyyteen ja kustannuksiin.

Tulevien järjestelmien ylläpitoon ja logistiseen konseptiin liittyvällä puolustustutkimuksella voidaan tukea resurssitietoista suorituskyvyn rakentamista.

Täysin uudenaikaisissa järjestelmissä on tärkeää jatkaa niiden tutkimusta myös käytön aikana. Tutkittu tieto esimerkiksi rakenteiden väsymisestä tai komponenttien luotettavuudesta niiden elinkaaren ajalta auttaa tekemään parempia päätöksiä niin ylläpidon kuin käytönkin suhteen. Näistä on jo toteutuneissa tutkimuksissa saatu arvokkaita tuloksia.

Puolustusvoimille on tärkeää kehittää omaa järjestelmien elinjaksonhallinnan ja ylläpidon osaamista, jotta säilytämme kykymme olla osaavia asiakkaita ja yhteistyökumppaneita teollisuudelle ja kumppaneillemme. Kaikki tarvittava tieto ei ole maailmalta saatavilla edes rahalla, vaan se pitää hankkia itse. Tutkimustieto ja niistä kertyvä kansallinen teknologia- ja järjestelmäosaaminen ovat myös suorituskykyjen ylläpidon huoltovarmuuden näkökulmasta merkittävää pääomaa.



## Kirjoittaja:

Kenraalimajuri Timo Kakkola toimii Puolustusvoimien sotatalouspäällikkönä.

# Päätoimittajalta

Puolustustutkimuksen vuosikirja 2020 on laatuaan kuudes. Se tarjoaa aiempien vuosien tapaan poikkileikkauksen Puolustusvoimien tutkimustoimintaan lukuisissa tiiviissä ja helpolukuisissa artikkeleissa. Vuodesta 2018 alkaen vuosikirja on ollut puolustusvoimallinen tuote, jossa jokaisella Puolustusvoimissa tutkimus- ja kehittämistoimintaa toteuttavalla organisaatiolla on ollut mahdollisuus tuottaa kirjaan sisältöä.

Tälläkin kertaa lukijalla on mahdollisuus saada käsitys puolustustutkimuksen monimuotoisuudesta ja monitieteisyydestä. Tutkimuksen monimuotoisuutta ilmentää muun muassa tarkasteltavan aikahorisontin vaihtelu käytössä olevien suorituskykyjen testauksesta ja arvioinnista suorituskykyjen rakentamisen kautta aina 2030-luvun lopulle ulottuvaan strategiseen ennakointiin. Vaikka tällä kertaa sotahistoriaa tai strategisia muutostrendejä kohti vuotta 2050 ei kirjoituksissa tarkastellakaan, myös nämä sisältyvät monimuotoiseen puolustustutkimukseen. Kirjoituksissa heijastuu selvästi monitieteisyys, mikä onkin merkittävä voimavara niin tutkimustoiminnan kokonaisuudessa kuin yksittäisten tutkimustenkin näkökulmasta.

Tällä kertaa kaikki kirjoittajat työskentelevät Puolustusvoimissa, mutta en voi olla korostamatta kansallisten ja kansainvälisten yhteistyökumppanien merkitystä tutkimus- ja kehittämistoiminnan toteutuksessa. Suurimmassa osassa esitellyistä tutkimuksista on ollut mukana puolustushallinnon ulkopuolisia toimijoita, tai vähintäänkin niissä on hyödynnetty ulkopuolella tuotettua tietoa. Kumppanien käyttö ei kuitenkaan ratkaise tutkimus- ja kehittämistoimintaan käytettävissä olevien resurssien rajallisuutta. Yhteistoiminta vaatii sekin osaavia henkilöresursseja ja ennen muuta rahoitusta tutkimushankintojen jatkuvaan hankintaan erityisesti kansallisen osaamisen rakentamiseksi ja ylläpitämiseksi. Olkoon tämä vuosikirja osaltaan viestimässä puolustustutkimuksen korkeaa tasoa ja sitä, että ”virheiden” tekeminen on kaikkein edullisinta suorituskykyjen tutkimus- ja kehittämisyhteisöissä.

**Toivotan antoisia lukuhetkiä!**



**Kirjoittaja:**

Päätoimittaja  
Insinöörierivertilutnantti Jouni Koivisto

# Sisällys

Tutkimuksen merkitys suorituskykyjen rakentamisessa ja ylläpitämisessä	3
Päätoimittajalta	4
<b>Puolustusvoimien tutkimuslaitos</b>	
Teknologiaennakointia Puolustusvoimien tarpeisiin	8
Hybridi yhdistää	10
Tulevaisuuden haasteisiin valmistautuminen harjoittelutoiminnan avulla	12
Kognitiivinen elektroninen sodankäynti	15
Tulevaisuuden tutkat	18
Suojan kokonaisuuden tarkastelu	22
Avaruuden hyödyntäminen	25
Asejärjestelmien käyttöönottoon liittyviä mittauksia	28
Taisteluaineilla harjoittelu – tutkimuksen tuki suojelukoulutuksen kehittämisprojektille	30
INSPIRE-2-tutkimus: resilienssiä mittaavan psykologisen testin kehittäminen	35
Peruskokeet eli kaikille varusmiehille tehtävät psykologiset testit uudistuvat	38
Etätö helpottaa työn ja perheen välisiä suhteita, erityisesti reppureilla	41
<b>Sotilaslääketieteen keskus</b>	
Varusmiesten tupakka- ja nikotiinituotteiden käyttö ja sen merkitys suorituskyvyille	46
<b>Maasotakoulu</b>	
Huollon tutkimus- ja kehitystyö osana Maavoimien suorituskyvyn rakentamista	52
<b>Merisotakoulu, Meritaistelukeskus</b>	
Turvallisuuskriittisten ohjelmistojen käyttöturvallisuuden varmistaminen Puolustusvoimissa	56
Verkkoteorian hyödyntäminen merimiinoittamisen suunnittelun tukena	62
Jaettu parametritietokanta mallinnuskäyttöön	64
<b>Ilmavoimat</b>	
Ilmavalvonnan suorituskykyjen arvioinnin tukeminen tutkimuksella	68
Tutkimuskoelentotoiminta Ilmavoimissa	71
<b>Maanpuolustuskorkeakoulu</b>	
Naton asema ja rooli eurooppalaisessa turvallisuudessa 2030-luvulla	76
Työn vaatimukset, hallinta ja sosiaalinen tuki – henkilökunnan profiilit oppimisympäristön kokemisessa	78
Merenalaiset tietoliikennekaapelit ja niihin kohdistuvat hybridiuhkat	82
Nuoret ja somen pimeä puoli	86





**Puolustusvoimien tutkimuslaitos**



# Teknologiaennakointia Puolustusvoimien tarpeisiin

**Puolustusvoimat hankkii ja käyttää suorituskykyjään käytössä olevan parhaimman mahdollisen tiedon perusteella. Tämän vuoksi on tärkeää, että myös tulevien vuosikymmenten arvioituja muutostekijöitä pyritään tunnistamaan. Teknologian tulevaisuuden kehitystä arvioidaan teknologiaennakoinnin avulla.**

Teknologia on teknistä tietoa tai apua, jota tarvitaan laitteiden, järjestelmien, ohjelmistojen tai palveluiden kehittämistä, tuotantoa tai käyttöä varten. Teknologiaan liittyy oleellisena osana osaaminen ja sen hallinta. Teknologiaennakoinnilla pyritään arvioimaan todennäköisiä teknologian kehityskulkuja. Mahdollisimman hyvän arvion tuottamiseksi hyödynnetään sekä kansallista että kansainvälistä osaamista.

Teknologiaennakointi ei ole Puolustusvoimien tutkimuslaitoksessa yksittäisten ihmisten varassa. Eri osastoilla on ainutlaatuisia osaamista teknologian eri osa-alueilta. Eri asiantuntijat ovat myös vahvasti verkottuneet sekä Puolustusvoimissa että kansallisten ja kansainvälisten osaajien kanssa. Uusia näkökulmia saadaan esimerkiksi Naton ja Euroopan puolustusviraston (EDAn) eri kokoonpanoissa. Kaikkea tätä osaamista hyödynnetään myös kattavasti teknologiaennakoinnissa.

Puolustusvoimissa teknologiaennakoinnin painopiste on eri teknologioiden sotilaallisessa hyödyntämisessä. Tältä osin Puolustusvoimien teknologiaennakointi eroaa monen yrityksen tekemästä ennakoinnista. Työn erilaisen tarkoituksen vuoksi Puolustusvoimat ei myöskään voi ulkoistaa omaa ennakointitoimintaansa. Puolustusvoimissa teknologiaennakoinnilla saatavaa tietoa pystytään hyödyntämään sekä eri teknologioiden mahdollisuuksien että niiden riskien arvioinnissa.

## Teknologiaennakoinnin haasteet

Teknologiaennakoinnin haasteena on ymmärtää eri trendien muutosnopeus sekä havaita uusien teknologioiden heikot signaalit. Johonkin uuteen teknologiaan liittyvän osaamisen luonti vie arviolta ainakin 10 vuotta, mikä on pidempi kuin pelkän uuden sovelluksen käyttöönottoon vaadittu aika. Tällöin on tärkeää, että tulevat muutokset voidaan ennakoida etupainotteisesti, jolloin tarvittavan osaamisen luontiin jää riittävästi aikaa. Kuvassa 1 on havainnollistettu teknologiaennakointiprosessia.



Kuva 1. Teknologiaennakointiprosessi. (Grafiikka: Nooa Savukoski)

Tulevaisuuden kehityskulujen ennakointia pidetään hankalana ja sitä myös usein kyseenalaistetaan – onko mielekästä yrittää ennakoida teknologian kehitystä jopa 20 vuoden aikajänteellä? Tätä kysymystä ovat tarkastelleet Yhdysvaltojen armeijan tutkimuslaboratorion (engl. Army Research Lab) Alexander Kott ja Philip Perconti. Vuonna 2018 julkaistussa artikkelissaan sotilaallisen teknologiaennakoinnin paikkansapitävyydestä Kott ja Perconti tarkastelivat viittä erilaista ennakointiaineistoa 1990-luvulta. Aineistot käsitelivät tulevaisuuden sotilaskäyttöön sovellettavia teknologioita. Aineistosta tunnistettiin 81 ennakointiväittämää, kun tarkastelujakso ulottui kohti vuotta 2020. Näitä arvioi kymmenen asiantuntijan ryhmä.

Asiantuntijat arvioivat väittämiä 0:n ja 1:n väliltä, jolloin lähempänä nollaa oleva arvo tarkoitti väittämän olevan enemmän epätosi kuin tosi. Toteutuneen arvion kriteerinä pidettiin tietyn teknologiakypsyyden (TRL 8) saavuttamista. Ennakointiväittämien paikkansapitävyyden keskiarvoksi saatiin 0,76. Kaikista 81 ennakointiväittämästä 66:n todettiin olevan arvotettu 0,5:een tai yli, jolloin ennakoinnin kokonaistarkkuudeksi saatiin 81 %. Teknologian kehityksen pitkän aikavälin arviointia voidaan siis pitää mielekkäänä.

## Tulevaisuuksien hahmottaminen

Yksittäisten teknologioiden kehityskulkua voidaan ennakoita. Jäljelle jää kuitenkin kysymys siitä, millainen on se tulevaisuus, jossa nämä teknologiat ovat käytössä. Teknologioiden keskinäiset ristiinvaikutukset voivat myös johtaa täysin uusiin sovelluksiin tai ennakoimattomiin lopputuloksiin. Esimerkiksi kvanttietokoneet voivat tuottaa suorituskykyharppauksia erilaisissa tekoälysovelluksissa. Jos tämän lisäksi akkuteknologiassa tehtäisiin uusia materiaali-innovaatioita, jotka mahdollistaisivat miehittämättömien järjestelmien pidempiaikaisen itsenäisen toiminnan, voisivat myös sotilaalliset seurannaisvaikutukset olla odottamattomia.

Vaihtoehtoisten tulevaisuuksien hahmottaminen on siis tärkeää myös teknologiaennakoinnissa. Näiden tulevaisuuksien hahmottamisessa on otettu avuksi myös science fiction -kirjallisuus. Niin Yhdysvaltojen kuin Sveitsinkin asevoimien teknologiaennakoinnissa on hyödynnetty scifi-kirjailijoita tulevaisuuden näkymien maalailussa. Tämän nähdään auttavan uusien näkökulmien löytämisessä. Instituutioita voi näet vaivata oman kulttuurinsa aiheuttama ajattelun jäykkyys ja sen yksipuolisuus.



Kuva 2. Yhdysvaltojen laivaston tutkimuskeskuksen (ONR) miehittämättömän valtamerikelpoinen 135-tonninen alus, Sea Hunter. (Kuva: U.S. Navy)



Kuva 3. Aalto-yliopiston Quantum Computing and Devices -laboratoriossa tutkitaan kvanttilaskennan menetelmiä. (Kuva: Veli-Pekka Kivimäki)

### Kirjoittajat:

Vanhempi sotilasinsinööri Päivi Mattila (TKT) toimii Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen doktriiniosastossa strategisen analyysin tutkimusalalla.

Vanhempi tutkija Veli-Pekka Kivimäki (ins. YAMK) toimii Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen doktriiniosastossa strategisen analyysin tutkimusalalla.

# Hybridi yhdistää

**Euroopan hybridiuhkien torjunnan osaamiskeskus (Hybridiosaamiskeskus) on uniikki – sekä Naton että Euroopan unionin tukema – kansainvälinen osaamiskeskus. Hybridiosaamiskeskuksen tehtävänä on tukea osallistujien yhteisiä pyrkimyksiä parantaa hybridiuhkien torjuntaan liittyviä siviili- ja sotilaallisia suorituskykyjä, valmiutta sekä sietokykyä. Puolustusvoimat hakee keskuksen kansainvälistä toimintaa tukieessaan erityisesti omaa tutkimustoimintaa tukevia synergiaetuja.**

Hybridiosaamiskeskus on uniikki osaamiskeskus: se on sekä Naton että EU:n tukema ja niiden jäsenmaille avoin keskus muttei kuulu niiden organisaatioon. Keskuksen kansainvälinen toiminta perustuu osallistujamaiden hyväksymään yhteisymmärrysasiakirjaan. Keskuksen sihteeristö muodostaa keskuksen työohjelman osallistujilta koottuihin tarpeisiin perustuen mutta hyvin itsenäisesti. Hybridiosaamiskeskus ei osallistu operatiiviseen toimintaan vaan on luonteeltaan strateginen, konseptuaalinen ja kansallisten suorituskykyjen kehittämistä tukeva. Hallinnollisesti Hybridiosaamiskeskuksen sihteeristö on siitä Suomessa erikseen annetun lain mukaan julkishallinnollinen yksikkö, jolla ei ole viranomaistehtävää.

Hybridiosaamiskeskus perustettiin oikeaan aikaan ja vastaa ilmeiseen tarpeeseen – osallistuvien valtioiden määrä on kasvanut alle kolmessa vuodessa yhdeksästä perustajasta jo 27:ään! Hybridiosaamiskeskus toimii verkostomaisesti: Helsingissä sijaitseva kansainvälinen sihteeristö johtaa osallistujien asiantuntijoista muodostuvia teema- ja projektiryhmiä. Erilaisia tilaisuuksia (työpajoja ja harjoituksia) on tähän saakka pidetty kymmeniä, ja verkostoissa on tällä hetkellä jo yli 1 200 eri alojen asiantuntijaa.



Kuva 1. Hybridiosaamiskeskuksen kättilöinti on suomalaisen diplomatian onnistunut ”hyvä palvelus” kansainväliselle kokonaisturvallisuudelle. Ajatus Hybridikeskuksesta kehittyi vuonna 2016 Naton ja EU:n yhteistyötä korostaneiden julkilausumien pohjalta, ja jo keväällä 2017 MOU oli valmiina allekirjoitettavaksi Helsingissä. Avajaisia vietettiin korkean tason vieraiden kanssa 2.10.2017. (Kuva: Esko Tuomisto)

Keskuksen perustehtävät ovat tiivistetysti seuraavat:

1. Koota osallistujamaiden sekä EU-Nato-instituutioiden asiantuntijoita yhteen jakamaan luottamuksella kokemuksia ja luomaan uusia toimintamalleja.
2. Toimia neutraalina alustana EU:n ja Nato:n välillä.
3. Kehittää ilmiön ymmärtämiseen tarvittavaa kieltä ja käsitteistöä.

## Puolustusvoimat ja Hybridiosaamiskeskus

Puolustusvoimat osallistuu Hybridiosaamiskeskuksen toimintaan keskuksen kutsusta ja Puolustusministeriön päätöksellä. Yhteistyön tavoitteena on tutkia ja analysoida erityisesti maanpuolustukseen liittyviä hybridiuhkia ja etsiä sekä kehittää ja jakaa hyviä käytäntöjä niiden hallitsemiseksi ja torjumiseksi. Puolustusvoimat hakee keskuksen kansainvälisestä toiminnasta omaan tutkimustoimintaan liittyviä synergiaetuja, joilla tuetaan erityisesti Puolustusvoimien strategiseen ennakointiin liittyvää toimintaympäristön analysointia sekä Puolustusvoimien konseptien kehittämistä ja laadintaa.

Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen edustajan vuodesta 2019 alkanut sekondeeraus on osa Suomen kansallista kontribuutiota Hybridiosaamiskeskukselle. Yhteistyömahdollisuuksia haetaan ja tarjotaan koko Puolustusvoimille. Lähtökohtana yhteistyöhön osallistumiseen ovat operatiiviset vastuut ja toimintasuunnitelmassa käsketyt (tutkimus) tehtävät ja niihin käsketty osallistuminen – mukana ollaan harkiten ja valikoiden.

Tutkimuslaitoksen sekondeeraama edustaja toimii Hybridiosaamiskeskuksessa sotilasasiantuntijana keskuksen johtajan määräämissä tehtävissä (Special Advisor to the Director) ja on Puolustusvoimien ensisijainen yhteyshenkilö kaikessa yhteistoiminnassa Hybridiosaamiskeskuksen kanssa. Hän vastaa Puolustusvoimien edustautumisesta keskuksen asiantuntijataapahtumissa, joko itse tai koordinoimalla edustus muualta Puolustusvoimista.



Kuva 2. Hybridiosaamiskeskus toimii verkostomaisesti: Helsingissä sijaitseva kansainvälinen, kymmentä eri kansallisuutta edustava sihteeristö johtaa osallistujien asiantuntijoista muodostuvia teema- ja projektiryhmiä. Pysyväluonteisia teemayhteisöjä (Community of Interest, COI) on tässä vaiheessa kolme. Niissä toimii jo yli 1 000 asiantuntijaa.

## HYBRIDI ON YHDISTELMÄ

Hybridiuhkat on jäsentymässä oleva työkäsité, jolla demokraattiset valtiot ja järjestöt (EU, Nato) kuvaavat turvallisuusympäristönsä käynnissä olevaa muutosta. Näkyvien konfliktien taustalla juurisyitä ovat toisiinsa liittyneinä mm. ilmastonmuutos, työtä ja tuotantoa mullistava talouden globalisaatio, teknologian kehitys sekä informaatioympäristön mullistus. Yksilöt, yhteiskunnat ja kansainväliset organisaatiot ovat monimutkaisessa muutostilanteessa, joka pakottaa ne etsimään uusia keinoja selvitä kilpailussa. Hybridiuhkilla tarkoitetaan tässä laaja-alaisessa kilpailuympäristössä muodostuvia perinteisiä vastuualuerajoja leikkaavia uhkatekijöitä ja vaikutusmekanismien yhdistelmiä, joita pahantahtoinen toimija hyödyntää sääntöperustaista järjestelmää kunnioittamatta.

Hybridiuhkissa yhdistyvät pehmeät ja kovat keinot, suorat ja epäsuorat taktiikat, vanhat ja uudet välineet, sisäinen ja ulkoinen ympäristö sekä uudet ja perinteiset kohteet. Kaikkiin hybridiuhkan vaiheisiin (hybridivaikuttaminen, -häirintä, -operatiot, -sodankäynti) voi liittyä joko suoraan tai latentisti aseellisen voiman olemassaolo, näyttö tai eristeinen käyttö. **Hybridisodankäynnistä** voidaan puhua tilanteessa, jossa aseellista voimaa käytetään toistuvasti tukemaan muuta vaikuttamista (aseellisen voimankäytön muodostuessa konfliktin päävaikuttamiskeinoksi on perusteltua puhua yksinkertaisesti vain sodankäynnistä). Hybridi EI siis poista perinteisen kovan turvallisuuden merkitystä, vaan se korostaa tarvetta ymmärtää konfliktin kuvan muutosta ja päivittää puolustuksen roolia entisestään integroituvan ja keskinäisriippuvaisen monikansallisen kokonaisturvallisuuden osana.

### Kirjoittaja:

Everstiluutnantti Mikko Lappalainen toimii projektipäällikkönä (hybridiuhkat) Puolustusvoimien tutkimuslaitoksessa, sekondeerattuna Hybridiosaamiskeskukseen.

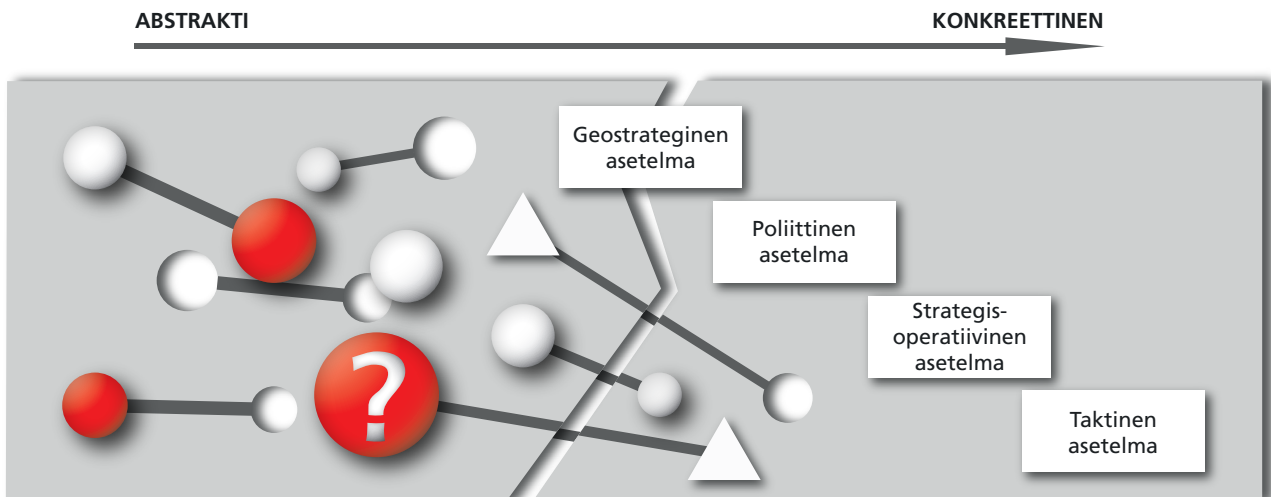
# Tulevaisuuden haasteisiin valmistautuminen harjoittelutoiminnan avulla

Jokainen kansakunta ja niiden jokaisen asevoimat varautuvat tulevaisuuden kriisien, konfliktien ja sodankäynnin varalta. Materiaalihankintojen avulla varmistetaan, että puolustusjärjestelmällä on ajanmukainen sotavarustus. Tämän lisäksi tulee myös kehittää jatkuvasti organisaatioiden henkilöstön osaamista tulevaisuuden sotien ja kriisien varalta. Jokaisen asevoiman painajainen on joutua kohtaamaan uudenlaisia sotataidollisia haasteita tulevaisuuden kriiseissä ja sodissa, jotka yllättävät organisaatiot siten, että ne luhistuvat oman osaamattomuutensa vuoksi. Sotahistoria tuntee lukuisia esimerkkejä tämäntapaista kohtaloista.

Asevoimat ovat systemaattisesti rakennettuja kokonaisuuksia. Niiden käyttämää materiaalia ja suorituskykyjen kokonaisuuksia verkotetaan paremman kriisikestävyyden saamiseksi. Mikään materiaali ei kuitenkaan korvaa sotataidollista osaamista, organisaatioiden johtamista ja niiden harjoittelua. Tämän vuoksi harjoitustoiminta on keskeinen elementti tulevaisuuteen ja sen mahdollisiin variaatioihin varautumisessa. Sunzi kirjoitti kaksi vuosituhatta sitten tärkeän ajatuksen: ”Kenraali saa käskyn hallitsijalta, kokoaa armeijat, panee kansan liikkeelle, liittoutuu ja leiriytyy, mutta mikään ei ole vaikeampaa kuin armeijan taisteluttaminen.” Tämä ajatus on keskeinen periaate myös harjoitustoiminnan suunnittelussa ja ideoinnissa.

Organisaatioiden on harjoiteltava jatkuvasti. Harjoittelutoiminnan avulla pyritään paikkaamaan jo ennalta potentiaalisia osaamisvajeita sekä saamaan organisaatiot mahdollisimman valmiiksi yllätysten, yllättävien tilanteiden sekä myös johtamisen mahdollisten kipupisteiden varalta. Harjoitusten tavoitteena on saattaa johtajat tekemään päätöksiä. Niiden tekeminen on yllättävän vaikeaa kriisien ja sotien olosuhteissa, joissa tieto on kaikkea muuta kuin ehyttä ja ”sodan sumu” tekee oikea-aikaisen päätöksenteon äärimmäisen haastavaksi.

Skenaariot ovat harjoitustoiminnan ytimessä. Niiden avulla saatetaan organisaatiot toiminnan ytimeen sekä oivaltamaan suunnitelmiansa käyttökelpoisuutta. Harjoituksen skenaarion asetelma ja perusidea (setting) määrittää pitkälle sen, miten kukin kansakunta näkee mielekkääksi osallistua juuri tiettyyn harjoitukseen. Skenaariot ovat eräänlaisia loogisesti eteneviä tulevaisuuden tilojen sarjoja, loogiseksi rakennettuja tulevaisuuspolkua, jotka sisältävät kuvauksia keskeisistä toimijoista, toiminnoista sekä niistä keskeisistä haasteista, jotka organisaatioiden ja niiden johtajat pitäisi pystyä ratkaisemaan. Nato käyttää näistä viimeksi mainituista nimikettä ”Operational Dilemmas”. Ne ovat sotataidollisesti ajankohtaisia haasteita. Skenaarioiden idea on myös mahdollistaa sellaisten haluttujen asioiden harjoittelu, joita reaali maailmassa ei ole mahdollista harjoitella.



Kuva 1. Skenaarion prosessointi – abstrakteista tuotteista konkreettisiin tuotteisiin. (Grafiikka: Nooa Savukoski)

Laajat poliittis-strategiset skenaariot ovat kansakuntien keino osoittaa toisille kansakunnille, mihin ja minkälaiseen mahdolliseen maailman tilaan tulisi varautua. Laajat skenaariot ovat kansakunnalle yksi keino liittää omat tarkoitusperänsä sekä intentionsa osaksi kansainvälisen politiikan keskustelua. Harjoitusten avulla tarkastellaan samalla, mikä eri toimijoiden rooli voisi olla tulevissa kriiseissä, konflikteissa sekä sodankäynnissä. Hyvä harjoitus on erinomainen alusta tutkimus- ja kehittämistoiminnalle.

### Miten skenaario rakennetaan?

Skenaarioiden rakentamisen ei tarvitse aina perustua todennäköisimpään tulevaisuuden vaihtoehtoon. Myös epätodennäköisen mutta mahdollisen sekä mahdollisen mutta pahimman mahdollisen skenaarion rakentaminen voi olla perusteltua. Kansallinen traditiomme on keskittynyt lähiympäristön negatiiviseen kehitykseen perustuviin skenaarioihin. Laajat skenaariot sisältävät useita erilaisia tulevaisuuspolkua, jotka kannustavat harjoitettavia organisaatioita näkemään maailman mahdollisia kehityskulkuja ja niihin vaikuttavien tekijöiden muodostumisen nykyhetken ja nykymaailman elementeistä.

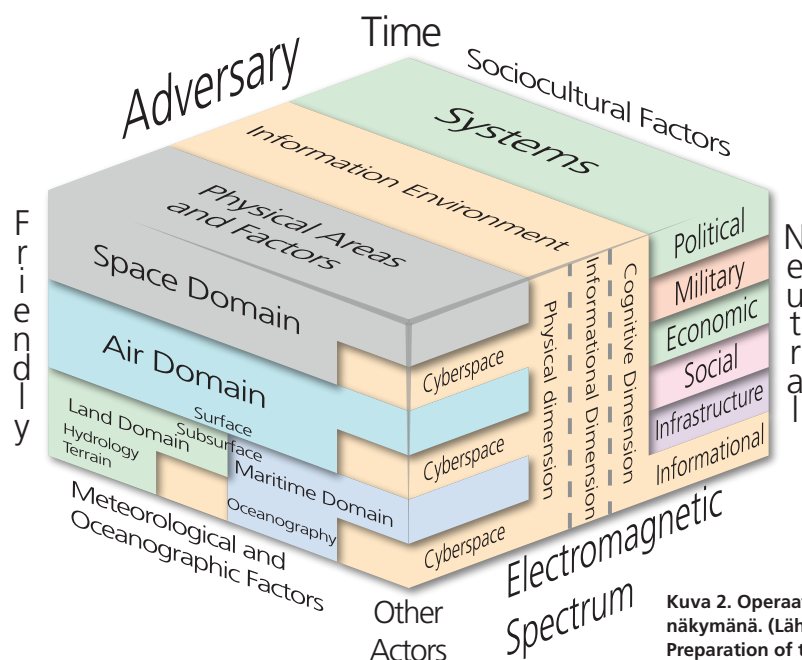
Kuvassa 1 on esitetty periaatteellinen piirros, miten skenaariotuotteita prosessoidaan. Abstraktiin vaiheeseen liittyvä skenaarion prosessointi jää usein vähälle huomiolle, ja tämän vaiheen prosessinomaisen kuvauksen laatiminen on vaikeaa ja ehkä myös tarpeetonta. Kyse on eräänlaisesta innovoinnin, älykkään intuition ja tutkimustiedon välisestä

vuoropuhelusta, joka vähitellen saa konkreettisia muotoja. Joka tapauksessa tarvitaan tarkkoja ja analyttisiä tulevaisuustutkimuksen ja ympäristötekijöiden tarkasteluja. Keskeisessä roolissa ovat megatrendien paikantaminen, määrittäminen ja ajallistaminen sekä sodan kuvan oletettu muuttuminen yhteiskunnan muutosvoimien kanssa.

Konkreettiset skenaariotuotteet osoittavat tarkasti, millaisessa maailmassa skenaariossa eletään ja mitä haasteita siihen on asetettu. Harjoituksen tavoitteet suuntaavat skenaarioiden laadintaa, jotta harjoituksesta saadaan irti juuri sitä harjoittelua, mitä organisaatiot haluavat harjoitella. Abstraktimmat piirteet ovat kuitenkin nähtävissä vielä ensimmäisissä skenaariotuotteissa, jotka siis virittävät harjoitukseen osallistuvat tarkoituksenmukaiseen pohdintaan esimerkiksi kriisin tai sodan päättämisen mahdollisuuksista, muiden kuin sotilaallisten keinojen käyttämisestä tilanteen ratkaisemisessa sekä luonnollisesti, etenkin sotilasorganisaatioiden kannalta, kineettisten ja ei-kineettisten suorituskykyjen käytöstä.

Laajojen harjoitusten skenaariotoiminta mahdollistaa sen, että harjoitukseen osallistuva taktisen tason johtoporras oivaltaa ympärillään olevien kansainvälisten toimijoiden sekä oman kansakunnan toiminnot ja toiminnallisuudet sekä sen vaikutuksen kokonaisvaltaisesti operaatioympäristön muutoksiin. Harjoitukset ovat parhaimmillaan laajoja testausympäristöjä laadituille suunnitelmille, henkilöstön kehittämisen strategioille sekä erityisesti sotataidollisen ajattelun ajanmukaisuuden toteamiselle.

## Holistic View of the Operational Environment



Kuva 2. Operaatioympäristö holistisena näkömäänä. (Lähde: Joint Intelligence Preparation of the Operational Environment, 2014. Joint Publication 2-01.3 (2014) sivu I-3)

## PMESII-jaottelu skenaariotoiminnassa

Kansainvälinen käytäntö laajojen strategis-operatiivisten harjoitusten skenaarioiden laadinnassa on tukeutua PMESII-jaotteluun ja hyödyntää sitä skenaarioiden laadinnassa. Sen mukaisesti esitetään ja jaetaan joko alue tai valtio poliittisesti, sotilaallisesti, taloudellisesti, yhteiskunnallisesti sekä informaatioltaan ja myös infrastruktuuriltaan osakokonaisuuksiin. Tarkoitus on tämän jaottelun avulla muodostaa alueista tai valtioista kokonaisuuksia, jotka voisivat toimia myös todellisessa maailmassa. Kyse on eräänlaisen holistisen kokonaiskuvan rakentamisesta, jonka perusteella harjoitusjoukko ymmärtää paremmin skenaarion eri sodankäynnin tasojen dynamiikan.

PMESII-jaottelua hyväksi käyttäen pyritään myös osoittamaan yhteiskunnan eri segmenttien mahdolliset kausaaliset ja keskeiset suhteet, joita voidaan myös pyrkiä löytämään avainsolmuanalyysiä apuna käyttäen. PMESII-jaottelua tarvitaan skenaariotoiminnan perustaksi jo pelkästään senkin vuoksi, että asevoimat suunnittelevat toimintansa nykyajan huomattavasti kokonaisvaltaisemmin, kuin mihin ne varhaisemman historiansa aikana olivat tottuneet. Esimerkiksi Naton käyttämä COPD-suunnitteluohje (Comprehensive Planning Directive) pohjautuu operaatioympäristön PMESII-jaotteluun ja jo pelkästään tämän vuoksi harjoituskenaarioilta edellytetään samanlaista jaottelua. Uskottavan PMESII-pohjaisen skenaarion laadinta edellyttää runsaasti henkilöstöresursseja.

COPD-suunnitteluohjeen mukaan: “Moderneille kriiseille on omaista monimutkaiset riippuvuussuhteet ja konfliktien perustana ovat yhdistelmä poliittisia, historiallisia, sotilaallisia, sosiaalisia, kulttuurisia ja taloudellisia ongelmia. Nämä ongelmat ovat usein kausaalisissa suhteissa toisiinsa, joten niiden ratkaiseminenkin on monimutkaista.” Harjoitusten rakentaminen on juuri niin monimuotoista ja monimutkaista, kuin todellinen maailma on.

## Lopuksi

Skenaariotoiminta on keskeinen elementti harjoitusten suunnittelussa ja niiden toteuttamisessa. Ilman perusteellista ja tutkimusperustaista skenaariotyöskentelyä ei ole nykyajan mahdollista johtaa uskottavia ja muita kansakuntia kiinnostavia harjoituskokonaisuuksia. PMESII-jaottelu on keskeinen osa nykyaikaista harjoitustoimintaa. Sen kokonaisvaltainen hallinta vaatii perehtyneen ja osaavan henkilöstön. Skenaariotoiminnan kehittäminen vaatii monivuotista sitoutumista tulevaisuuden tutkimukseen sekä sen mahdollisiin variaatioihin liittyvien harjoituskokonaisuuksien suunnittelemiseen.

Laajat strategis-operatiiviset harjoitukset ovat kansakunnalle keskeinen elementti uskottavan puolustuskyvyn osoittamisessa. Harjoitukset tuottavat osaamista mutta myös tietoa organisaation osaamisen vajeista. Tämän vuoksi harjoitukset ovat keskeisessä asemassa suorituskykyjen kehittämisessä sekä niiden vaikuttavuuden kokonaisarvioinneissa alati muuttuvassa toimintaympäristössä.

### Kirjoittajat:

Everstiluutnantti, valtiotieteiden tohtori Juha Mälkki toimii tutkimusalojohtajana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen doktriiniosastossa sotapelit ja eksperimentit -tutkimusosastolla.

Yhteiskuntatieteiden kandidaatti Miika Aaltonen toimi korkeakouluharjoittelijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen doktriiniosastolla kesällä 2019. Hän valmistee pro gradua megatrendeistä Itä-Suomen yliopistossa.

# Kognitiivinen elektroninen sodankäynti

Elektronisen sodankäynnin (elso) saralla on noussut uusi käsite, kognitiivinen elso. Kognitiivinen elso on osittain seurausta keskusteluun, miten vastataan kognitiivisten radioiden ja kognitiivisten tutkien aiheuttamaan haasteeseen. Kognitiiviselle elsolle ei ole vielä vakiintunutta määritelmää. Tässä kirjoituksessa pohditaan lyhyesti kognitiota, kognitiivisia järjestelmiä, teknologian kehitystä sekä sitä, mitä tekoälyllä voidaan tehdä elson maallittamisprosessissa.

## Kognitio

Sanakirja antaa kognition synonyymeiksi mm. tietoisuus ja tajunta. Kognitiivisten järjestelmien määritelmiä on useita, ja esimerkiksi yleisesti hyväksyttyä määritelmää kognitiivisesta radiosta on yritetty saada aikaiseksi jo toistakymmentä vuotta, mutta kaikkien toimijoiden hyväksymää määritelmää ei ole. Kansainvälisen viestintäliiton (ITU) määritelmä vuodelta 2009 on seuraava:

”Kognitiivinen radiojärjestelmä (CRS): Radiojärjestelmä, joka käyttää teknologiaa, joka antaa järjestelmälle mahdollisuuden saada tietoa sen toiminta- ja maantieteellisestä ympäristöstä, vakiintuneista toimintatavoista ja sisäisestä tilasta; voidakseen säätää dynaamisesti ja itsenäisesti sen toimintaparametreja ja protokollia saatujen tietojen perusteella, ennalta määriteltyjen tavoitteiden saavuttamiseksi; ja oppia saaduista tuloksista.”

ITUn määritelmästä voi poimia piirteitä, joita kognitiivisessa järjestelmässä tulisi olla. Ensimmäinen piirre on tietoisuus

omasta toimintaympäristöstä ja oman toiminnan säätäminen itsenäisesti saatujen tietojen mukaan. Toinen piirre on oppiminen saaduista tuloksista. Näitä kahta piirrettä voidaan sanoa tietoisuudeksi.

Kognitiivisuus voidaan asettaa janalle (kuva 1), jossa toinen ääripää on manuaalinen toiminnan säätö ja toisessa päässä on kognitiivisuus.

Manuaalisessa toiminnassa järjestelmän operaattori luokittelee lähetteen ja tekee kaikki valinnat itse. Jos esimerkiksi säädetään vastaanotinta, valitsee operaattori itse ilmaistavan modulaation ja kaistanleveyden. Automaattinen järjestelmä osaa itse etukäteen ohjelmoitujen parametrirajojen avulla luokitella lähetteen mutta saattaa tarvita vielä operaattorin apua. Varhaiset signaaliluokittelijat olivat rakenteeltaan puumaisia, joissa signaali ominaisuuksiensa mukaan luokiteltiin yleensä muutamana yksittäisen parametrin avulla.

Autonominen järjestelmä kykenee tekemään valintoja itsenäisemmin, mihin on päästy käyttämällä koneoppimista, joka ei ole rajoitettu muutama parametrisiin. Koneoppimisen avulla signaali voidaan luokitella moniulotteisemmin.

Kognitiivinen järjestelmä voidaan nähdä autonomisen järjestelmän seuraavana askeleena, eli järjestelmä oppii ennen näkemästään tai osaa tehdä omia päätelmiä joutuessaan uuteen tilanteeseen. Alemman asteen järjestelmät vaativat uusien sääntöjen luomisen, ennen kuin voidaan toimia tuntemattomassa tilanteessa. Sääntöjen tekemiseen tarvitaan silloin operaattoria eli ihmistä osana toimintaketjua.



Kuva 1. Järjestelmän kognitiivisuusjana.



## Teknologian kehittyminen

Kognitiivisen elson kehittämiseen ajaa useampi teknologian kehitymisestä johtuva muutostekijä. Yhtenä muutostekijänä voidaan nähdä radiotaajuuksien konvergenssi, jolla tarkoitetaan radiotaajuuksien tehokkaampaa tai dynaamisempaa käyttöä. Radiotaajuuksia on perinteisesti jaettu käyttöön käyttäjän tai käyttötarkoituksen mukaan ottamatta huomioon sitä, miten tehokkaasti spektriä käytetään. Radiotaajuinen konvergenssi murtaa perinteiset rajat tietoliikenteen ja tutkien välillä. Perinteisesti järjestelmiä on rajattu taajuuden ja etäisyyden avulla. Nykyään voidaan käyttää ohjelmistopohjaisia kognitiivisia järjestelmiä, jotka käyttävät sähkömagneettista spektriä tehokkaammin hyväkseen. Samalla voidaan tehdä aaltomuotoja, jotka eivät häiritse toisia käyttäjiä.

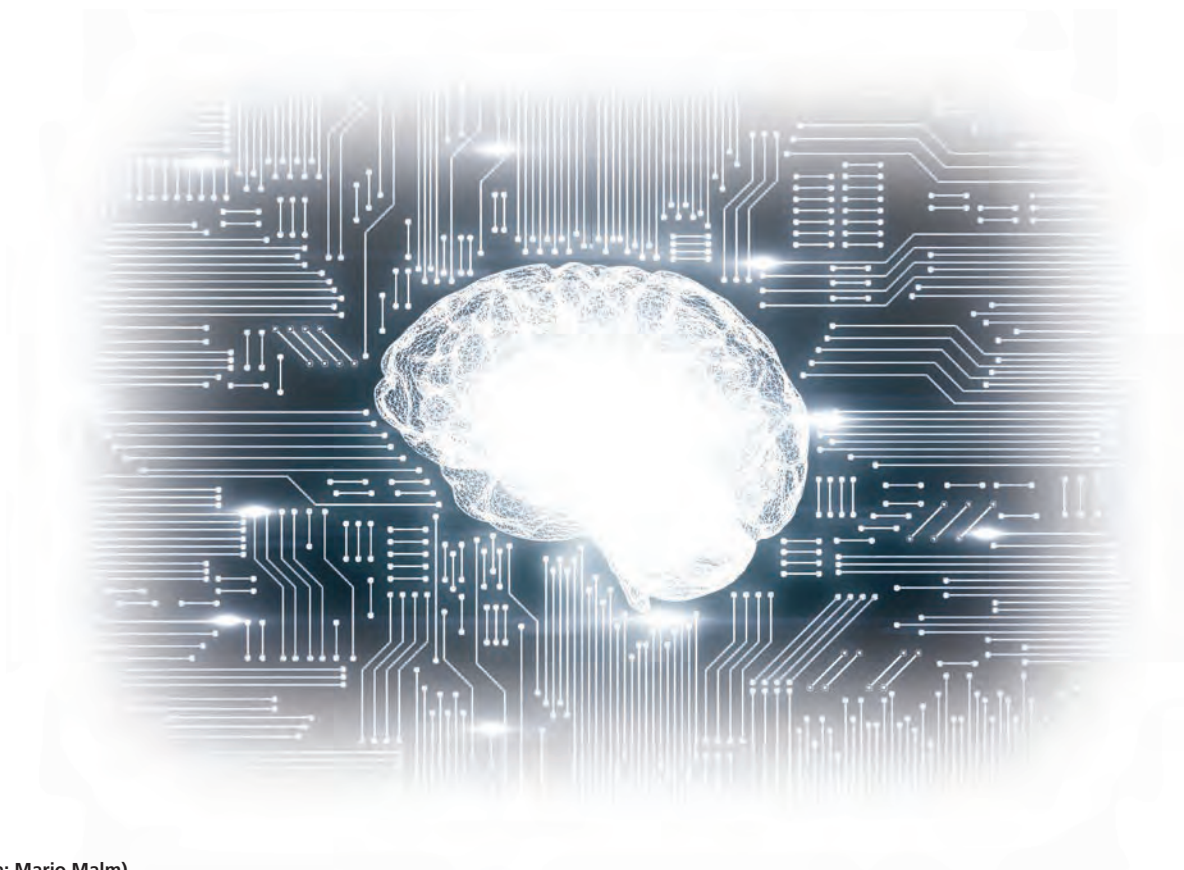
Ohjelmistoradiot voivat olla pohjana monitoimijärjestelmille, esimerkiksi samalla järjestelmällä voidaan hoitaa tietoliikenne, tutkan eri moodeja, elektronista tiedustelua ja elektronista vaikuttamista. Antenniteknikan puolella ovat yleistyneet aktiivisesti sähköisesti ohjatut antennit (AESAs, Active Electronically Scanned Array). Antennien avulla keilan suunta voidaan muuttaa hetkessä, jolloin tutkaa ei voi tunnistaa perinteisesti keilauksen perusteella. Modernit tutkat ovat tietoisia ympäristöstään, joten ne voivat ottaa huomioon ympäristön esteet: maastomallin avulla esimerkiksi lentokoneet eivät lähetä tutkapulsseja pidemmälle kuin maastoesteeseen

asti. Dynaaminen tehonkäyttö voi vaikeuttaa tutkan seurantaan elektronisen tiedustelun näkökulmasta. Perinteisesti tutkat on tunnistettu vertaamalla tutkasta mitattuja parametreja tietokantaan, mutta tulevaisuuden tutkat voivat muuttaa aaltomuotoaan dynaamisesti ympäristön mukaan.

Kaikki edellä mainitut aiheuttavat haasteita elsolle. Näiden lisäksi laitteiden pieneneminen ja laskentatehojen lisääntyminen tuovat enemmän elso-kykyjä taistelukentälle. Laitteiden koko ja pienentynyt tehontarve mahdollistavat niiden käytön jo pienissäkin lennokeissa. Tiedustelulaitteiden hinnat halpenevat, joten sensoreita voidaan käyttää kertakäyttöisesti tai sellaisilla alustoilla, joilla niitä ei aikaisemmin ole ollut, esimerkiksi taisteluaajoneuvoissa.

## Elsomaalittamisketjussa

Tulevaisuudessa tekoälyllä, kuten koneoppimisella ja neuroverkoilla, voidaan parantaa elson käytettävyyttä ja nopeutta maalittamisketjussa. Maalittamisketju voidaan nähdä joko yleisenä maalittamisena tai vain elso-maalittamisena. Tässä yhteydessä tarkastellaan elso-maalittamista. Dynaamisen maalittamisen malli on julkaistu viimeksi Yhdysvaltojen puolustushaarakomentajiston neuvoston (Joint Chiefs of Staff) julkaisussa Joint Fire Support (JP 3-09). Mallia (kuva 2), joka tunnetaan myös nimellä 'Kill-chain', voidaan käyttää esittämään eri vaiheita havainnoista vaikutusten arviointiin.



(Kuva: Mario Malm)



Kuva 2. Dynaamisen maalittamisen malli. (Grafiikka: Nooa Savukoski)

Eri vaiheissa tehtävät toiminnot:

1. Find – tehdään pohjatyö, kartoitetaan ympäristöä ja havaitaan kohde, joka voi olla oma, neutraali tai vihollinen.
2. Fix – paikannetaan ja tunnistetaan kohde omaksi, neutraaliksi tai viholliseksi.
3. Track – havainnoidaan ja seurataan kohdetta, joka voi olla oma, neutraali tai vihollinen.
4. Target – maalitetaan vihollisen kohde.
5. Engage – vaikutetaan kohteeseen.
6. Assess – arvioidaan vaikutus.

Ensimmäisessä vaiheessa tekoälyllä voidaan autonomisesti tehdä modulaation ja protokollan tunnistusta, mitä voidaan käyttää hyväksi spektrin kartoituksessa. Liikkuvassa sodankäynnissä maantieteellinenkin sijainti aiheuttaa muutosta elektronisessa taisteluympäristössä, jolloin operaattorin tulee olla jatkuvasti tietoinen spektrissä olevista lähteistä. Vaikeutena on tietää, mitkä lähteet ovat ns. normaaleja tai neutraaleja lähteitä spektrissä ja mitkä omia tai vihollisen. Tulevaisuudessa nähdään mahdolliseksi myös ennustaa kognitiivisen lähettimen käytöksestä, mitä se on seuraavaksi tekemässä.

Toisessa vaiheessa koneoppimisen ja neuroverkkojen avulla voidaan tunnistaa laiteperheitä ja jopa yksilöitä, ainakin rajatusti ajallisesti tai maantieteellisesti. Tällä hetkellä koneoppimisella voidaan seurata verkkoja lähetysvuorojen mukaisesti, mutta jos kohteet liikkuvat, verkkojen ylläpito on hankalaa ilman sormenjälkitunnistusta.

Kolmannessa vaiheessa voidaan tekoälyllä seurata kohteen käyttäytymisen muutoksia joko ajallisesti tai parametrimuutoksia ja ennustaa, mitä on tapahtumassa. Samalla voidaan tutkia aaltomuotoa ja tehdä vasta-aaltomuoto.

Maalittaminen tehdään sitä kohdetta vastaan, jolla saadaan aikaiseksi paras haluttu vaikutus kokonaisuuden kannalta. Tekoäly auttaa aikaisemmin kerätyn elektronisen tilannekuvan perusteella parhaiden maalien valitsemisessa.

Vaikuttamisen yhteydessä käytetään aikaisemmin analysoituja parametreja ja luotua aaltomuotoa hyväksi elektroniseen vaikuttamiseen. Vaikutusten arviointi voidaan tehdä yhtäaikaisesti vaikuttamisen kanssa, jos käytetään in-band full-duplex -tekniikkaa (IBFD). IBDF-tekniikalla tarkoitetaan tietoliikenteessä järjestelmää, jossa esimerkiksi kaksi radiota liikennöi samalla taajuudella yhtä aikaa. Tätä tekniikkaa hyväksi käyttäen päästään eroon tarpeesta käyttää erillistä vastaanottoasemaa vaikutusten arviointiin eikä häirintäaseman tarvitse keskeyttää häirintää arvioidakseen itse oman häirintän vaikutusta.

Viimeisessä vaiheessa voidaan arvioida laajemmin koko ketjun toimivuutta tai vaikuttamisen tehokkuutta. Maalittamisketjusta on huomioitava, että se on yksinkertainen malli, jossa voidaan palata taaksepäin ja useasta vaiheesta on takaisinkytkentä muihin vaiheisiin.

### Missä on kognitiivisuus?

Vielä ei kuitenkaan ole päästy kognitiivisuuteen laajassa merkityksessä. Edellä kuvattiin lähinnä teknologian ja tekoälyn tuomia mahdollisuuksia autonomiseen toimintaan, jossa on pieniä kognitiivisia piirteitä. Kokonaisuuteen on vielä saatava elektronisen toimintaympäristön tilannekuva ja kokonaisuuden tilannekuva taistelulentästä. Näiden perusteella tekoäly voi luoda kytkentöjä toimintaan, ennustaa toiminnan etenemistä ja oppia näkemästään.

#### Kirjoittaja:

Insinööri Anders Furu toimii tutkimusalojohtajana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen informaatiotekniikkaosastossa elektronisen sodankäynnin tutkimusalalla.

# Tulevaisuuden tutkat

**Tutkatekniikan viimeaikaisesta kiihtyneestä kehityksestä huolimatta monostaattiset (yksipaikkaiset) tutkajärjestelmät ovat toistaiseksi säilyttäneet asemansa keskeisenä tilannekuvaa tuottavana sensorina. Osittain tätä on edesauttanut niiden riittävä kyky tuottaa tarvittavaa tietoa, mutta myös teollisuuden haluttomuus tuotteistaa tutkimuksellisia sensorikonsepteja. Tutkatekniikan kehityksen kannalta nämä tekijät eivät kuitenkaan ole hidastaneet aihealueeseen liittyvää tutkimus- ja kehitystyötä.**

Tutkatekniikan ja siihen vahvasti kytköksissä olevien tieteenalojen akateeminen tutkimus on, pienen hiljaisemman jakson jälkeen, taas selkeässä kasvussa. Mahdollistavien teknologioiden kehityksellä on ollut selkeä vaikutus uusien tutkakonseptien syntyyn. Merkittävänä tekijöinä tutkateknologian kehitykseen ovat vaikuttaneet siviili- ja militäärisovelluksissa tarpeet tarkoille, halvoille ja kompakteille järjestelmille: Siviiliapuolen kehitystä ovat etunenässä vieneet eteenpäin autoteollisuuden tarpeet sekä miehittämättömien järjestelmien vaatimukset. Militääriapuolen ajavina tendensseinä on puolestaan toiminut häiveteknologian ja häirintätekniikoiden kehitys.

Häirintämenetelmien kehittyminen ja taajuuspektrin ruuhkautunut käyttö ovat jo nyt ohjanneet tutkajärjestelmien taajuuskäyttötymistä entistä laajakaistaisempaan suuntaan. Tämä trendi tulee jatkossakin säilymään, sillä leveä taajuuskaista mahdollistaa korkean erottelukyvyn niin valvontasovelluksissa kuin kuvantavilla järjestelmilläkin sekä vähentää tutkajärjestelmään kohdistuvien häirintämenetelmien tehokkuutta.

Laajakaistaisuuden lisäksi tulevaisuuden toimintakykyvaatimukset ohjaavat järjestelmiä kohti monikäyttöisiä RF-alustoja. Näissä kokonaisjärjestelmissä tutkatoiminnot ja viestiliikenneominaisuudet sekä näihin molempiin liittyvät elektronisen sodankäynnin toimet on yhdistetty yhdelle yhteiselle alustalle.

Materiaali- ja valmistustekniikan kehityksellä on myös ollut merkittävä vaikutus järjestelmien toteuttamisessa. Materiaalitekniikan puolella etenkin galliumnitridi (GaN) on mahdollistanut aiemmin käytettyjä puolijohdemateriaaleja tehoitehämpien sekä taajuus- ja kaistanleveysominaisuuksiltaan kehittyneempien lähetyksen vastaanottimien valmistuksen. Elektroniikkakomponenttien, radiotaajuisten moduulien sekä magneettisten materiaalien 3D-tulostus tulee jatkossa vaikuttamaan järjestelmien kokoon ja skaalautuvuuteen sekä järjestelmien hintaan.

Seuraavassa tarkastellaan tutkatekniikan nykytrendejä ja kehityksen aikaansaamia järjestelmiä sekä tulevaisuuden näkymiä militäärinäkökulmasta.

## Bi- ja multistaattinen tutka

Bistaattisessa tutkajärjestelmässä tutkan lähetin ja vastaanotin on hajautettu kahteen eri paikkaan. Lähettimestä maaliin ja siitä vastaanottimelle heijastuneen signaalin aikaviiveen avulla kohteelle voidaan määritellä avaruudellinen sijaintiellipsi. Kohteen paikka ellipsillä voidaan ratkaista lisäinformaation ja laskennan avulla. Lisääntynyt laskentateho ja matemaattisten algoritmien kehittyminen onkin tärkein yksittäinen mahdollistava tekijä monipaikkatutkien kehityksessä.

Multistaattinen tutkajärjestelmä on eräänlainen jatkumo bistaattiselle tutkajärjestelmälle. Multistaattisessa tapauksessa tosin kokonaisjärjestelmä voi koostua myös useasta toisistaan erilleen sijoitetusta mono- tai bistaattisesta tutkakomponentista, joilla on yhteinen havainnointitilavuus. Järjestelmän toimivuuden kannalta merkittävänä tekijänä voidaan pitää osajärjestelmien välistä datafuusiota. Kehittynyt datafuusio mahdollistaa maalin tarkan sijainnin selvittämisen lisäksi esimerkiksi maalin eri heijastuspinoilta tulevan vasteen samanaikaisen tarkastelun.

## Passiivinen tutka

Passiivinen tutka on bi- tai multistaattinen järjestelmä, jossa ei ole omaa lähetintä. Järjestelmä vastaanottaa valvontatilavuudessa olevista kohteista heijastuneita muiden radiolähettimien signaaleita. Signaalilähteinä voidaan käyttää esimerkiksi yleisradio- tai TV-signaaleja niiden suuren tehon ja jatkuvan saatavuuden vuoksi. Koska passiivisessa tutkassa lähettimen signaalia ei ennalta tunneta, tarvitaan maalitylanteen ratkaisemiseksi heijastuneen signaalin lisäksi tieto eri lähettimien kullakin ajanhetkellä lähettämistä aaltomuodoista.

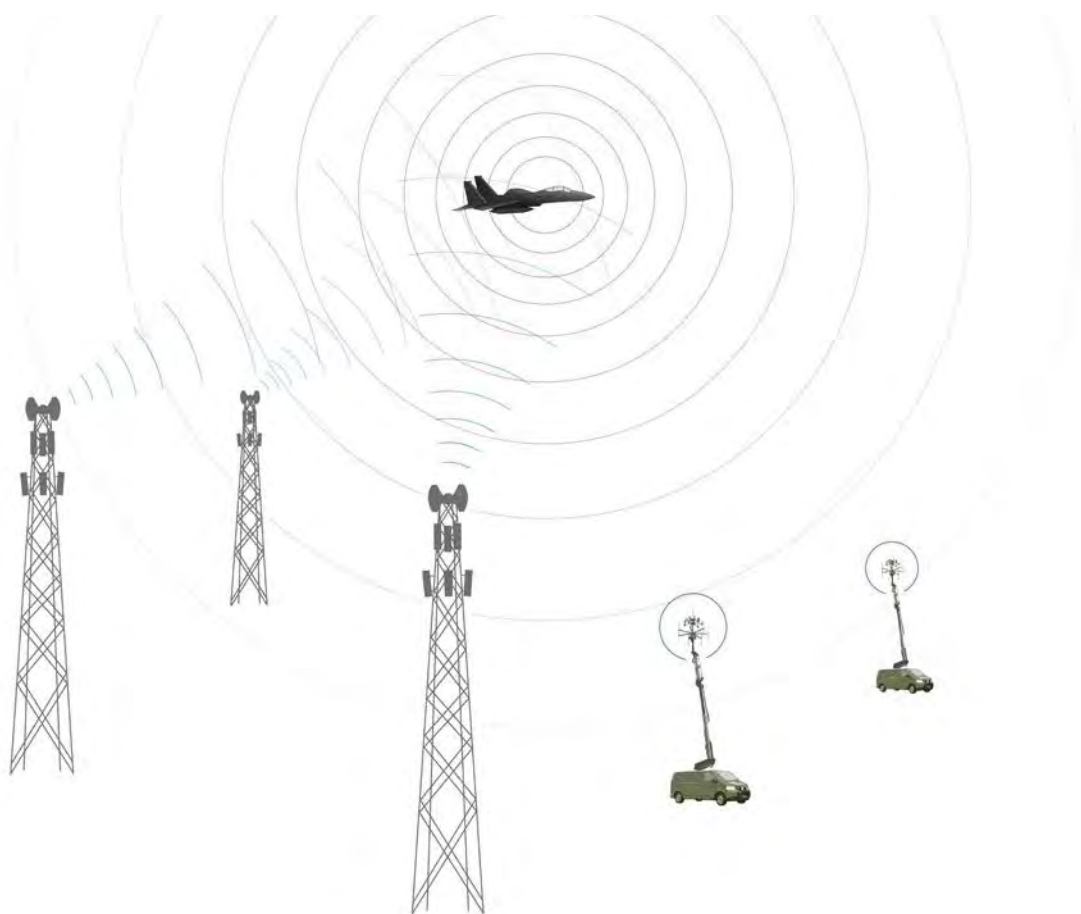
Passiivisen tutkajärjestelmän komponentteja voidaan myös asentaa liikkuvalla alustalla. Liikkuvia voivat olla joko lähetin, vastaanotin tai molemmat. Lähettimen tai vastaanottimen liike luonnollisesti lisää laskennan kompleksisuutta kiinteään järjestelmään verrattuna. Tällaiset monimutkaiset liikkuvat järjestelmät luovat lisävaatimuksia tulevaisuudessa mm. signaalin- ja datankäsittelylle, integroiduille radio-osille ja satelliittiriippumattomille paikannus- ja synkronointiratkaisuille.

Passiivitutkan tärkein etu on se, että se ei lähetä mitään radiosäteilyä, jonka perusteella sen sijainti tai edes olemassaolo voitaisiin havaita. Sen vuoksi se on erittäin vaikea löytää ja tuhota. Tämä etu vaarantuu, jos passiivitutka kuitenkin käyttää radiolinkkiä datansiirtoon. Jos tutka halutaan täysin näkymättömäksi, sen datansiirto pitää tehdä kaapelilla, jolloin puolestaan sen sijaintia ei helposti voi muuttaa. Rajoitettu liikkuvuus puolestaan heikentää suorituskykyä ja altistaa tutkan vastatoimille.

Koska passiivinen tutka käyttää saatavilla olevia järjestelmän ulkopuolisia radiolähteitä, eivät signaalit ole tutkatoiminnan kannalta optimaalisia. Niitä ei välttämättä ole myöskään saatavilla niillä alueilla, joilla tutkaa halutaan käyttää. Tämä rajoittaa toiminta-aluetta, ja kattavuuden maksimoimiseksi tutkan olisi kyettävä toimimaan useilla erilaisilla signaaleilla. Valvontatehtävän laatuvaatimukset sanelevat valaisusignaaleille kuitenkin reunaehdoja. Saatavuus ja lähetysteho eivät yksinään määrittele laatukriteereitä, vaan keskeisimpänä tekijänä vaikuttaa aaltomuodon ominaisuuksien soveltuvuus tutkavalvonnan tarpeisiin. Passiivisen tutkan erikoistapaus, ns. liftaritutka, hyödyntää muiden tutkajärjestelmien emittoimia signaaleja.

Passiivisella tutkalla on mahdollista helpottaa häivekoneiden havaitsemista kahdesta syystä. Ensinnäkin passiiviselle tutkalle sopivimmat valaisusignaallilähteet toimivat usein matalilla taajuuksilla, kun taas nyt käytössä olevien lentokoneiden ja laivojen häiveominaisuudet on suunniteltu korkeataajuisia valvontatutkia varten. Perinteisesti valvontatutkat toimivat taajuusalueella 2–12 GHz käyttötarkoituksen mukaan, kun taas ensimmäiset ilma-valvontaa tukevat passiivitutkajärjestelmät käyttävät FM-radion ja digitaalitelevision signaaleita, jotka toimivat alle 700 MHz:n taajuuksilla. Radiokaikua vaimentavat pinnoitteet ja muotoilu ovat hyvin taajuusriippuvaisia eivätkä toimi hyvin enää kaksin- tai kymmenkertaisella aallonpituudella. Niinpä tällä hetkellä käytössä olevissa häivekoneissa havaittavuus paranee, kun tutkan taajuus muuttuu merkittävästi alemmaksi. Tulevaisuudessa nähtäväksi jää, miten laajakaistaiseksi materiaalit ja tekniikat kehittyvät.

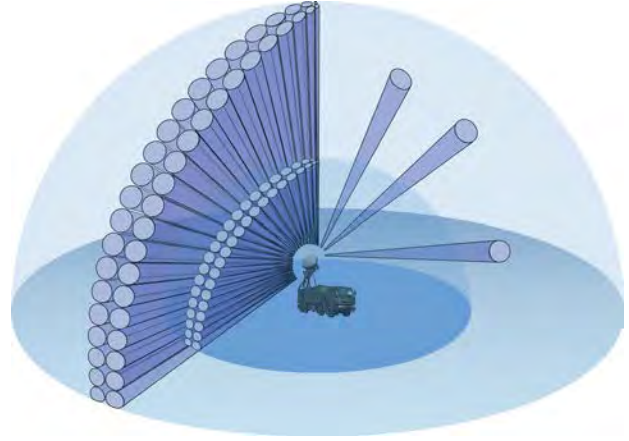
Toisekseen passiivitutkan heijastussuunta on erilainen kuin yksipaikkatutkassa. Kun kohteen radiokaikua halutaan pienentää, se tarkoittaa käytännössä sitä, että kohteeseen osuva radiosignaali halutaan heijastaa muualle kuin takaisin lähettimelle. Muuhun suuntaan tehoa siis heijastuu enemmän. Tämä sopii passiivitutkalle, jonka vastaanotin tyypillisesti sijaitsee aivan muualla kuin lähettimen luona.



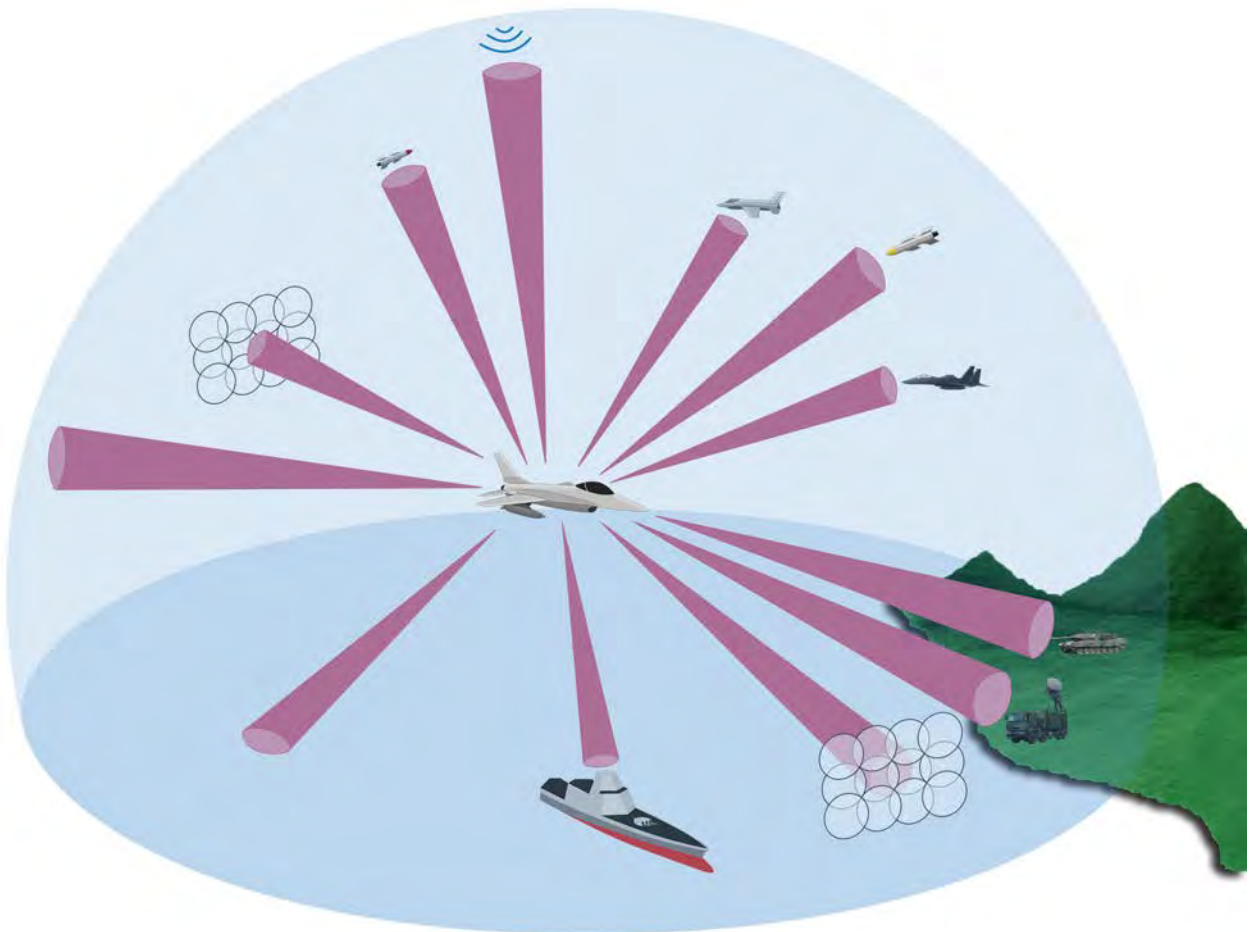
Multistaattinen passiivitutka. (Kuva: Mario Malm)

## AESA – Aktiivinen sähköisesti ohjattu ryhmä

AESA-antennien (Active Electronically Steered Array) kehitys on mahdollistanut pienempien vaiheohjattujen antenniryhmien käytön entistä korkeammilla taajuuksilla (mm-taajuuDET) ja suuremmalla resoluutiolla. AESA:n rakenne perustuu vaiheohjattuun antenniryhmään, jossa kukin antennielementti on liitetty pieneen puolijohdelähetin-vastaanottiin. AESA:n antennielementteihin liitetyt lähetin-vastaanotinmoduulit ovat periaatteessa hyvin suorituskykyisiä ohjelmistoradiomoduuleja (SDR – software defined radio). Jokaista lähetin-vastaanotinta voidaan ohjata yksilöllisesti, mikä mahdollistaa useamman erillisen antennikeilan ja taajuuden samanaikaisen käytön. AESA eroaa passiivisista vaiheohjatuista antenniryhmistä siinä, että passiivisissa vaiheohjatuissa antenniryhmissä koko ryhmä on yhdistetty yhteen lähetin-vastaanottiin ja keilanmuodostus saadaan aikaan säätämällä ainoastaan antennielementeille menevän signaalin vaiheistusta. Passiivisella vaiheohjatuilla antenniryhmällä voidaan aikaansaada vain yksi antennikeila kerrallaan.



AESA-antenni kykenee usean toisistaan riippumattoman antennikeilan samanaikaiseen käyttöön. (Kuva: Mario Malm)



AESA-antenni kykenee suorittamaan samanaikaisesti monta eri etsintä- ja seurantatoimintoa. (Kuva: Mario Malm)

## MIMO – Multiple-input multiple-output

Edistysaskeleet digitaalisen signaalikäsittelyn ja aaltomuotogeneroinnin teknologioissa ovat mahdollistaneet MIMO-tutkajärjestelmien kehityksen. MIMO on tietoliikenteessä jo pitkään käytetty järjestelmätason menetelmä, jossa samaa taajuusresurssia voidaan käyttää useammalla lähettimellä samanaikaisesti. Tietoliikenteessä menetelmä mahdollistaa taajuuskaistan siirtokapasiteetin kasvattamisen. Tutkatekniikan puolella tämä toiminnallisuus mahdollistaa mm. usean maalin seurannan samalla taajuusresurssilla tai yhden maalin valaisun usealla erilaisella aaltomuodolla. Terminologisesti MIMO voidaan ymmärtää usean lähettimen ja vastaanottimen muodostamana kokonaisjärjestelmänä, jossa paikka-, radiokanava- ja aaltomuotodiversiteetin avulla useat samantaajuiset lähetteet voidaan laskenta-algoritmeja käyttäen erottaa toisistaan vastaanottimilla. MIMO terminä ei määrittele kokonaisjärjestelmän aktiivisuutta tai passiivisuutta eikä myöskään yksi- tai monipaikkaisuutta.

## Kognitiivinen tutka

Järjestelmien automatisointitason kasvaessa esille on noussut ajatus kognitiivisista kokonaisjärjestelmistä. Myös tutkatekniikan yhtenä merkittävänä tulevaisuuden kehityskohteena pidetään tutkajärjestelmää, jonka toiminta perustuu kognition havainto-toiminta-ketjuun. Tällaisessa järjestelmässä järjestelmän osat aistivat ympäristöään ja pyrkivät oppimaan siitä toiminnalle tärkeitä parametreja. Opitun perusteella järjestelmä adaptoi toimintansa optimaalisesti suoritettavan tehtävän suhteen. Paradigma on validi niin aktiivisille kuin passiivisillekin järjestelmille. Järjestelmän kognitio voidaan ymmärtää mm. kykynä havainnoida lähetteitä taajuusspekt-rissä ja havaitun perusteella valita oma toimintataajuus ja lähetysignaali minimoiden toimintaan vaikuttavat häiriöt. Muita kognition ilmentymiä ovat mm. kyky vaihtaa lähetettä, jotta saavutetaan haluttu havainto- tai seurantatarkkuus sekä vastaanottimen kyky valita lähetteistä tehtävän lopputuloksen maksimoivat signaalit.

## Kvanttitekniologia tulee – vai tuleeko?

Kvanttilaskenta on kiivaan tutkimus- ja kehitystyön alla. Kvanttikoneiden arvellaan moninkertaistavan laskentatehon, mutta epäselvää on se, milloin ja miten tämä tulee toteutumaan. Kvanttitekniologia perustuu toisiinsa lomittuneiden kvanttien tilan muutoksiin ja vaatii erilaisen laitteiston ja laskentamenetelmät kuin radiotaajuiset järjestelmät. Tutka-puolella odotetaan lisäksi kvanttitutkaa, joka pystyy havaitsemaan kohteen myös kohinaisissa olosuhteissa. Teoriassa kvanttitutka mahdollistaisi häivekoneiden havaitsemisen ja olisi huomattavasti immuunimpi häirinnälle. Kvanttitekniologian perusteet ovat vielä kuitenkin rakenteilla, ja tutka siintää vasta kaukana horisontin takana.

Kaiken kaikkiaan tulevaisuuden tutka on yhä monimutkaisempi yhdistelmä edistynyttä matematiikan, fysiikan, signaalinkäsittelyn, ohjelmoinnin, elektroniikan ja antennitekniikan uusinta osaamista. Alan kehitys ottaa lähivuosinakin suuria harppauksia, kun tutkimuspanostus etenkin siviilise-velluksiin on kasvanut merkittävästi.

### Kirjoittajat:

Diplomi-insinöörit Jarno Alm ja Kati Kuusisto toimivat tutkijoina Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen informaatiotekniikkaosastossa radiotaajuisien sensorijärjestelmien tutkimusalalla.

# Suojan kokonaisuuden tarkastelu

Sodankuva muuttuu teknologian kehittyessä. Perinteisen taistelukentän sijaan sotaa käydään myös ei-fyysisissä toimintaympäristöissä, kuten cyber- ja avaruustoimintaympäristöissä. Suojan kokonaiskonseptitutkimuksessa tarkastelimme, miten puolustusjärjestelmän tulisi suojautua moniulotteisessa toimintaympäristössä.

Suojan kerroksisuutta ja suojan vaatimuksia vihollisen toiminnan eri vaiheissa kuvataan perinteisesti suojan sipulilla. Eri kerroksia on tarkasteltu erillisinä tai esimerkiksi yksittäisen lavetin kannalta. Suojan kokonaisuus on tällöin jäänyt vaikeasti hahmotettavaksi möhkäleeksi tai liukkaaksi mustekalaksi, josta ei ole saatu otetta ja jonka lonkerot kuitenkin levittäytyvät koko puolustusjärjestelmän tasolta jokaiseen yksittäiseen taistelijaan asti.

Tutkimuksen aluksi pilkoimme suojan sipulin eri menetelmiin, jotta niiden merkitystä voitaisiin analysoida moniulotteisessa toimintaympäristössä. Kukin menetelmä kuvattiin omalla kortillaan, ja niin suojan sipulista tuli suojan korttipakka. Kyseisestä korttipakasta muodostui keskeinen osa suojan sotapeliä, jossa tavoitteena oli etsiä optimaalisia ja kustannustehokkaita suojaratkaisuja tulevaisuuden taisteluun. Peli osoitti, että kun kehitetään toimintatapoja ja rakennetaan menetelmiä tulevaisuuden tiedustelu- ja vaikuttamisjärjestelmiä vastaan, voidaan parantaa puolustusjärjestelmän selviytymiskykyä merkittävästi.

## Suojan vaatimukset sodankäynnin nopeutuessa ja koskettaessa koko yhteiskuntaa

Nykypäivän sota on nopeatempoista: joukkojen liike, tiedon liikkuminen ja asevaikutus ovat entistä nopeampia. Vihollisen nopea toiminta haastaa valmiutemme, kykymme vastata uhkaan sekä johdon päätöksentekokyvyn. Uudet teknologiat ja erityisesti tiedustelu- ja valvontasensoreiden sekä vaikuttamisjärjestelmien kehittyminen asettavat suojalle entistä kovempia vaatimuksia.

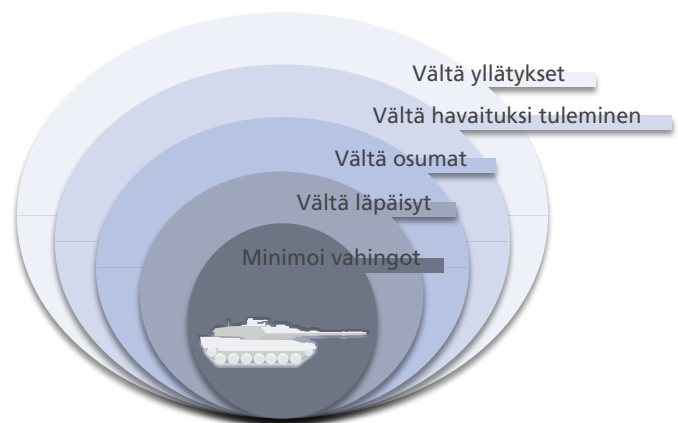
Koko yhteiskunta on verkottuneempi ja haavoittuvaisempi. Ihmiset ovat yhä riippuvaisempia infrastruktuurista, kuten vedestä, sähköstä, kaukolämmöstä, tietoliikenteestä ja kuljetuksista. Tavanomaisen sodankäynnin ohella on varauduttava erikoisjoukkotoimintaan ja epätavanomaiseen sodankäyntiin, kuten sabotaseihin, verkkohyökkäyksiin ja informaatio-opeeraatioihin.

Sensoriteknologian kehitys vaikeuttaa piiloutumista. Jokaisella sensorilla on rajoitteita, eikä mikään niistä yksin kyke-

ne tuottamaan koko tilannekuvaa. Suojautumista vaikeuttaa kuitenkin sensoreiden ja niiden tuottaman tiedon verkottuminen. Suojautuminen edellyttäisi yhä tarkempaa kaikkien kohteen herätteiden piiloutumista taustaan. Vaihtoehtona on piiloutua näkyville eli tekeytyä joksikin muuksi tai luoda ympärilleen mittava määrä samankaltaisia kohteita, jolloin vastustajan päätöksenteko vaikeutuu.

Aseteknologian kehitys parantaa ensisijaisesti osumatarkkuutta ja kantamaa. Ihmisen jättäminen pois lavetista ja autonomian hyödyntäminen mahdollistavat pienet, ketterät ja nopeat järjestelmät, joiden avulla voidaan valvoa alueita ja käyttää tulta. Tekoäly opetetaan toimimaan käyttötarkoituksensa mukaisissa ympäristöissä, olosuhteissa ja tilanteissa. Opetettujen tilanteiden ulkopuolella keinoäly ei kuitenkaan kykene samaan joustavuuteen ja luovuuteen kuin ihminen. Koneet eivät kaihda riskejä eivätkä väsy, mutta ihminen tulee todennäköisesti sekä teknisistä että eettisistä syistä pysymään päätöksentekijänä osana järjestelmiä.

Uusien uhkien keskellä suojan on mahdollistettava johtaminen, joukkojen perustaminen sekä joukkojen selviytyminen taisteluun ja taistelussa. Suojan sipulin (kuva 1) uloimmassa kerroksessa vältetään mm. tiedustelun ja valvonnan keinoin, ettemme joudu yllätetyksi. Seuraavissa kahdessa kerroksessa minimoidaan omien järjestelmien, joukkojen, materiaalin ja informaation havaittavuutta, tunnistettavuutta ja maalitettavuutta esimerkiksi herätteiden hallinnan ja harhauttamisen avulla. Sisimpinä kerroksina ovat läpäisyn välttäminen mm. ballistisella suojalla sekä vihollisen toiminnasta aiheutuneiden vahinkojen minimointi varajärjestelmien tai vauriokorjauskäytön avulla.



Kuva 1. Lavetin suoja kuvattuna suojan sipulilla. (Grafiikka: Nooa Savukoski)

Suojan sipulin ajattelutapaa voidaan hyödyntää myös ei-ki-neettisiin uhkiin. Esimerkiksi informaatioympäristön valvonta sekä tiedonsiirron ja informaation suojaaminen muodostavat samantyyppisen kerroksellisen rakenteen. Tämän todettuamme kuorimme suojan sipulin kerros kerrokselta ja pilkoimme sen osiin. Se sipulin pilkkomisesta tuttu itkukin oli toisinaan lähellä, kun häivetutkijat löysivät itsensä toistuvasti mukavuusalueensa ulkopuolelta. Pilkkotuista loppu-tuotteista eli suojan menetelmistä vain noin kolmasosalla oli kytkös häivetekniikkaan, joten suojan korttipakan aikaansaa-minen edellytti verkostoitumista muihin asiantuntijoihin sekä tutkimuslaitoksen sisällä että muualla Puolustusvoimissa.

### Suojan pelikortit

Suojan kokonaisuus vaatii laaja-alaista asiantuntijaosaamista. Tästä syystä tutkimukselle perustettiin eri alojen asiantunti-joista koostuva ohjausryhmä.

Ohjausryhmä tunnisti 40 eri suojamenetelmää, jotka ryhmiteltiin kahdeksaan kategoriaan: 1) Herätteen hallinnan keinot, 2) Ballistinen lisäsuoja ja linnoittaminen, 3) Harhauttaminen, häirintä ja omasuoja, 4) Varmentaminen, 5) Toiminnalliset suojan keinot, 6) Turvallisuus, valvonta ja vartiointi, 7) Vas-tavaikuttamisen keinot sekä 8) Toipuminen. Suojan 40 me-

netelmästä laadittiin ns. menetelmäkortit, joissa oli otettu huomioon uusien teknologioiden mahdollistama menetelmäkehitys. Tavoitteena oli etsiä suojaratkaisuja myös hiekkalaatikon ulkopuolelta (out of the box). Menetelmäkorttien valmistuttua niistä laadittiin pelivälineiksi tiivistetyt versiot eli suojan korttipakka (kuva 2).

Herätteen hallinnan keskeisin tavoite on saada kohteen aiheuttama signaali eli heräte sensorissa samanlaiseksi kuin taustan aiheuttama signaali eli taustaheräte. Linnoittaminen ja ballistinen lisäsuoja antavat suojaa ennen kaikkea asevai-kutuksilta. Harhauttamisoperaation tavoitteena on yllättää, heikentää vastustajan päätöksentekokykyä ja vähentää vas-tustajan maalittamiskykyä. Harhauttamisen tukena voidaan käyttää häirintää tai omasuojan menetelmiä, kuten savu- ja soihtuja.

Varmentamisen keinoja ovat mm. kriittisten yksiköiden monentaminen ja siirtymiskykyisyyden lisääminen. Suojan toi-minnallisia keinoja ovat liike, liikkeen edistäminen, hajautta-minen, toimintatapojen vaihtelu kaikilla johtamistasoilla sekä ryhmitysmuotojen ja -alueiden vaihtelu. Toipuminen tähtää joukon kriittisten toimintojen palauttamiseen sekä tehtävän jatkumiseen siten, että vihamielisen toiminnan tai onnet-tomuuden vaikutukset on minimoitu. Sekä turvallisuuden,



Kuva 2. Suojan korttipakka sisältää myös jokerikortin.



valvonnan ja vartiointin että vastavaikuttamisen antamaa suojaa voidaan tarkastella vyöhykkeittäin, jolloin ääripäissä ovat ilmavalvonta ja kaukovaikuttaminen sekä toisaalta vartiointi ja matalalla lentävien lennokkien kineettinen torjunta.

### Suojan sotapeli

Tutkimuslaitoksen doktriiniosasto suunnitteli ja fasilitoi analyttisen pöytäpelin (kuva 3), jossa asiantuntijoista koostunut pelaajisto käytti suojan menetelmäkortteja tulevaisuuden toimintaympäristössä ja skenaarioissa. Suojan sotapelissä yhdistettiin menetelmäkorttien ja keskusteluiden avulla tekninen ja operaatiotaidollinen näkökulma. Sotapelin avulla kyettiin saamaan aikaan nopeasti tutkimustuloksia ja samalla rajattiin operaatioanalyttistä tarkastelua. Ilman sotapelin tuloksia esimerkiksi suojan korttipakan 40 kortin kaikkien keskinäisten

riippuvuuksien operaatioanalyttinen tarkastelu olisi erittäin työlästä.

### Tutkimustulosten hyödyntäminen

Suojan sotapeli ja siihen liittyvät analyysit tuottavat perusteita puolustusjärjestelmän kehittämiseksi. Suojaa voidaan parantaa sekä kehittämällä toimintatapoja että hyödyntämällä uusien teknologioiden mahdollistamia materiaaleja ja menetelmiä.

Suojan kokonaiskonseptitutkimus raportoidaan vuoden 2019 aikana. Tutkimuksen tuloksia jalkautetaan myös koulutus- ja harjoituskäyttöön sekä päätetään mahdollisista jatkotutkimus- ja kehittämistarpeista.



Kuva 3. Analyttinen pöytäpeli käsitti erilaisia pelimerkkejä sekä pelitilanteiden pohjustuksia. (Kuva: Ari Virekunnas)

#### Kirjoittajat:

Tekniikan tohtori Antti Tuohimaa toimii tutkimusalojohtajana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen asetekniikkaosastossa häivetekniikan tutkimusalalla.

Filosofian maisteri Tiina Niinimäki-Heikkilä toimii erikoistutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen asetekniikkaosastossa häivetekniikan tutkimusalalla.

Filosofian maisteri Pasi Salonen toimii vanhempana tutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen asetekniikkaosastossa häivetekniikan tutkimusalalla.

# Avaruuden hyödyntäminen

**Avaruus on arkipäiväistynyt, ja vain harmaapäiset vanhukset muistavat USA:n ja Neuvostoliiton kiihkeän kilpailun siivittämän avaruushuuman 1960-luvulta. Silloin tähyiltiin innostuneina tähtiin, mutta nyt ne ovat kadonneet Homo Urbanuksen yötaivaalta. Puolet Maapallon väestöstä asuu kaupungeissa, eivätkä he näe kirkasta tähtitaivasta muulloin kuin sähkökatkon aikana.**

Käytämme avaruudessa olevia laitteita ja sovelluksia uhramatta ajatustakaan avaruustutkimukselle ja -teknologialle. Suorat TV-lähetykset, internet-yhteydet, puhelu sekä talouselämän ja teollisuuden tietovirrat välitetään satelliittien kautta. Kolmella miljardilla kaksijalkaisella on taskussaan älypuhelin, jolla voi kuvata tyhjänpäiväisen videon ja lähettää sen yhdellä pyyhkäisyllä maapallon toiselle puolelle kaverille, joka ei sitä välttämättä tarvitse. Jos satelliitit lakkaavat toimimasta, alkaa maailmanlaajuinen, pakon sanelema ”slowdown”, kun tietoliikennejärjestelmät toimivat rajallisilla kaapeli- ja valokuituyhteyksillä. Silloin maailmanlaajuinen ”somettamisen” vaikeutuminen on ongelmista pienin.

Maata kiersi marraskuussa 2018 lähes 5 000 satelliittia, joista n. 2 000 on toiminnassa. Lähes 800 tietoliikennesatelliittia ja 140 paikannussatelliittia huolehtivat siitä, että tiedämme, mitä tapahtuu ja missä ollaan. Eri maiden puolustusvoimilla on käytössä yli 400 satelliittia tarpeellisia urkinta- ja häirintätoimia varten. Satelliittipaikannus on strateginen kyky, ja siksi suurmailla ja Euroopan unionillakin on omat paikannusjärjestelmänsä. Autoilijan eksyminen merkityllä tiellä on pienempi haitta kuin ohilaukaus kalliilla, satelliittiohjatulla täsmäaseella.

## Liiketoimintaa ja uutta teknologiaa

Avaruusteollisuus on kokenut suuren murroksen, kun kaupalliset yritykset ovat tunkeutuneet suurvaltojen hiekkalaatikoille. Avaruuteen liittyvän liiketoiminnan arvo on nykyisin yli 300 miljardia dollaria, ja sen ennustetaan kolmikertautuvan yli biljoonaan dollariin 20 vuoden kuluessa. Miljardöörit kurkottavat nyt avaruuteen levittämään langattoman tiedonvälityksen ilosanomaa. Amazonin Jeff Bezos, SpaceX:n Elon Musk ja Facebookin Mark Zuckerberg aikovat lähettää avaruuteen tuhansia satelliitteja helpottamaan nykyihmisen tavoitettavuuden elämäntuskaa ja taivuttamaan älylaitteen tuijotuksella miljardien kehitysmaa-asukkaiden niskat pysyvään kumaraan kuten sivistysmaissa.

Pienet satelliitit luokitellaan niiden massan mukaan seuraavasti:

Nimitys	Massa (kg)	Toiminta-aika (v)
Minisatelliitti	100–500	5–10
Mikrosatelliitti	10–100	2–6
Nanosatelliitti	1–10	1–3
Pikosatelliitti	0,1–1	
Femtosatelliitti	< 0,1	< 1

(Grafiikka: Nooa Savukoski)

Pienimmät satelliitit on rakennettu Cubesat-standardin mukaan, mikä on mahdollistanut pienten satelliittien halvemman laukaisun vuodesta 2003 lähtien. ”Kuutiosatelliitit” laukaistaan kiertoradalle vakiomittaisissa kaseteissa, joita mahtuu kymmeniä suuren kantoraketin kyytiin. Yliopistojen tutkimusryhmät ovat hyödyntäneet innokkaasti tätä uutta teknologiaa. Suomalainen Aalto-yliopistokin on ollut eturintamassa jo vuodesta 2010 lähtien. Cubesat-järjestelmän perusrakennuspalikka on litran kokoinen 100 x 100 x 100 mm laite, joka sisältää vain kaikkein tärkeimmät osat: aurinkopaneelit, akun ja virranhallinnan, keskustietokoneen sekä radiolaitteet ja antennit. Lisäpalikoihin laitetaan kamerat ja muut laitteet. Tuo yhden litran yksikkö U (Unit) määrittää edelleen pienten satelliittien kokoa, vaikka suurimmat Cubesatit ovatkin jo 12 U -kokoisia.

Pienten satelliittien käyttöikä matalalla kiertoradalla 160–900 km:n korkeudessa on korkeintaan muutamia vuosia. Niitä on kuitenkin helppo korvata, kunhan laukaisun hinta alenee kohtuulliseksi kaupallisen tarjonnan kasvaessa. Yhden kilogramman vieminen kiertoradalle maksaa nyt likimain 50 000 dollaria, mutta sen odotetaan lähivuosina halpenevan alle 2 000:een, kun SpaceX-yrityksen uudelleen käytettävät kantoraketit Falcon 9 ja Falcon Heavy saadaan käyttöön. 13 maata pystyy lähettämään satelliitteja kiertoradalle omilla kantoraketeillaan, mutta avaruusvaltioita on verrattomasti enemmän. Vuoteen 2019 mennessä jo 88 maata on lähettänyt satelliitin avaruuteen.

## Suomestakin avaruusvaltio

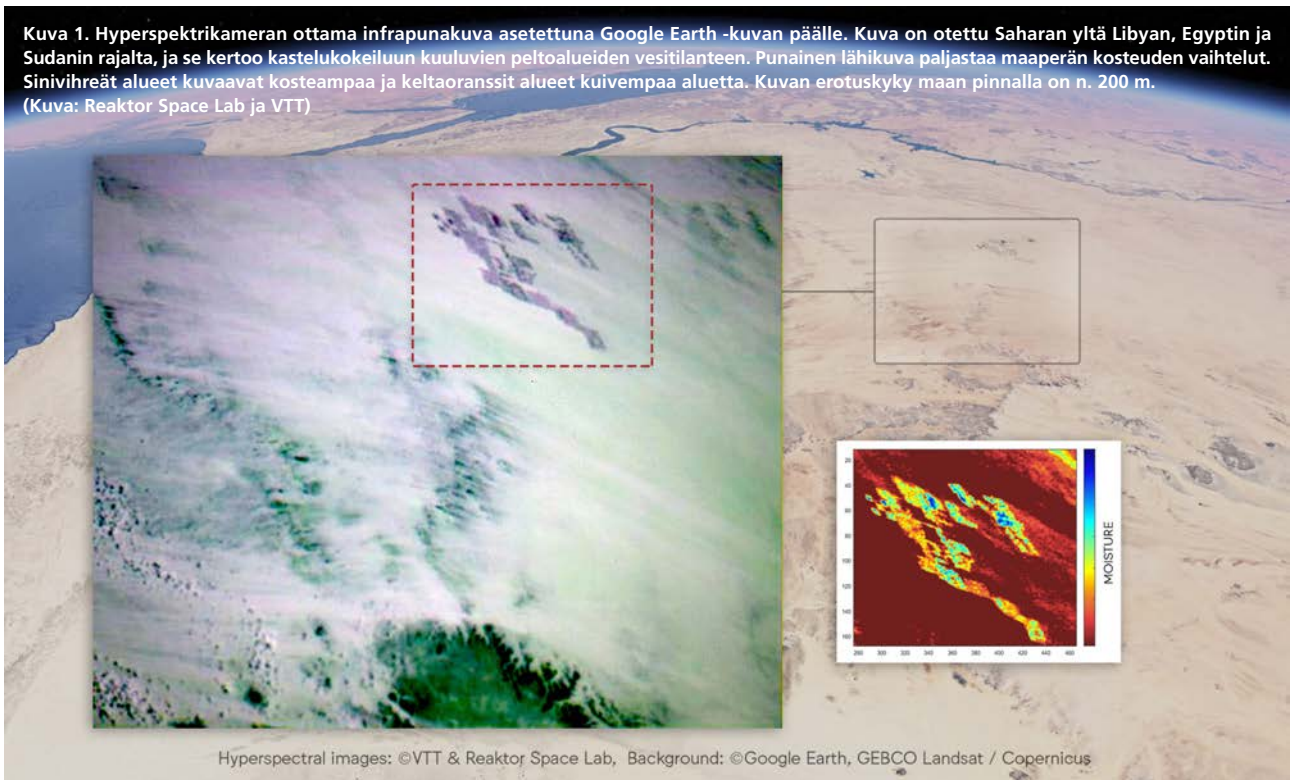
Suomikin siirtyi lopullisesti satelliittivaltiosta avaruusvaltioksi 25.5.2017 Aalto-2-nanosatelliitilla ja virallisesti 12.1.2018, kun laki avaruustoiminnasta (63/2018) tuli voimaan. Loka-kuussa 2019 Maata kiertää yhteensä kuusi suomalaista satelliittia eli Aalto-yliopiston Aalto-1- ja Suomi-100-nanosatelliitit, Iceye Oy:n kolme tutkalla varustettua mikrosatelliittia ja Reaktor Space Lab'in Hello World -nanosatelliitti. Iceye aikoo laukaista vielä kaksi satelliittia vuoden 2019 aikana.

Reaktor Hello World -nanosatelliitti on hyvä esimerkki pienen satelliitin käytettävyydestä. Mehutölkin kokoiseen (2U / 2,4 kg) nanosatelliittiin on asennettu VTT:n kehittämä infrapuna-alueen hyperspektrikamera. Hyperspektrikameran avulla pystytään mittaamaan Maan pinnalta heijastuneen Auringon valon spektri eli aallonpituuksien intensiteettijakauma kuvan jokaisessa pikselissä. Kuvista voidaan seurata mm. kasvillisuuden ja vesistöjen tilaa sekä viljelysten kastelutarvetta (kuva 1). Hyperspektrikameralla etsitään myös mineraaleja maaperästä ja tulevaisuudessa jopa asteroideilta. Nanosatelliittiin sijoitetun kameras erotuskyky maan pinnalla on n. 200 m, joten sillä ei voi havaita pieniä kohteita. Kun tällainen kamera asennetaan sotilaskäytössä lentokoneeseen tai lennokkiin, sillä voidaan etsiä naamioituja kohteita kasvillisuuden seasta.

## Pienempiä satelliitteja ja tarkempaa kuvausta

Pienet satelliitit tulevat myös sotilaskäyttöön, mutta näissä sovelluksissa käytetään nanosatelliittien sijasta 50–300 kg:n mikro- ja minisatelliitteja. Tämä johtuu siitä, että pienimpien nanosatelliittien suorituskyky elektronisessa ja kuvaustiedustelussa ei riitä sotilassovelluksiin. Sotilaalliseen kuvaustiedusteluun tarvitaan alle yhden metrin erotuskyky, joka riittää suurten kohteiden havaitsemiseen ja pienempien kohteiden luokitteluun esim. tietäntyyppiseksi ajoneuvoksi. Näkyvän valon kameralla tällainen erotuskyky edellyttää läpimitaltaan vähintään 250 mm:n objektiivia, jollainen ei mahdu pienimpiin satelliitteihin. Tutka-alueella tällainen rajoitus voidaan kiertää nk. synteettisen apertuurin tekniikalla (SAR, Synthetic Aperture Radar). Siinä satelliitti muodostaa oman liikkeensä avulla virtuaalisesti suuremman tutka-antennin kuin satelliittiin on asennettu. Suomalainen Iceye-yritys on edelläkävijä SAR-tutkatekniikan pienentämisessä ja on onnistunut rakentamaan suorituskykyisen kuvanmuodostavan tutkan alle 100 kg:n mikrosatelliittiin. Ensimmäisen Iceye-satelliitin tutkakuvan erotuskyky oli 10 m, mutta uudemmilla satelliiteilla päästään jopa alle metrin erotuskykyyn pienellä kuvausalueella. Tällaiseen tehtävään on aiemmin tarvittu suuria, satojen miljoonien hintaisia satelliitteja. Tutka-alueen kuvauskyky toimii kaikissa sää- ja valaistusoloissa, joten pilvet, savu, sumu ja pimeys eivät rajoita sitä. Tämä on ratkaisevan tärkeää sotilassovelluksissa.

Kuva 1. Hyperspektrikameran ottama infrapunakuva asetettuna Google Earth -kuvan päälle. Kuva on otettu Saharan yltä Libyan, Egyptin ja Sudanin rajalta, ja se kertoo kastelukokeiluun kuuluvien peltoalueiden vesitilanteen. Punainen lähikuva paljastaa maaperän kosteuden vaihtelut. Sinivihreät alueet kuvaavat kosteampaa ja keltaoranssit alueet kuivempaa aluetta. Kuvan erotuskyky maan pinnalla on n. 200 m. (Kuva: Reaktor Space Lab ja VTT)



Hyperspectral images: ©VTT & Reaktor Space Lab, Background: ©Google Earth, GEBCO Landsat / Copernicus



Kuva 2. Sentinel-2-satelliitin värimosaikkikuva BP:n öljynjalostamosta Brisbanesta. Kuvan erotuskyky on 10 m, eikä sitä ole tarkoitettu tarkkaan kuvaustiedusteluun. Kuva on tässä vertailun vuoksi. (Kuva: Copernicus Sentinel-2) Tarkempaa Google Maps -satelliittikuvaa voi katsoa linkistä: <https://www.google.com/maps/place/Bulwer+Island/@-27.40044,153.1430131,971m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x6b915f6a1219425b:0xd6de2e22d9c341cd18m2!3d-27.4175614d153.1295793>

Kuvassa 2 on Sentinel-2-satelliitin optinen kuva ja kuvassa 3 Iceyen SAR-kuva samasta kohteesta. Kuvia verrattaessa on huomioitava, että Sentinel-2 ei ole varsinainen kuvaustiedustelusatelliitti, vaan se tekee nk. multispektrikuvausta eli kuvaa 13:lla eri näkyvän valon ja lähi-infrapuna-alueen aallonpituuskaistalla. Sentinel-2:n kuva koostetaan mosaikkina useilla eri kaistoilla otetuista kuvista. Kaksi Sentinel-satelliittia kuvaa kaikkialla Maapallon alueella. Yhden ylilennon kuva-ala maan pinnalla on lähes 300 km leveä, ja kuvien erotuskyky on parhaimmillaan noin 10 m. Sentinel-kuvamateriaalia käytetään tässä vertailuun, koska se on vapaasti saatavilla. Monet kuvaussatelliitit tuottavat paljon tarkempaa kuvaa mutta vain rajoitetuilta alueilta. Lisäksi kuvat ovat maksullisia tai niitä ei saa lainkaan.

### Turistimatalle avaruuteen

Varakkaiden matkajien kiinnostus avaruusturismiin on kasvamassa, vaikka sen järkevyydestä ollaan montaa mieltä. Miljardöörit ovat päässeet turistimatalle avaruuteen jo v:sta 2001 lähtien, kun venäläiset aloittivat viikon elämysmatkojen myymisen kansainväliselle avaruusasemalle 20 miljoonan dollarin hintaan. Köyhemmän kansan avaruusmatkailu voi toteutua jo vuonna 2020, kun Richard Bransonin Virgin Galactic -avaruuslentokone tekee ensimmäisen matkustajalentonsa 100 km:n korkeuteen. Suomalainen Vesa Heilala maksoi jo vuonna 2010 etukäteen 200 000 dollaria eli asunnon hinnan kuuden minuutin avaruuslennosta. Lentoa odotellessaan Heilala ajellee lentohaalarissaan avaruusautoksi rakennetulla Fiat Uno -autollaan, jonka rekisteritunnus on osuvasti KUU-1. Myös Leonardo DiCaprio on huhuttu singahtavan tähtitaivaalle Virgin Galacticin siivittämänä, ja Lady Gaga haluaa laulaa avaruudessa. Mahtaako lady tietää,



Kuva 3. Iceye-tutkasatelliitin kuva BP:n öljynjalostamosta Brisbanesta. SAR-kuvan erotuskyky on parempi kuin yksi metri. Öljysäiliöiden metalliset kattorakenteet ja öljyputket tuottavat voimakkaan tutkaheijastuksen. (Kuva: Iceye)

että hänen jumalainen äänensä ei (onneksi!) kannu avaruuden tyhjiössä?

### Avaruusromun ongelma

Lähiavaruuden hiekkalaatikolla on nyt paljon leikkijöitä, joten sinne jää myös paljon rikkoutuneita leluja, joita kukaan ei kerää pois. Vuoden 2019 alussa Maan kiertoradoilla arvioitiin olevan 34 000 yli 10 cm:n kokoista, 900 000 kooltaan 1–10 cm ja peräti 128 miljoonaa alle 1 cm:n kokoista avaruusromun sirpaletta. Kun isot pojat rikkoivat tahallaan omiakin lelujaan eli tuhosivat ohjuksilla omia satelliittejaan, romun määrä kasvoi huimasti, eikä niitä voi haudata avaruuden hiekkaan. Alle 600 km:n korkeudelta avaruusromu kulkeutuu Maan ilmakehään ja tuhoutuu siellä muutaman vuoden kuluessa, mutta jo 800 km:n korkeudessa romu kiertää vuosikymmeniä ja yli 1 000 km:n korkeudessa jopa yli sata vuotta. Jo pienetkin sirut voivat vaurioittaa avaruusaluksia lentäessään 13 500 km:n tuntinopeudella. Suomalaiseen Aalto-1-satelliittiin suunniteltiinkin plasmajarru, jonka avulla toimintansa lopettanut satelliitti ajetaan hallitusti tuhoutumaan ilmakehässä. Ehkä tällaisesta jarrusta tulee vielä joskus pakollinen varuste matalan kiertoradan satelliiteissa.

#### Kirjoittaja:

Filosofian tohtori Paavo Raerinne toimii tutkimusalojohtajana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen asetekniikkaosastossa asejärjestelmien tutkimusalalla.

# Asejärjestelmien käyttöönnottoon liittyviä mittauksia

**Keskuslaboratorio (nykyinen CBRNE-teknologiat tutkimusala) on osallistunut asejärjestelmien käyttöönnottoon liittyviin tutkimuksiin mittaamalla ammunnoissa muodostuvien savukaasujen sisältämien terveydelle haitallisten yhdisteiden (häkä, vetykloridi, typpidioksidi) pitoisuuksia ja käytönaikaisia hiilidioksidin pitoisuuksia. Jos mitatut pitoisuudet jäävät alle työsuojelullisten raja-arvojen, voidaan olla pääsääntöisesti varmoja siitä, että ammunnessa mukana olevat henkilöt eivät altistu näiden yhdisteiden terveydelle haitallisille pitoisuuksille. Jos raja-arvot ylittyvät, on mietittävä keinoja henkilöiden altistumisen estämiseksi. Myös happipitoisuutta on seurattu samalla, sillä se on tärkeää etenkin vaunun sisätiloissa mitattaessa.**

## Haitalliseksi tunnettujen pitoisuuksien mittaaminen

Sosiaali- ja terveystieteiden tutkimuskeskus on julkaissut oppaan HTP-arvot 2018, johon on koottu eri yhdisteiden haitalliseksi tunnetut pitoisuudet. HTP-arvoja voidaan antaa niiden vaikutusten mukaan eripituisille aikajaksoille. Yleensä HTP-arvot annetaan pitoisuuksien kahdeksan tunnin aikapainotettuina keskiarvoina.  $HTP_{8h}$ -arvo voi ylittyä lyhyempinä aikoina, kunhan arvo ei ylitä pitoisuuksien keskiarvoa kahdeksan tunnin ajalta. Aineille, joilla on vaikutuksia jo lyhytaikaisen altistumisen seurauksena, on annettu lyhytaikaisen altistumisen HTP-arvo 15 minuutin aikajaksolle,  $HTP_{15min}$ .  $HTP_{15min}$ -arvoa vastaavia pitoisuuksia ei saa esiintyä enempää kuin kerran tunnissa ja yhteensä enintään neljä kertaa kahdeksan tunnin työvuoron aikana.

Savukaasujen pitoisuuksia on mitattu aiemmin eri menetelmillä ja eri asejärjestelmistä. Savukaasuissa on lukuisia kemiallisia yhdisteitä ja hiukkasia, mutta havaintojen perusteella vain tiettyjen yhdisteiden pitoisuudet ylittävät usein työsuojelulliset raja-arvot. Kenttäolosuhteissa tehtävissä mittauksissa on jouduttu rajaamaan seurattavia yhdisteitä, koska laboratoriolaitteita ei siellä pystytä käyttämään eivätkä näytteet kestä kuljetusta. Arvioinnin perusteella on päädytty mittaamaan hiilimonoksidin (häkä), kloorivedyn (HCl), typpidioksidin ( $NO_2$ ) ja hiilidioksidin ( $CO_2$ ) pitoisuuksia.

Keskuslaboratorioon on hankittu kannettavia, akkukäyttöisiä, pumpulla varustettuja Industrial Scientificin MX6 iBrid

-kaasunilmaisimia kaasumaisten haitallisten yhdisteiden pitoisuuksien mittaamiseen. Mittarit ovat kooltaan pieniä, ja ne on helppo kiinnittää mittauspäälle. Mittarit pystyvät mittaamaan maksimissaan kuuden yhdisteen pitoisuuksia kahden sekunnin välein yhtäjaksoisesti työpäivän ajan. Mittari laskee myös STEL (short time exposure limit) -arvon, joka on 15 minuutin liukuva keskiarvo sensorin lukemasta laskettuna. Tämä vastaa  $HTP_{15min}$ -arvoa. Tällä hetkellä mittareissa on häkä-, vetykloridi-, typpidioksidi- ja hiilidioksidisensorit, mutta muitakin yhdisteitä voidaan mitata vaihtamalla ko. yhdisteen sensori laitteeseen. Muita mahdollisia ovat esim. vetysyanidi, rikkidioksidi ja ammoniakki. Ennen mittausta mittarit tarkistetaan kalibrointikaasuilla luotettavan tuloksen varmistamiseksi.

## Tehtyjä mittauksia

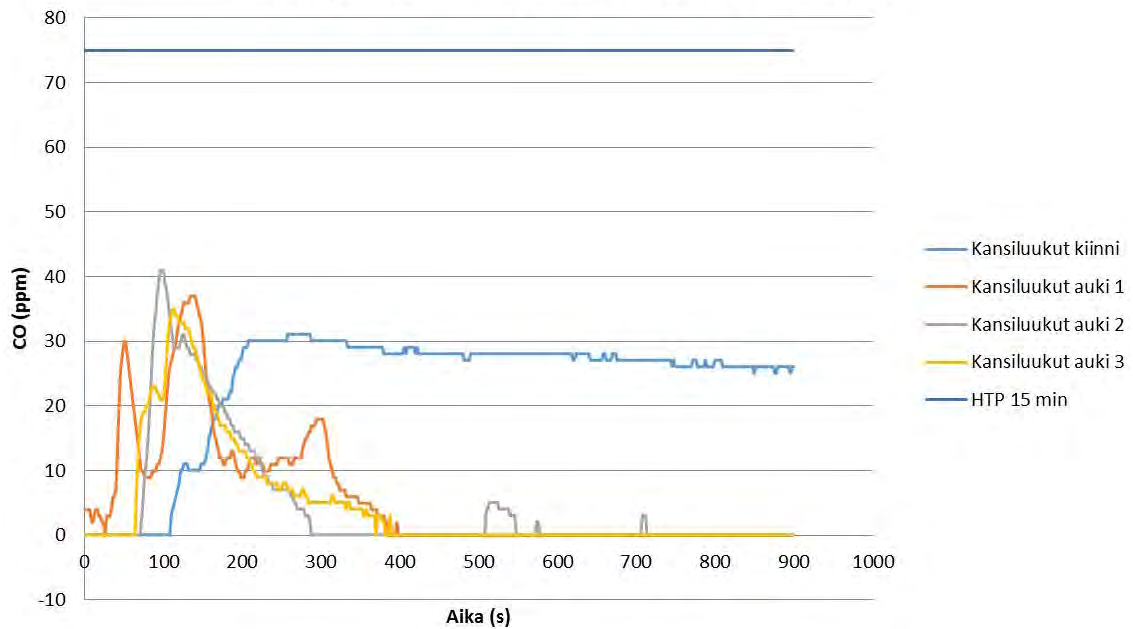
Ammunnanaikaisia mittauksia on tehty viimeisen vuoden aikana Leopard 2A6:n ja panssarihaupitsi K9:n sisätiloissa sekä raskaan raketinheitin GMLRS:n ammunnoissa ulkona eri etäisyyksiltä vaunusta. Vaunun sisällä mitattaessa pitoisuuksia on mitattava jokaisen vaunussa olevan henkilön paikalta hengityskorkeudelta. Mittaukset on tehtävä eri tuuletusolosuhteissa eli on tutkittava eri luukkujen aukiolon vaikutuksia yhdisteiden pitoisuuksiin. Jos vaunussa on puhallin, tuuletin tai ruutikaasuimuri, on tutkittava myös niiden käytön vaikutuksia yhdisteiden pitoisuuksiin. Ulkona tehtävillä mittauksilla pyritään selvittämään turvalliset suojaetäisyydet ammuntakohdasta, jotta estetään henkilöiden altistuminen. Koska ainakaan tähänastisissa tapauksissa ammunnat eivät ole kestäneet kahdeksaa tuntia vaan ovat olleet lyhyempiaikaisia ja kertaluonteisia, mittausaikana on käytetty 15:tä minuuttia ja tuloksia on verrattu  $HTP_{15min}$ -arvoon. Jos päivän aikana tehdään useita mittauksia, tulosten perusteella voidaan arvioida myös kahdeksan tunnin altistumista. Jos ilmassa on useampia haitallisia yhdisteitä, joilla on sama vaikutustapa, on arvioitava myös niiden yhteisvaikutusta.

Näiden mittauksien avulla saadaan jo asejärjestelmän käyttöönottovaiheessa osaltaan varmistettua henkilöstön työturvallisuus ja ohjeistuksen toimivuus ammunnoissa. Tarvittaessa voidaan ammunnan suunnittelulla ja muilla korjaustoimenpiteillä estää tai vähentää henkilöiden altistumista yhdisteiden haitallisille pitoisuuksille.



Savukaasut raskaan raketinheitimen amunnasta. (Kuva: TJ Toivanen)

### Ampujan paikka, CO- pitoisuus, 1 laukaus



Panssarihaupitsi K9:n ampujan paikalta mitatut häkäpitoisuudet (mittausaika 15 min).  $HTP_{15min}$ -arvo on raja-arvo 15 minuutin keskiarvopitoisuudelle.

#### Kirjoittaja:

Filosofian maisteri Anne-Mari Salomäki toimii erikoistutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen räjähd- ja suojelutekniikkaosastossa CBRNE-teknologiat tutkimusalalla.

# Taisteluaineilla harjoittelu – tutkimuksen tuki suojelukoulutuksen kehittämiprojektille

Maavoimat on viime vuosina kehittänyt suojelukoulutuksen koulutusolosuhteita siten, että vuodesta 2019 lähtien jokaisen suomalaisen suojelusotilaan on mahdollista harjoitella oikeilla taisteluaineilla vaarattomampien harjoitus- ja simulanttikemikaalien ohella. Taisteluaineilla harjoittelun (engl. Live Agent Training, LAT) eli aidoilla taisteluaineilla tapahtuvan koulutuksen tarkoituksena on havainnollistaa ja opettaa kemiallisilta ja biologisilta taisteluaineilta sekä säteileviltä aineilta (CBRN) suojaavien suojaruusteiden, CBRN-ilmaisuvälineiden sekä CBRN-puhdistusaineiden toimintaa paremmin, kuin pelkkiä simulanttiaineita käyttäen pystytään.

Lisäksi koulutuksen tarkoituksena on kasvattaa joukon luottamusta omiin suojaruusteisiin, ilmaisuvälineisiin ja puhdistusaineisiin. Koulutusta annetaan paitsi varusmiehille ja reserviläisille myös Puolustusvoimien henkilökunnalle ja viranomaisyhteistyösapuolille. Taisteluaineilla harjoittelun kehittäminen Maavoimissa -projektiin on osallistunut laajasti Puolustusvoimien henkilöstöä eri organisaatioista – Porin prikaatista (PORPR), Puolustusvoimien tutkimuslaitoksesta (PVTUTKL), Sotilaslääketieteen keskukselta (SOTLK), Maavoimien esikunnasta (MAAVE), Maasotakoulusta (MAASK) ja Puolustusvoimien logistiikkalaitoksesta (PVLOGL).



Kuva 1. Työ- ja palvelusturvallisuuteen liittyviä työhygieenisiä mittauksia tehtiin PVTUTKL:n koekentällä sekä rapsakassa lähes 10 asteen tammikuuisessa pakkasessa että paahtavassa elokuun auringonpaisteessa, 24 asteen kesäkelissä. (Kuva: Heli Siljander / Sotilaslääketieteen laitos)

## Kaasua!

Projektin alusta lähtien oli selvää, että uutta toimintoa käynnistettäessä tutkimuksella tulisi olemaan ratkaiseva osa erityisesti taisteluaineilla harjoittelun työ- ja palvelusturvallisuuteen liittyvien ohjeiden ja käytäntöjen luomisessa. Tutkimuksella täytyisi saada vastaus myös käytettävien taisteluainetuotteiden ominaisuuksiin, taisteluaineiden pakkaamistapaan, niiden kuljetukseen, harjoittelussa käytettäviin puhdistusmenetelmiin sekä harjoittelussa syntyviin vaara-alueisiin liittyviin moniin kysymyksiin. Kerätty tutkimustieto jalostuisi projektin aikana tieteelliseen tutkittuun tietoon perustuviksi varo-, menetelmä- ja koulutusohjeiksi. Projektio-organisaatiota tarkastellessa tutkimusvastuut oli helppo jakaa. Sotilaslääketieteen keskus vastaisi taisteluaineilla harjoitteluun liittyvästä työ- ja palvelusturvallisuuden riskinarvioinnista kokonaisuutena ja vastaisi työterveyshuoltoon liittyviin kysymyksiin, ja PVTUTKL:n toimintakykyosasto toteuttaisi mahdollisen koulutukseen liittyvän toimintakykytutkimuksen. PVTUTKL:n räjähdde- ja suojelutekniikkaosasto (RSOS) vastaisi itse taisteluaineiden tuottamisesta sekä niiltä suojautumisen, niiden kuljetuksen, pakkaamisen ja puhdistamisen suunnittelusta.

PVTUTKL:n RSOS:ssa projektille tehty tutkimus alkoi vuoden 2017 alussa harjoittelussa käytettävien taisteluaineiden valinnalla sekä sillä, että harjoittelupaikalla käytet-

tävän taisteluaineen määrään perustuvat harjoittelun vaara-alueet laskettiin taisteluaineiden leviämistä mallintavalla SUKEVA-ohjelmistolla. Taisteluaineilla harjoittelussa käytettävät taisteluainetuotteet sisältävät sinappikaasua ja sariinia. Nämä aineet valittiin sillä perusteella, että ne edustavat kahta suurta perinteistä mutta myös nykyhetken uhkan muodostavaa kemiallisten taisteluaineiden ryhmää. Sinappikaasu ja sariini edustavat myös ominaisuuksiltaan ja käyttötavaltaan hyvin erilaisia taisteluaineita. Sinappikaasu on syövyttävä, iholle rakkuloita aiheuttava, huonosti haihtuva yhdiste, jota on käytetty maailman taistelukentillä ensimmäisestä maailmansodasta lähtien. Sariini taas on helposti haihtuva, hengityksen kautta vaikuttava taisteluaine, jonka ihmisille supermyrkylliset hermosta lamauttavat ominaisuudet havaittiin toisen maailmansodan aikana, kun yritettiin kehittää uusia, tehokkaita hyönteismyrkyksi soveltuvia yhdisteitä. Kemiallisten taisteluaineiden käyttö sodankäynnissä on kansainvälisin sopimuksin kokonaan kiellettyä, ja myös sariini ja sinappikaasu kuuluvat kemiallisten taisteluaineiden kieltosopimuksen rajoittamien kemikaalien joukkoon. LAT-koulutuksessa tarvittavat taisteluaineet valmistetaan PVTUTKL:n RSOS:n erikoislaboratoriossa, joka on kemiallisen aseiden kieltosopimuksen mukainen yksittäinen pienimuotoinen laitos kemiallisten taisteluaineiden valmistukseen puolustustutkimus-, testaus- ja harjoittelukäyttöön.



Kuva 2. Työ- ja palvelusturvallisuuteen liittyvien työhygieenisten mittausten toteuttamiseen osallistui Puolustusvoimien henkilökuntaa PVTUTKL:sta, Porin prikaatin suojelun osaamiskeskuksesta ja Sotilaslääketieteen laitoksesta. (Kuva: Hanna Haukipää / PVTUTKL)



Harjoittelukäyttöön valittujen taisteluaineiden, sinappikaasun ja sariinin fysikaaliset, kemialliset ja toksikologiset ominaisuudet tunnetaan perusteellisesti; näistä aineista on saatavilla paljon tietoa. Tämä oli myös yksi peruste näiden taisteluaineiden valinnalle. Valmistetut taisteluainetuotteet pystyttiin tunnettujen ominaisuuksien perusteella luokittelemaan Euroopan unionin kemikaalien luokittelua, merkittämistä ja pakkaamista koskevan CLP-lainsäädännön mukaisesti sekä suunnittelemaan taisteluainetuotteiden turvalliseen säilytykseen soveltuva pakkaustapa. Tuotteiden turvallinen käyttö edellytti kemikaalilainsäädännön mukaisten pakkausetikettien ja käyttöturvallisuustiedotteiden luomista. Ominaisuuksien tunteminen mahdollisti myös taisteluaineiden kuljetuksen suunnittelun vaarallisten aineiden maantiekuljetusta koskevan lainsäädännön mukaiseksi. Tähän osaan tutkimusta osallistui laajasti PVLOGL:n esikunnan ja sen Järjestelmakeskuksen materiaali- ja vaarallisten aineiden kuljetuksen asiantuntijoita. Tutkimuksen keskeiset tuotteet, taisteluaineiden pakkaamis-, merkittämisen- ja kuljetusohjeet, valmistuivat vuoden 2018 aikana.



Kuva 3. Suojavarusteita pukemassa. Työpari varmistaa lopuksi, että suojavarusteiden resorit, vetoketjut ja tarranauhut ovat tiiviisti oikeilla paikoillaan. (Kuva: Heli Siljander / Sotilaslääketieteen laitos)



Kuva 4. Päivän mittauksista palaavat saapuvat puhdistuslinjalle. (Kuva: Heli Siljander / Sotilaslääketieteen laitos)

### Kun tutkimus vaatii verta, hikeä ja virtsaa

Taisteluaineilla harjoittelu sisältää riskejä. Harjoittelussa käytettävät kemialliset taisteluaineet ovat ihmiselle akuutisti erittäin myrkyllisiä ja aiheuttavat niille altistuttaessa vakavan loukkaantumisen, jopa kuoleman vaaran. Sinappikaasulla on lisäksi pitkäaikaisvaikutuksia, ja sen tiedetään aiheuttavan syöpää. Työturvallisuuslainsäädäntö vaatii työnantajaa suojaamaan työntekijää työhön liittyviltä kemiallisilta vaaroilta. Puolustusvoimien henkilökunnan lisäksi koulutusta annetaan varusmiehille ja reserviläisille. Työ- ja palvelusturvallisuuden kannalta on siis tärkeää, että taisteluaineilla harjoittelussa tunnistetaan perinpohjaisen tarkkaan koulutukseen liittyvät riskit ja ryhdytään kaikkiin tarkoituksenmukaisiin toimenpiteisiin niiden toteutumisen ennalta ehkäisemiseksi. PVTUTKL:n RSOS:ssa vuonna 2018 tehtyyn tutkimukseen on sisällytetty osia, jotka edesauttavat taisteluaineilla harjoittelun kokonaisriskinarvion toteuttamista. Tutkimuksen raportointiin on sisällytetty arvioita mahdollisesti altistuvan ihmisjoukon ominaisuuksista, altistuvien henkilöiden lukumäärästä ja todennäköisimmistä altistumisreiteistä.

Tutkimuksen kannalta yksi mielenkiintoisista kysymyksistä liittyi henkilökohtaisen CBRN-suojavarustuksen käytön perusteluihin ja logiikkaan. Taisteluaineilla harjoitteluun liittyvissä tutkimuksissa ei tarvinnut tutkia sitä, suojaavatko Puolustusvoimien käytössä olevat CBRN-suojavarusteet taisteluainetuotteilta tai kestävätkö suojavarusteiden materiaalit niitä, sillä tiedämme jo aikaisemman tutkimuksen perusteella, että ne suojaavat ja kestävätkin. Vaarallisten aineiden kanssa työskennellessä niiltä suojautuminen perustuu paitsi oikeisiin ohjeistettuihin toimintatapoihin, joko rakenteellisiin suojavarusteisiin, kuten suojakaappeihin, tai henkilökohtaisiin suojavarusteisiin, kuten hengitystä suojaaviin suojanaamareihin. Näistä rakenteelliset ratkaisut ovat aina ensisijaisia ja henkilökohtaisten suojavarusteiden käyttö toissijaisia. Taisteluaineilla harjoittelussa joukko harjoittelee kuitenkin omilla suojavarusteillaan ilman mitään rakenteel-



Kuva 5. Työ- ja palvelusturvallisuuteen liittyvät työhygieeniset mittaukset toteutettiin ennalta suunnitellun tarkan aikataulun mukaisesti. Tehtävät, kuten näytteenotto, taisteluaineiden käsittely, kemiallisten ilmaisinten käyttäminen sekä mittauksapahtuman johtaminen, oli jaettu tutkimusryhmän jäsenille. (Kuva: Tuuli Haataja / PVTUTKL)

lista suojaa ilmassa olevalta myrkylliseltä, helposti haihtuvalta kemikaalilta. Tutkittavaksi jäi siis henkilökohtaisten suojarusteiden käytön perustelut työturvallisuuden näkökulmasta: ovatko Puolustusvoimien käyttämät henkilökohtaiset CBRN-suojavarusteet riittävä suojarustus, kun niitä verrataan siihen, millaisia ilmapitoisuuksia taisteluaineita harjoittelun aikana harjoittelupaikalla on, ja toisaalta suojarusteita koskeviin määräyksiin ja raja-arvoihin?

Vastauksen saaminen tähän vaati sekä tiedon harjoittelun aikana esiintyvistä tyypillisistä taisteluaineiden ilmapitoisuuksista että kyseisille aineille säädetyt altistumisen raja-arvot ja suojarustesuosituksen, jotta näitä voidaan verrata keskenään. Valitettavasti työhygieenisistä tai väestölle altistumisesta aiheutuvien terveysvaikutusten arviointiin soveltuvia raja-arvoja taisteluaineille ei löydy Suomen tai EU:n lainsäädännöstä. Taisteluaineiden työturvallisuuden lainsäädäntöä ja määräyksiä löytyy kattavammin Yhdysvalloista, jossa monikymmenvuotinen laajan mittakaavan työskentely kemiallisten taisteluaineiden valmistuksen, käsittelyn ja

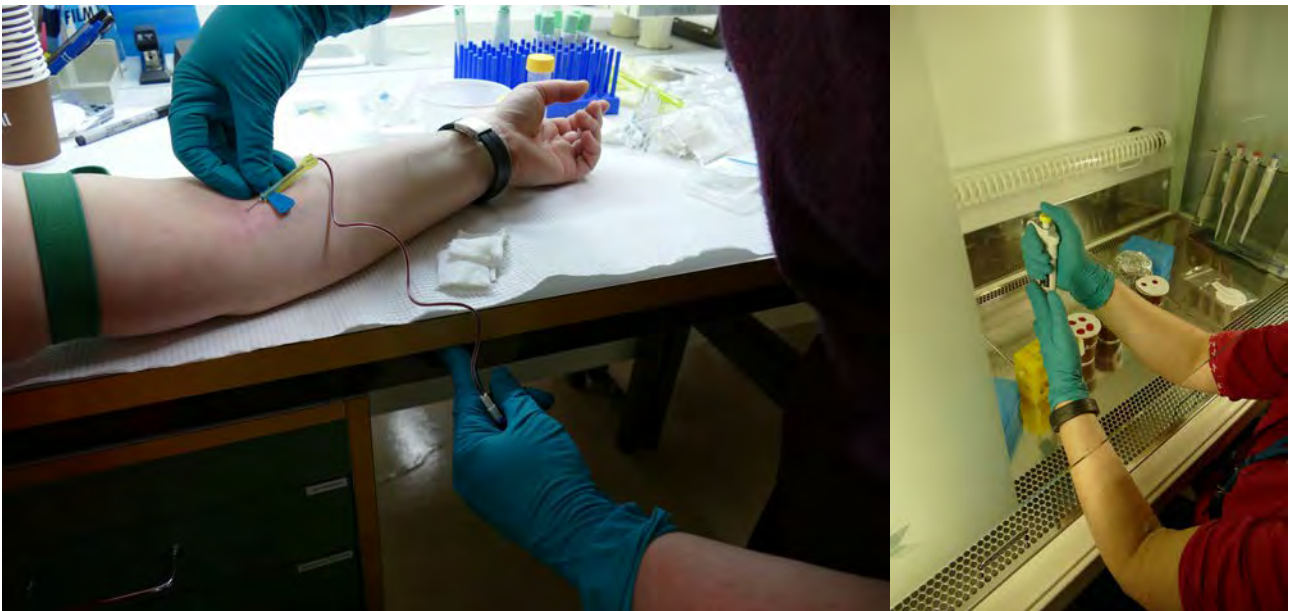
hävittämisen parissa on pakottanut lainsäätäjän asettamaan työturvallisuusnäkökohtien arvioinnissa tarpeelliset raja-arvot ja suojarusteiden käytön perusteet. Yhdysvaltalaisia raja-arvoja siis sovellettiin taisteluaineilla harjoittelun arviointiin.

Tyypilliset taisteluaineiden ilmapitoisuudet taisteluaineilla harjoittelun aikana selvitettiin työhygieenisillä mittauksilla. Mittauksissa kerättiin ilmanäytteitä simuloitujen harjoitustapahtumien aikana. Mittauksissa taisteluainetuotteita käytettiin taisteluaineilla harjoittelulle tyypillisellä tavalla: levittämällä ainetta maa-ainekseen tai harjoitusmateriaalin pinnalle. Mittauksia toteutettiin PVTUTKL:n koekentällä sekä kylmissä talvi- että lämpimissä kesäolosuhteissa. Ilmanäytteiden keräämisen lomassa testattiin myös erilaisia Puolustusvoimien kemiallisia ilmaisimia ja niiden toimintaa taisteluainetuotteiden kanssa harjoiteltaessa. Työhygieenisten mittausten keskeinen tutkimustulos oli, että taisteluaineiden keskimääräiset ilmapitoisuudet harjoittelun aikana ovat pienempiä kuin yhdysvaltalaiset työturvallisuusviranomaisen enimmäispitoisuudet kanisterisuodatin-tyyppiseen hengi-

tyksensuojaimen ja CBRN-suojapukuun perustuvan henkilökohtaisen suojarustuksen käytölle. Talven pakkasessa taisteluaineet haihtuivat huonosti ja ilmapitoisuudet harjoittelepaikalla olivat erittäin pieniä. Kesäkuumalla taisteluaineet puolestaan haihtuivat nopeasti; koko harjoitteluun varattu taisteluainemäärä katosi viidessätoista minuutissa taivaan tuuliin ja aiheutti näin levityskohdan lähelle korkeita hetkellisiä pitoisuuksia.

Kun kaikki menee niin kuin suunniteltiin, ihminen ei altistu taisteluaineille taisteluaineilla harjoittelun yhteydessä ollenkaan. Altistuminen tarkoittaa taisteluaineilla harjoittelussa seurausta tapahtumasta, jossa jokin on mennyt iholle, esimerkiksi ihmisen havaitaan oleskelleen harjoittelun vaara-alueella ilman toimivaa henkilökohtaista suojarustusta. Projektille tehtyyn tutkimukseen sisältyivät laskelmat ihmisen saamasta annoksesta eri altistumisreiteillä, todennäköisimmissä altistumistilanteissa. Näitä voidaan käyttää mahdollisten terveysseuraamusten arviointiin. Altistumista-

pauksissa hoidon ja terveysvaikutusten seuraamisen kannalta olisi kuitenkin tärkeää, että ihmisen elimistöstä otetuilla biologisilla näytteillä pystyttäisiin luotettavasti osoittamaan altistuksen määrä. Valitettavasti taisteluaineille on huonosti saatavilla rutiinikäytössä olevia luotettavia analyysimenetelmiä. Tutkimukseen sisältyi se, että PVTUTKL:n RSOS:ssa otettiin käyttöön kemiallinen analyysimenetelmä, jolla voidaan osoittaa virtsasta sariinin ensisijaisen hajoamistuotteen, isopropyyylimetyylifosfonihapon (IMPA), läsnäolo hyvin pienissä ng/ml-pitoisuuksissa. Kenttähygieniamittauksiin osallistuneelta, tutkimukseen vapaaehtoiseksi ilmoittautuneelta henkilökunnalta otettiin harjoitusten aikana pitkälti toistasataa virtsanäytettä, joista etsittiin merkkejä IMPA:n läsnäolosta. IMPA:ta ei tutkimuksissa löytynyt yhdenkään harjoitukseen osallistuneen virtsasta.



Kuvat 6–7. Taisteluaineella harjoittelun tutkimukseen osallistuvista otettiin virtsanäytteiden lisäksi myös verinäytteitä, jotka säilöttiin paperille kuivaamalla mahdollisen toiminnan aikana tapahtuvan altistumistilanteen selvittämiseksi. (Kuvat: Tuuli Haataja / PVTUTKL)

#### Kirjoittaja:

Filosofian maisteri Tuuli Haataja toimii Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen räjähd- ja suojelutekniikkaosaston tutkijana. Haataja on tutkimuslaitoksen tuesta taisteluaineilla harjoittelun kehittämisprojektille vastaava tutkija.

# INSPIRE-2-tutkimus: resilienssiä mittaavan psykologisen testin kehittäminen

INSPIRE-2 oli Euroopan puolustusviraston kansainvälinen tutkimusyhteistyöhanke, jossa kehitettiin yksilön resilienssiä mittaava psykologinen testi soveltuvuusarviointikäyttöön ja tutkittiin sen ennustekykyä sotilas- ja poliisiaineistossa. Projekti päättyi vuonna 2019, ja sen tuloksia tullaan jatkossa hyödyntämään Puolustusvoimien henkilövalinnoissa.

Sotilas- ja poliisitehtävät asettavat erityisiä vaatimuksia työntekijöiden paineensietokyvyille, sillä tehtävissä tarvitaan valmiuksia toimia henkilökohtaisen uhan alla haastavissa ja stressaavissa olosuhteissa. Jos voidaan jo rekrytointivaiheessa tunnistaa ne henkilöt, joilla on henkilökohtaisten ominaisuuksiensa puolesta parhaat edellytykset toimia painetilanteissa, voidaan lisätä henkilöstön toimintakykyä vaativissa tilanteissa, vähentää henkilöstön vaihtuvuutta ja ennalta ehkäistä psyykkistä oireilua.

## Yksilön resilienssi ja siihen vaikuttavat tekijät

Resilienssillä tarkoitetaan kykyä ylläpitää optimaalista toimintakykyä stressaavissa olosuhteissa, järkyttävissä tilanteissa ja vastoinkäymisten aikana. Resilienssiin liittyy myös toipuminen ja palautuminen vaikeista kokemuksista sekä lyhyellä että pitkällä aikavälillä. Kun resilienssiä tarkastellaan sotilasvalintojen yhteydessä, tärkeää on myös se, että vaikeiden kokemusten jälkeen motivaatio sotilasammattiin ja sen tavoitteisiin edelleen säilyy.

Yksilön resilienssiin vaikuttavat useat tekijät. Sotilasympäristössä resilienssiin vaikuttaviksi asioiksi on tunnistettu esimerkiksi ryhmän kiinteytys ja siihen liittyvä sosiaalinen tuki, koulutus ja sen kautta muodostunut tehtävien hallinnan tunne, organisaatiokulttuuri ja johtaminen. Nämä tekijät voivat toimia sekä suojelevina tekijöinä että riskitekijöinä sotilaan stressinsietokyvyille ja hyvinvoinnille.



Kuva 1. Resilienssillä tarkoitetaan toimintakyvyn ylläpitämistä painetilanteissa. (Kuva: Puolustusvoimat / Lisa Hentunen)

Ympäristötekijöiden lisäksi resilienssiin vaikuttavat erilaiset yksilön persoonallisuuteen ja toimintatyyliin liittyvät tekijät. Yksilön psykologiset ominaisuudet vaikuttavat erityisesti siihen, miten hän tulkitsee vaativat tilanteet ja miten hän arvioi oman kykynsä selviytyä niistä. Stressitilanteisiin reagoidaan siten yksilöllisesti, ja esimerkiksi sama vakava stressitilanne voi aiheuttaa osalle ihmisistä vaikeita psyykkisiä oireita, osalle lieviä ja nopeasti helpottuvia oireita ja osalle psyykkisiä oireita ei kehity lainkaan. INSPIRE-2-tutkimuksen kohteena olivat henkilövalinnat ja työuran alkuvaiheet, joten se keskittyi niihin yksilön ominaisuuksiin, joilla on aiemman tutkimuksen mukaan vaikutusta resilienssiin ja joita voidaan psykologisella testillä mitata. Tällaisia ominaisuuksia ovat esimerkiksi tunne-elämän tasapainoisuus, coping- eli selviytymiskeinot, pystyvyyden tunne, optimismi ja sosiaalinen kompetenssi.



Kuva 2. Toipuminen painetilanteista on osa resilienssiä. (Kuva: Puolustusvoimat / Antoine Michel)

## INSPIRE-2-tutkimus

INSPIRE-2-tutkimus (Improving Military Selection by Psychological Resilience Screening) oli Euroopan puolustusviraston (European Defence Agency, EDA) projekti, joka toteutettiin pitkittäistutkimuksena vuosina 2015–2019. Tutkimuskonsortion osallistujat tulivat Alankomaiden, Belgian, Saksan, Suomen ja Ruotsin puolustushallinnoista, Alankomaiden poliisista sekä tutkimusorganisaatio TNO:sta (Netherlands Organisation for Applied Scientific Research). Suomen osuuden toteutti Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen toimintakykyosasto.

Tutkimuksessa kehitettiin yksilön resilienssiä mittaava psykologinen testi (Inspire Resilience Scale, IRS) ja tutkittiin sen reliabiliteettia ja validiteettia sotilas- ja poliisiaineistossa. Reliabiliteetti ja validiteetti ovat psykologisten testien luotettavuuden ja käyttökelpoisuuden peruskäsitteitä. Reliabiliteetti kuvaa sitä, kuinka johdonmukainen ja pysyvä testitulos on ja kuinka paljon menetelmän antamaan tulokseen sisältyy mittausvirhettä. Testitulos ei saa vaihdella sattumanvaraisesti, ja testin kysymysten tulisi mitata arvioitavaa käsitettä johdonmukaisesti. Validiteetilla tarkoitetaan sitä, missä määrin teoria ja tutkimusnäyttö tukevat testitulosten tulkintaa tietyssä käyttötarkoituksessa. Soveltuvuusarvioinneissa käytetyissä psykologisissa testeissä validiteetti tarkoittaa esimerkiksi sitä, että niillä tulee olla kykyä ennustaa työsuoritusta, koulutuksessa menestymistä tai jotain muuta tärkeää kriteeriä. Jotta testin voi ottaa käyttöön soveltuvuusarvioinneissa, sen validiteetista pitää olla näyttöä ja sen reliabiliteetin pitää täyttää valintatesteille asetetut kriteerit.

INSPIRE-2-tutkimuksessa sotilas- ja poliisikoulutukseen hakijat tekivät IRS-testin valintoihin kuuluvan soveltuvuusarvioinnin yhteydessä. Koulutukseen valituilta kerättiin ensimmäisen vuoden aikana seurantatietoa: he vastasivat psykologisen hyvinvoinnin ja resilienssin mittareihin, kouluttajat ja vertaiset arvioivat heidän resilienssiään ja lisäksi kerättiin suoritukseen liittyviä tietoja, esimerkiksi tietoa menestymisestä käytännön osaamista mittaavissa harjoituksissa. Tutkimuksessa selvitettiin, miten valintavaiheen IRS-testi ennusti myöhemmin mitattua seurantatietoa.

Tutkimuksen suurimpina kohderyhminä olivat kadetit, laskevarjoajäkärkit ja poliisiopiskelijat. IRS-testin teki yhteensä 11 404 hakijaa neljässä maassa. Tällä aineistolla tutkittiin testin reliabiliteettia. Validiteetin tutkimiseen tarvittu aineisto eli valintavaiheen IRS-testin tulokset ja seurantatiedot saatiin yhteensä 726 henkilöltä.

# IMPROVING MILITARY SELECTION BY PSYCHOLOGICAL RESILIENCE SCREENING (INSPIRE-2): A PREDICTIVE VALIDITY STUDY AND DASHBOARD DESIGN.

EDA AD HOC CATEGORY B



Kuva 3. INSPIRE-2-tutkimus toteutettiin kansainvälisessä yhteistyössä.

## Tärkeimmät tulokset

Testin reliabiliteetti todettiin hyväksi, ja se täytti valintatesteille asetetut vaatimukset. Myös validiteetista saatiin johdonmukaisia tuloksia. IRS-testin mittaamalla resilienssillä oli tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä koulutuksen aikaiseen suoriutumiseen, psyykkiseen hyvinvointiin sekä kouluttajien arvioimaan ja itsearvioituun resilienssiin. Löydetyt yhteydet olivat suuruusluokaltaan samanlaisia kuin aiemmissa persoonallisuustestien validiteettitutkimuksissa. Yksittäisistä resilienssiin liittyvistä ominaisuuksista tunne-elämän tasapainoisuus ja optimismi olivat ennustearvoltaan parhaita.

## Lopuksi

Tutkimuksen päätyttyä testiä on tutkittu viidessä eurooppalaisessa organisaatiossa. Tutkimusasetelma oli osallistujamaissa sama, ja tällä pyrittiin mahdollisimman hyvään saadun tiedon vertailukelpoisuuteen. Kansainvälisellä yhteistyöllä saatiin kerättyä suurempi ja monipuolisempi tutkimusaineisto kuin yhdessä maassa olisi mahdollista. Validiteettia päästiin siten tutkimaan erilaisissa sotilas- ja poliisitehtävissä suuremmilla otoksilla, mikä lisää tutkimustulosten luotettavuutta.

Tutkimuksen tulokset tukevat IRS-testin käyttöä sotilas- ja poliisivalintojen soveltuvuusarvioinneissa, ja Suomen Puolustusvoimat ottaa sen tulevana vuosina käyttöön sotilasvalintojen soveltuvuusarvioinneissa. Resilienssi näyttää olevan tärkeä ilmiö sotilasammateissa jo uran alkuvaiheista lähtien. Vaikka resilienssiä voi kehittää koulutuksen ja valmennuksen keinoin ja siihen voidaan vaikuttaa esimerkiksi johtamisella ja organisaation toimintatavoilla, sitä kannattaa myös systemaattisesti arvioida soveltuvuusarvioinneissa.

### Kirjoittaja:

Psykologian maisteri Heli Aalto toimii vanhempana tutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen toimintakykyosastossa psykososiaalisen toimintakyvyn tutkimusalalla.

# Peruskokeet eli kaikille varusmiehille tehtävät psykologiset testit uudistuvat



(Kuva: Puolustusvoimat / Antoine Michel)

## Nykyiset peruskokeet (Peruskoe 1 ja 2)

Peruskokeet ovat psykologisia testejä, joiden päätarkoituksena on tuottaa tietoa varusmiesten kognitiivisista ja luonteeseen liittyvistä valmiuksista menestyä varusmiesjohtajakoulutuksessa ja sotilasjohtajana. Peruskoe 1 on yleislahjakkuustesti, jonka avulla arvioidaan erityisesti varusmiehen oppimisedellytyksiä johtajakoulutuksessa. Heikon testituloksen saaneita ei valita koulutukseen, ja puolestaan mitä parempi tulos on, sitä enemmän saa valintapisteitä.

Peruskoe 1 vastaa kansainvälisesti paljon käytettyjä ja tutkittuja kykytestejä, joiden tuloksista voidaan muodostaa yksi arvo kuvaamaan kognitiivisen kyvykkyyden yleistä tasoa. Kognitiivisen yleistason on todettu ennustavan erilaisista työelämän testeistä ja valintaperusteista parhaiten ei vain koulutuksessa menestymistä vaan yleisemminkin työtehtävissä

menestymistä. Peruskoe 1:n avulla voidaan ennustaa siten kognitiivista suoriutumiskykyä ongelmanratkaisutilanteissa tai esim. päätöksentekotilanteissa.

Peruskoe 1 otettiin Suomen puolustusvoimissa käyttöön vuonna 1955. Sitä uusittiin 1970-luvun lopussa ja uusittu versio otettiin käyttöön kesäkuussa 1981. Peruskoe 1:n sanallisia tehtäviä modernisoitiin 2000-luvun alussa mutta varsinaisia tehtävien sisältöjä ei muutettu.

Peruskoe 1:n rinnalle kehitettiin 1970-luvulla peruskoe 2, jonka avulla kartoitettiin johtajaominaisuuksia ja paineensietoa. Testi otettiin käyttöön vuonna 1982 ja sen johtajaominaisuuksia mittaava osa uusittiin vuonna 2001. Uusimisen taustalla oli tarve päivittää testin sisältö vastaamaan paremmin johtamiselle asetettuja vaatimuksia mm. vuorovaikutuskäyttäytymisessä. Näitä vaatimuksia kartoitettiin

mm. käymällä läpi kouluttajien kanssa varusmiesjohtajan tehtävän kannalta kriittisiä tapahtumia ja niissä tarvittavia ominaisuuksia. Peruskoe 2:n johtajuusosa kehitettiin siten lähtöisin niistä suoriutumiskriteereistä, joita sotilasjohtajilta edellytetään.

Peruskoe 2:n paineensieto-osa perustuu kansainväliseen erilaisia psyykkisiä oireita ja niille altistavia tekijöitä mittaavaan testiin. Kyseinen menetelmä räätälöitiin Puolustusvoimien käyttöön 1970-luvulla. Puolustusvoimien testin avulla ennustetaan siis valmiuksia toimia paineen alla tunne-elämän tasapainoisuuden kautta. Vuonna 2001 modernisoitiin jonkin verran vanhentuneita testikysymyksiä ja laajennettiin hiekin testin sisältöä - mm. usein esimerkkinä käytetty kysymys ”Haluatko olla kukkakauppias?” poistettiin tuolloin.

### Tarve muutokseen



(Kuva: Puolustusvoimat / Maavoimat)

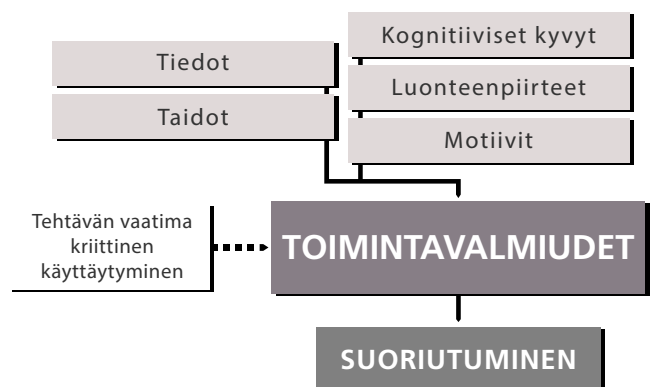
Puolustusvoimissa on suunnitteilla hyödyntää psykologista joukkotestausta jatkossa entistä laaja-alaisemmin varusmiesten sijoittamisessa tehtäviin ja perusyksiköihin. Nykyiset peruskokeet on kehitetty kartoittamaan varusmiesjohtajilta vaadittavia johtajaominaisuuksia ja paineensietoa, joten tarvitaan testit, joilla saadaan tietoa monipuolisemmin varusmiesten edellytyksistä menestyä erilaisissa tehtävissä. Tällaisten testien kehittämisen perustaksi Tutkimuslaitoksessa on tehty monivuotinen profiloititutkimus eri varusmies tehtävissä vaadittavista psykologisista ja fyysisistä ominaisuuksista.

Tehtävien profiloitien lisäksi peruskokeiden paineensietoa mittaavaa osaa oli tarve kehittää uusimman paineensietoon ja resilienssiin liittyvän tutkimustiedon perusteella. Psykologisella resilienssillä tarkoitetaan yksilön kykyä sopeutua vastoinkäymisiin ja stressitekijöihin, palautua niistä ja ylläpitää toimintaa stressitekijöistä huolimatta. Kansainvälisten tutkimusten lisäksi huomioitiin erityisesti suomalaisilla sotilaskilpiloilla tehtyjen tutkimusten tuloksia.

### Arviointimallin ja Peruskokeiden kehittäminen

Varusmies tehtävien profiloinnin lopputuloksena syntyi satoja erilaisia kuvauksia eri tehtävissä vaadittavista ominaisuuksista. Nämä kuvaukset luokiteltiin 30 toimintavalmiudeksi, jotka edelleen ryhmiteltiin kuuteen toiminnalliseen alueeseen (toiminta painetilanteissa, yhteistyö- ja vuorovaikutus, toimeenpano, jäsentynyt ja järjestelmällinen toiminta, tunnollinen ja kurinalainen toiminta sekä joustavuus ja tilannereagointi muuttuvassa tilanteessa). Lisäksi profiloinnin tuloksena määriteltiin keskeiset eri tehtävissä vaadittavat kognitiiviset valmiudet.

Määritetyt toimintavalmiudet ovat käyttäytymisen tasolla kuvattavia ominaisuuksia, joihin vaikuttavat luonteenpiirteet, kyvyt, tiedot, taidot ja motiivit (kaavio 1). Toisaalta valmiudet kehittyvät tehtävissä oppimalla ja harjaantumalla.

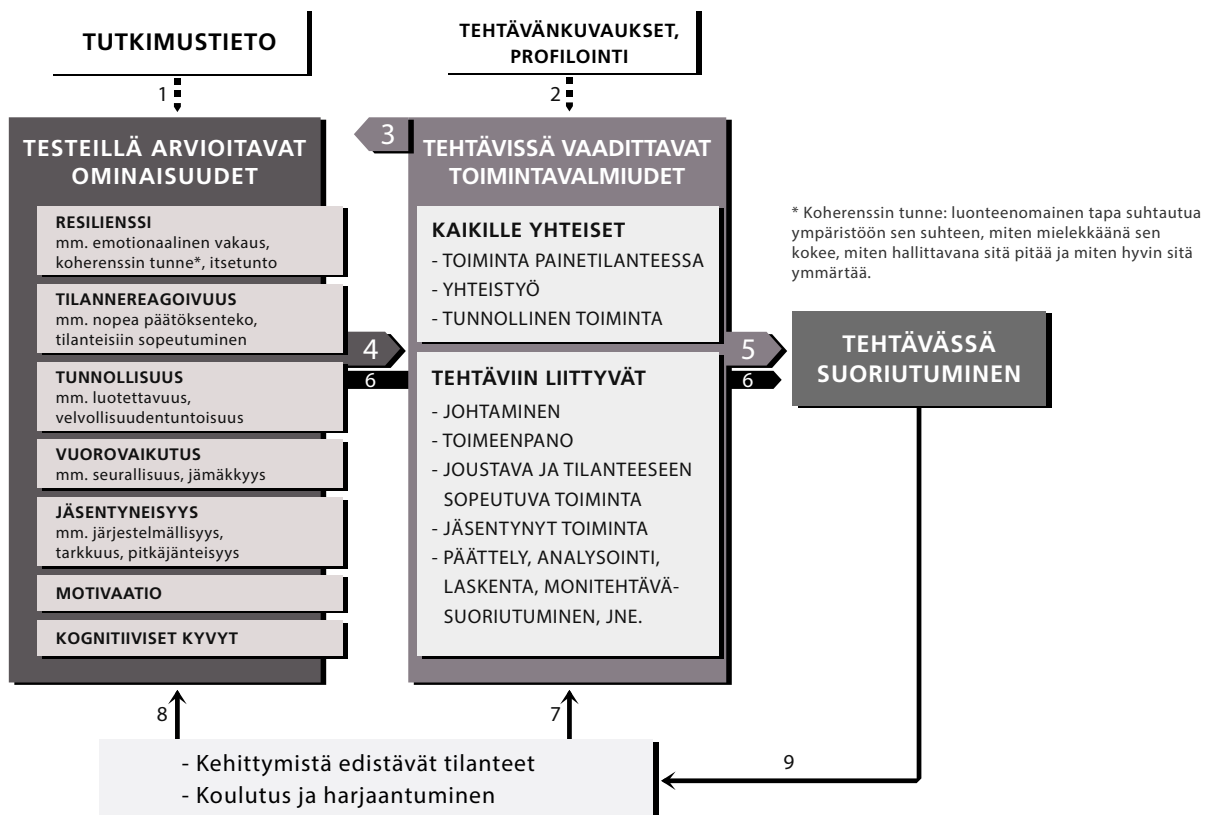


Kaavio 1. Tehtävässä vaadittavat toimintavalmiudet ja niiden taustatekijät.

Varusmies tehtävissä vaadittavien toimintavalmiuksien ja paineensietoon liittyvien tutkimustulosten perusteella kehitettiin luonnos psykologisen testin sisällöksi. Uusi testi korvaa aiemman Peruskoe 2:n (tässä artikkelissa uudesta testistä käytetään jatkossa termiä P2testi). Aiempi Peruskoe 1 jätettiin sisällöltään entiselleen, mutta sen käyttöä päätettiin laajentaa muihinkin kuin varusmiesjohtajavalintoihin. Testien ennustekyvyn tutkimiseksi ja uuden P2testin sisällön viimeisteleminen kerättiin vastausaineisto saapumiserällä 2/2018 Porin prikaatista, Panssariprikaatista ja Karjalan prikaatista (vastanneiden määrä n = 3 437). Aineiston perusteella P2testin osioita ja rakennetta muokattiin psykometrisin perustein (osio-, reliabiliteetti- ja faktorianalyysit).

Varusmies tehtävien profiloinnin, kertyneen tutkimustiedon ja tilastollisten analyysien perusteella muotoutui uuden psykologisen testin sisältö. Kaaviossa 2 on esitetty malli kaikille varusmiehille tehtävässä psykologisessa testauksessa arvioitavista ominaisuuksista sekä siitä, mitä toimintavalmiuksia niiden avulla arvioidaan (pääalueittain).





Kaavio 2. Malli kaikille varusmiehille tehtävässä psykologisessa testauksessa arvioitavista ominaisuuksista.

Kaavion 2 vasemmassa reunassa on esitetty psykologisilla testeillä arvioitavat ominaisuudet. Ne on määritetty aikaisemman tutkimustiedon (nuoli 1) ja varusmies tehtävien profiloinnin (nuoli 2) perusteella määritettyjen toimintavalmiuksien perusteella (nuoli 3). Testit sisältävät kognitiivisten kykyjen testin (Peruskoe 1) sekä luonnetestin (uusi P2testi). Luonnetestin avulla arvioidaan toisaalta persoonallisuuden piirteitä (esim. tunnollisuus, emotionaalinen vakaus, seurallisuus) ja toisaalta suoraan yksilön tiettyihin toimintavalmiuksiin liittyviä ominaisuuksia (esim. taipumus tehdä nopeita päätöksiä, järjestelmällisyys, huolellisuus).

Testien avulla ennustetaan, miten erilaiset toimintavalmiudet näkyvät varusmiehen käyttäytymisessä (nuoli 4). Kyseiset valmiudet on määritetty varusmies tehtävissä onnistumisen edellytyksiksi (nuoli 5). Toisaalta testien avulla arvioidaan suoraan henkilöiden suoriutumispotentiaalia erilaisissa varusmies tehtävissä (nuoli 6).

Sekä käyttäytymisen tasolla näkyvät toimintavalmiudet (nuoli 7) että niiden taustalla vaikuttavat yksilön ominaisuudet (nuoli 8) kehittyvät eri tilanteissa oppimisen, koulutuksen, harjaantumisen ja saadun palautteen (nuoli 9) avulla.

Valmiuksien koulutettavuus vaihtelee yksilön kapasiteetin ja sen mukaan, miten kiinteästi ne ovat sidoksissa yksilön pysyvämpiin persoonallisuuden piirteisiin tai kognitiivisiin kykyihin.

Varusmiesten uudistettujen psykologisten testien ennustekyvystä erilaisten toimintavalmiuksien ja esimiestehtävissä suoriutumisen suhteen on tekeillä Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen toimintakykyosastolla laaja validiteettitutkimus. Tutkimustulosten perusteella suunnitellaan testien tulkintajärjestelmä, jonka perusteella tuotetaan jatkossa P-arvot varusmiesten potentiaalista eri tehtäviin sekä johtajakoulutukseen. Myös testien ennustekykyä yksittäisissä varusmies tehtävissä suoriutumisen suhteen seurataan ja menetelmän tulkintajärjestelmää kehitetään saadun tiedon perusteella pitkällä tähtäimellä.

#### Kirjoittaja:

Psykologian maisteri Kai Nyman toimii erikoistutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen toimintakykyosastossa psykososiaalisen toimintakyvyn tutkimusallalla.

# Etätyö helpottaa työn ja perheen välisiä suhteita, erityisesti reppureilla

Suomalaisissa ja kansainvälisissä tutkimuksissa on havaittu, että työn ja perheen väliset ristiriitaisuuden kokemukset voivat johtua erilaisista työhön liittyvistä tekijöistä. Työn yleiset vaatimukset, työstä aiheutuva paine sekä ajallinen omistautuminen vaikeuttavat perheeseen liittyvien velvollisuuksien suorittamista. Useimmin nämä vaatimukset ovat ajankäyttöön liittyviä ja kuormittavuuden kokemuksia aiheuttavia. Ajankäyttöön liittyvä ristiriitaisuus voi olla esimerkiksi se, että työrooliin käytetty liiallinen aika vaikeuttaa toimimista perheroolissa. Roolien välinen kuormittavuus ilmenee esimerkiksi siten, että työ(stressi)n aiheuttamat ärtyneisyys ja ahdistus estävät tai hankaloittavat perheeseen liittyvien tehtävien suorittamista.

## Etätyö Puolustusvoimissa

Puolustusvoimissa on vuoden 2017 kesäkuusta alkaen laajennettu työaikajoustoja, etenkin mahdollisuutta tehdä etätyötä. Mikäli henkilö ja hänen työtehtävänsä soveltuvat etätyöskentelyyn, hän voi esimiehen suostumuksella ja ohjauksessa tehdä etänä enintään kymmenen työpäivää kuukausittain ja yhtäjaksoisesti enintään viisi työpäivää. Etätyön paikaksi määritellään useimmin työntekijän kotiosoite, ja etätyöpäivän työaika on virastotyöaika eli klo 8–16.21 (sisältäen yhden tunnin lounastauon). Etätyömahdollisuuksien myötä on tullut tarve saada tietoa siitä, miten nykyinen etätyömahdollisuus toteuttaa normissa mainittuja työaikajousten tavoitteita eli henkilöstön työhyvinvoinnin, työssä jaksamisen sekä työn ja perhe-elämän yhteen sovittamisen edistämistä.

Etätyöhön liittyvän tutkimuksen tilasi Pääesikunnan henkilöstöosasto Puolustusvoimien tutkimuslaitokselta kaksivuotisena, ja kohderyhmäksi rajattiin henkilöt, jotka tehtäväkierron vuoksi olivat siirtyneet toiselle paikkakunnalle työhön. Puolustusvoimissa näistä siirtyneistä työntekijöistä puhutaan reppureina. Reppuri on tyypillisesti miesupseeri, mutta heihin kuuluu myös naisia ja kaikkia eri henkilöstöryhmiä. Erityisesti reppureiden mahdollisuus tehdä etätyötä kotiosoitteensa helpottanee kaikkein selkeimmin työn ja perheen suhteita. Lisäksi myös jaksamisen voidaan olettaa paranevan työmatkojen pois jäämisen vuoksi. Tutkimuksella haluttiin selvittää muun muassa sitä, millaiset ovat käytännön kokemukset työaikajousten käytöstä Puolustusvoimien henkilöstön keskuudessa ja miten joustoja voitaisiin mahdollisesti vielä kehittää.

## Kyselytutkimuksella kartoitettiin etätyötä tekeviä

Tutkimuksessa käytettiin kahta erillistä aineistoa: ensinnäkin koko henkilöstölle tehtiin syksyllä 2019 erillinen kysely etätyön käytöstä, käytön mahdollisista esteistä sekä koetuista haitoista ja hyödyistä. Tämä kyselyaineisto (n = 4 024) analysoitiin tilasto-ohjelmalla ja siinä keskityttiin reppureiden (n = 431) vastauksiin. Reppureista joka neljäs (27 %) vastasi, että työn ja yksityiselämän yhteen sovittaminen onnistuu erittäin tai melko huonosti. Reppureista valtaosa (83 %) ilmoitti, että heillä olisi mahdollisuus tehdä etätyötä, ja käytännössä etätyötä teki kyselyn mukaan kaksi vastaajaa kolmesta (67 %). Keskimäärin reppurit tekivät yhden etätyöpäivän viikossa, ja vain joka kymmenes teki lähes maksimimäärää (9–10 päivää kuukaudessa). Suurimmaksi esteeksi etätyön käyttämiselle koettiin joko työtehtävien luonne tai läsnäolovelvollisuus virkapaikkakunnalla. Työtehtävät voivat olla esimerkiksi operatiiviseen suunnitteluun tai varusmiesten kouluttamiseen liittyviä, ja läsnäolovelvollisuus voi johtua tehtävien tai toiminnan luonteesta, kuten asiakaspalvelusta tai esimiesroolista.

Etätyötä tekevästä reppureista joka toinen (46 %) ilmoitti etätyön suurimmaksi hyödyksi työn ja perheen yhteen sovittamisen helpottumisen (taulukko 1). Joka kuudes vastaaja (17 %) koki oman jaksamisensa kohentuneen etätyön ansiosta. Myös työn tuloksellisuuteen etätyöllä oli vaikutusta ajankäytön tehostumisen ja paremman keskittymisen ja tehokkuuden myötä. Kyselyyn vastanneista reppureista suurin osa (keskimäärin 80 %) arvioi, että hänen ja esimiehen välillä vallitsee hyvä luottamus etätyötehtävien suorittamisesta ja hän saa esimieheltään riittävästi tukea ja kannustusta etätyöpäivien aikana.

## Haastatteluista syvällisempää tietoa etätyöskentelystä

Kyselytutkimuksen lisäksi kaikkiaan 19 vapaaehtoiselle reppurille tehtiin vuodenvaihteessa 2018–2019 yksilöllinen teema-haastattelu, jossa työn ja perheen suhteiden lisäksi syvennyttiin tarkastelemaan etätyöstä ja muista työaikajoustoista saatuja kokemuksia. Tyypillisin haastateltava oli 45-vuotias miesupseeri, jonka kotimatka oli 300 kilometriä ja kotona – omakotitalossa – puolison lisäksi on kaksi lasta. Haastatteluaineistossa oli myös muita reppureita kuin miesupseereja, jolloin saatiin monipuolisempi kuva etätyön tekemisestä erilaisten reppureiden näkökulmasta.

	% vastaajista
Oma jaksaminen	17
Ajankäytön optimaalisempi käyttö	13
Työn ja perheen yhteen sovittamisen helpottuminen	46
Parempi keskittyminen	4
Parempi tehokkuus	8
Työmotivaation lisääntyminen	5
Työmatkojen minimointi	6
Jokin muu seikka	1
	<b>100</b>

Taulukko 1. Etätyön tekemisen hyödyt, erilliskysely 2019, vastaajina etätyötä tehneet reppurit (n = 285). (Grafiikka: Nooa Savukoski)

Haastatteluiden aineisto analysoitiin sekä aineistolähtöisesti että teoriaohjaavasti. Haastatellut henkilöt olivat kaikki joko avo- tai avioliitossa, ja melkein kaikilla oli lapsia (osalla kuitenkin jo aikuisia). Haastatellut asuivat työviikkojen aikana työpaikkakunnallaan ns. reppuriasunnossa, joko Puolustusvoimien palvelussuhdeasunnossa tai yksityisessä vuokra-asunnossa. Haastatellut kommentoivat, että hyvin usein mahdollisuus työaikajoustoihin ja etätööhön oli ollut ratkaiseva edellytys sille, että tehtäväsiirron ja reppuruuden hyväksyivät niin perhe kuin reppuri itsekkin. Perheen sisäisissä neuvotteluissa pohdittiin mahdollisuuksia käyttää työaikajoustoja ja olla siten enemmän perheen parissa. Samassa paikassa palvelevilta kollegoilta saatettiin kysyä etukäteen kokemuksia työaikajoustoista.

Haastateltujen kokemukset etätyöstä jakautuivat kahtia; toiset olivat käyttäneet vain satunnaisia etätyöpäiviä tai eivät ollenkaan. Toisaalta oli niitä, jotka tekivät säännöllisesti useita päiviä (erityisesti maanantai- tai perjantaipäiviä) kuukausittain etätyötä. Useimmin etätyön tekemisen esteeksi haastateluissa mainittiin viikoittaiset sektoripalaverit tai muut läsnäoloa vaativat kokoukset. Lisäksi sotaharjoitusten ja virkamatkojen koettiin estävän etätyöpäivien käytön suunnitelmallisuutta.

*”Jos ei olis ollu etätyömahdollisuutta, niin en olis enää Puolustusvoimien palveluksessa.”*

Haastateltujen mielestä kaikkein merkityksellisin hyöty etätyöskentelystä oli lisääntynyt aika perheen ja yksityiselämän parissa. He kuvasivat pyrkivänsä sijoittamaan etätyöpäivät viikonlopun yhteyteen, jolloin yhdessäoloaika pitenee. Yhdessäoloa kartutti kuvausten mukaan myös se, että jo etätyöpäivää edeltävänä iltana ollaan läsnä perheen luona. Lisäksi reppurit kuvasivat olevansa perheen käytettävissä etäpäivinä, esimerkiksi lasten kotiutuessa koulusta.

Haastateltujen reppureiden keskimääräisen kotimatkan kuvattiin olevan useita satoja kilometrejä yhteen suuntaan (eräällä reppurilla jopa 800 kilometriä); tämä nostaa etätyön erääksi merkittäväksi hyödyksi työmatkojen minimoinnin ja välillisesti myös oman jaksamisen kohentumisen. Pitkät kotimatkat koettiin yleisesti uuvuttavina, ja niiden määrän vähentäminen etätyötä tekemällä hyödyttää kaikkia osapuolia, niin Puolustusvoimia, virkamiestä kuin virkamielen perhettäkin.

Etätyön erilliskyselyn aineistosta havaittiin työn tehokkuuden olevan eräs merkittävä hyöty. Samankaltaisesti myös haastateluissa kerrottiin hyvin usein, että rauhallinen etätyöpäivä kotona mahdollistaa tehokkaamman, keskittyneemmän ja tuloksetikkaamman työskentelyn kuin hälyinen toimisto ja ”ovenpieltä raapivat” kollegat. Erityisesti tuotiin esille se, että etätyöpäivänä saadaan tehokkaasti purettua hallinnollisten töiden kuormaa tai valmistaudutaan seuraavan viikon työtehtäviin. Tehokkaaksi koetusta etätyöstä tulevat onnistumisen ja aikaansaavuuden kokemukset lisäävät edelleen jaksamista ja työhyvinvointia.

### Etätyön työntekijälähtöinen kehittäminen

Reppurit toivoivat voivansa yksittäisten etätyöpäivien sijaan tehdä useampia päiviä yhteen jaksoon, jopa työviikon mittaisena. Esteeksi tällaiselle suunnitelmallisuudelle koettiin muun muassa läsnäolovelvollisuus virkapaikalla, sotaharjoitukset ja virkamatkat. Tiiviimmällä jaksottamisella minimoitaisiin työmatkojen määrää, ja välillisesti kohentuisi myös reppurin jaksaminen, kun uuvuttavan pitkät ajomatkat vähenisivät.

Etätyötä tekevät reppurit toivat säännönmukaisesti haastateluissa esille sen, että etätyöpäivän virastotyöajasta voitai-

siin joustaa nykyistä enemmän. He kertoivat aloittavansa työnteon aikaisin aamulla ja pitävänsä lyhyen ruokatauon, jolloin työpäivän voisi päättää aiemmin iltapäivällä. Eli perinteisen kellonaikaan liittyvän näkökulman rinnalle he halusivat nostaa joustavampaa työn ajallistamista. Lisäksi haastatteluissa toivottiin sitä, että etätyöpäivien yhteydessä voisi käyttää Puolustusvoimien muita työaikajoustoja, kuten työaikaliukumia – tämä oli toiveena erityisesti niillä reppureilla, joiden puoliso oli vuorotyössä. Heidän mukaansa nykyisin käytössä olevat työajanseurantajärjestelmät mahdollistaisivat etätyötä tekevän ja mahdollisesti jopa työaikajoustoja käyttävän työajan seuraamisen reaaliaikaisesti.

Haastateltavilta kysyttiin, miten he suhtautuisivat, jos seuraavassa tehtävässä ei pystyisikään käyttämään etätyömahdollisuutta tai muita työaikajoustoja. Usea vaihtaisi silloin tehtävää tai jopa työnantajaa, perheen edun mennessä siten virkauran edelle. Kaikki haastatellut toivat kuitenkin myönteisenä esille sen, että etätyön tekemisen kulttuuri on Puolustusvoimissa viime vuosina kehittynyt sekä esimiesten että kollegoiden taholta positiivisemmaksi ja työntekijälähtoisemmäksi. Haastatteluissa kommentoitiin, että työyhteisötasolla läpinäkyvyys etätyönä tehtävien töiden suhteen toisi mahdollisesti lisää myötämielisyyttä. Tämän tutkimuksen perusteella suositellaan, että työyhteisöissä keskustellaan avoimemmin etätyöstä ja etätyöpäivän työtehtävistä.



(Kuva: Puolustusvoimat / Jarno Kovamäki)

#### **Kirjoittaja:**

Yhteiskuntatieteiden maisteri Anitta Hannola työskentelee tutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen toimintakykyosastossa psykososiaalisen toimintakyvyn tutkimusalalla. Hän on perehtynyt henkilöstöalan kysely- ja muihin tutkimuksiin.





## Sotilaslääketieteen keskus

# Varusmiesten tupakka- ja nikotiinituotteiden käyttö ja sen merkitys suorituskyvylle



Tupakoinnin haittavaikutukset ovat nähtävissä myös Puolustusvoimissa. (Kuva: Puolustusvoimat)

**Taistelijan terveyttä ja toimintakykyä edistetään monin keinoin, jotta Puolustusvoimat pystyy tuottamaan toimintakykyisiä taistelujoukkoja. Yksi keino on vähentää tupakka- ja nikotiinituotteiden käyttöä.**

**Tupakoinnin aiheuttamat terveyshaitat on laaja-alaisesti tunnistettu ja tunnustettu. Sen sijaan vähemmän on puhuttu muiden tupakka- ja nikotiinituotteiden, kuten nuuskan ja sähkösavukkeiden, vaikutuksesta terveyteen. Yhteinen nimittäjä on nikotiini ja sen voimakkaasti riippuvuutta aiheuttava vaikutus, joka on heroïiniakin vahvempi.**

Terveyttä ja toimintakykyä heikentävät kaikki tupakka- ja nikotiinituotteet, eivät pelkästään savukkeet. Nuuska sisältää n. 2 500 erilaista kemikaalia, vähintään 20 syöpää aiheuttavaa ainetta ja suuren määrän nikotiinia, joka imeytyy tehokkaasti verenkiertoon. Lisäksi nuuskassa on riippuvuutta tehostavia ainesosia. Keskivertonuuskaaja nauttii vuorokaudessa nikotiinimäärän, joka on verrattavissa 20 savukkeeseen.

Sähkösavukkeen vaarallisuudesta on tullut lisää näyttöä viime aikoina USA:ssa, kun aiemmin nuoret ja terveet henkilöt ovat sairastuneet vakavasti. Lisäksi osa laitteista aiheuttaa räjähtämisvaaraa.

## Monenlaisia terveysvaikutuksia

Nikotiini heikentää verenkiertoa etenkin pienissä verisuonissa, nostaa verenpainetasoa ja kuormittaa sydän- ja verenkiertoelimistöä aiheuttaen voimakkaan stressitilan elimistöön. Heikentynyt mikroverenkierto altistaa melu- ja liikuntaelinvammoilille ja hidastaa kudosten parantumista. Kaikkien sotilaiden ja urheilijoiden sekä eritoten voimakkaille kiihtyvyysovoimille altistuvien sotilaslentäjien pitäisi ymmärtää tämä tukirankaa heikentävä vaara. Mieskuntoisuutta heikentävää vaikutusta ei pidä myöskään unohtaa.

Savukkeen syöpää aiheuttava vaikutus on hyvin tiedossa, mutta myös nuuskaa kulkeutuu ruoansulatuskanavan kautta sisäelimiin ja sen on todettu olevan yhteydessä useaan syö-

pään. Lisäksi nuuskapussien epähygieeninen käsittely altistaa tartuntataudeille ja voi edistää epidemioiden leviämistä varuskunnissa.

Tutkimukset viittaavat tupakka- ja nikotiiniuotteiden yhteyteen yli sukupolvien esiintyviin terveysongelmiin. Vieroitusoireet saattavat heikentää yksilön fyysistä ja psyykkistä toimintakykyä merkittävästi, kun keskittyminen ja unen laatu heikkenevät, mutta ärtyisyys ja ahdistuneisuus lisääntyvät. Pitkällä aikavälillä tupakka- ja nikotiiniuotteiden säännöllinen käyttö aiheuttaa merkittävää haittaa kansanterveydelle.

Puolustusvoimat käynnisti vuonna 2013 Tupakoimattomuuden edistäminen Puolustusvoimissa -hankkeen yhteistyössä keuhkoterveysjärjestö Filha ry:n ja Suomen Syöpäyhdistyksen kanssa. Hanketta toteutettiin vuoteen 2017 asti, ja sen tavoitteena oli vähentää tupakkatuotteiden käyttöä Puolustusvoimissa asennemuutoksen, sisäisten ohjeiden tarkentumisen ja paremman lopettamisen tuen avulla.

### Kyselytutkimuksen tuloksia

Vuosina 2014–2016 Puolustusvoimat selvitti yhdessä keuhkoterveysjärjestö Filha ry:n kanssa varusmiesten tupakka- ja nikotiiniuotteiden käyttöä, asenteita ja lopettamismotivaatiota. Kysely tehtiin varusmiehille varusmiespalveluksen alussa kolmessa eri varuskunnassa (Kaartin jääkäriyrykmentti Helsingissä, Karjalan prikaati Vekaranjärvellä ja Kainuun prikaati Kajaanissa). Kysely toistettiin viidennen palveluskuukauden kohdalla, jolloin osa varusmiehistä päättää palveluksensa. Kyselyyn vastasi vuosina 2014–2016 palveluksen alussa 4 876 varusmiestä ja viidennen kuukauden kohdalla 1 636 varusmiestä.

Ensimmäinen tieteellinen artikkeli tutkimustuloksista julkaistiin syyskuussa 2019 BMC Public Health -lehdessä otsikolla “Alarming Development of Dual Use of Cigarettes and Snus Among Young Finnish Males”. Julkaisussa tarkasteltiin vuoden 2014 kyselytutkimustuloksia, jolloin havaittiin nuuskan käytön olevan paljon laajempaa kuin väestötason kyselyiden tietojen perusteella olisi voinut odottaa. Kolmannes (34 %) varusmiehistä nuuskasi ja 40 % tupakoi. Noin 20 % käytti samanaikaisesti nuuskaa ja tupakkaa. Sähkösavukkeiden käyttö oli vähäistä. Lisäksi havaittiin, että siirtyminen yhdestä tupakkatuotteesta toiseen oli huomattavan yleistä. Noin 35 % tupakoinnin lopettaneista ilmoitti siirtyneensä nuuskan käyttäjiksi. Vastausprosentti 97 % oli huomattavan korkea. Kyselyt tehtiin palveluksen ensimmäisten kahden viikon aikana, joten tulokset kuvastivat myös yleisesti suomalaisten nuorten miesten nuuskauksen tasoa.

Vuosina 2014–2016 saatujen tulosten perusteella voidaan todeta, että kyselyyn vastanneista varusmiespalvelua suorittavista miehistä tupakoi päivittäin keskimäärin 25 % ja luku kasvoi palveluksen aikana 1 %:lla. Satunnaisesti tupakoivia

vastajia oli palveluksen alussa 13 %, ja näiden vastaajien osuus kasvoi palveluksen aikana 4 %:lla. Sähkösavukkeiden käyttö (2,5 %) oli vähäistä.

Palveluksen alussa kyselyyn vastanneista varusmiehistä nuuskasi päivittäin 14 % vuonna 2014, 18 % vuonna 2015 ja 19 % vuonna 2016. Satunnaisesti nuuskaavia vastaajia oli 19 % vuonna 2014, 19 % vuonna 2015 ja 16 % vuonna 2016. Lakossa oleviksi tai nuuskan käytön lopettaneiksi ilmoittautui 6 % vastaajista kaikkina kolmena vuonna. ”En ole koskaan nuuskannut” vastasi 60 % vastaajista kaikkina kolmena vuonna.

Nuuskan käytön lisääntymisestä osa selittyy tupakoinnin korvaamisella nuuskalla, osa nuuskan käytöllä tupakoinnin rinnalla ja osa uusilla käyttäjillä. Kaiken kaikkiaan nuuskan käyttö on selvästi nouseva trendi ja käyttäjien määrä on verrattain suuri jo varusmiespalveluksen alussa ja lähenee tupakoinnin tasoa.

Kyselyistä käy ilmi huolestuttava piirre: nuuskaajat pitävät nuuskaamista verrattain terveellisenä vaihtoehtona tupakoinnille. Suurin osa tupakoijista tiedostaa tupakoinnin vaarat terveydelle ja yli puolet haluaisi lopettaa. Sen sijaan nuuskaajien motivaatio lopettaa on huomattavasti heikompi kuin tupakoijien. Nuuskaa pidetään pitkiä aikoja suussa, ja nikotiinia erittyy elimistöön koko tämän ajan. Nuuskan käyttö ja yhteiskäyttö voivatkin johtaa vaikeampaan riippuvuuteen kuin pelkkä savukkeiden polttaminen. Tätä vaaraa nuuskaajat eivät usein tunnista.

Kyselyiden tulokset auttoivat tarkentamaan hankkeen tavoitteita ja toimintasuunnitelmaa. Vuonna 2016 Puolustusvoimat julkaisi Tupakoimattomuuden edistäminen Puolustusvoimissa -suosituksen. Sen avulla pyritään siihen, että kaikissa Puolustusvoimien hallintoyksiköissä on jatkossa selkeät ja yhtenevät pelisäännöt ja Puolustusvoimien terveydenhuolto ohjeistetaan ja koulutetaan antamaan tukea lopettamista pohtiville. Lisäksi Puolustusvoimat tarjoaa lopettamishalukkaalle henkilökunnalle lopettamisen tukea työterveyshuollossa.

### Tukea ja ennalta ehkäisevää työtä

Tällä hetkellä Puolustusvoimissa on käynnissä kaksi tupakoi- mattomuutta edistävää yhteistyöhanketta keuhkoterveysjärjestö Filha ry:n kanssa. Toinen hankkeista, Irti nuuskasta, on suunnattu varusmiehille, ja se käynnistyi vuoden 2019 alussa. Toinen hankkeista keskittyy koko Puolustusvoimien organisaatioon, kantahenkilökunnan nikotiiniuotteiden käytön vähentämiseen ja terveydenhuollon vieroitusosaamisen lisäämiseen. Hankkeessa tehdään tutkimusta tupakka- ja nikotiiniuotteiden käytöstä ja nuuskan vaikutuksesta terveyteen ja suorituskykyyn.





Nuuskan käytöstä ei puhuta yhtä paljon kuin tupakoinnista, vaikka silläkin on todettuja haittavaikutuksia. (Kuva: Puolustusvoimat)

Puolustusvoimat on tiedostanut tupakkakulttuurissa tapahtuneen muutoksen ja jatkaa pitkäjänteistä työtä tupakoimattomuuden edistämiseksi ja nuuskan käytön vähentämiseksi. Pääesikunta antoi kesällä 2019 käskyn, joka velvoittaa kaikkia Puolustusvoimien hallintoyksiköitä päivittämään Tupakoimattomuuden edistäminen Puolustusvoimissa -suosituksen. Puolustusvoimien tahtotila on tukea sekä varusmiesten että henkilöstön terveyttä ja terveellistä toimintakulttuuria monin tavoin, myös nuuskauksen ja tupakoinnin vähentämisessä. Tämänkaltaisen ennalta ehkäisevä työ vähentää tutkitusti sairautensaaloja ja parantaa sekä suorituskykyä että työkykyä.

#### Kirjoittajat:

Lääketieteen lisensiaatti Maria Danielsson toimii päällikkölääkärinä Pääesikunnan terveysasemalla. Hän erikoistuu työterveyshuollon erikoislääkäriksi ja kirjoittaa väitöskirjaa Helsingin yliopistolla lääketieteellisessä tiedekunnassa. Filosofian tohtori Anelma Lammi toimii Filha ry:ssä tupakoimattomuuteen liittyvissä hankkeissa, tällä hetkellä Irti nuuskasta -hankkeen vastaavana. Lääketieteen tohtori, lääkintäprikaatikenraali Simo Siitonen on Puolustusvoimien ylilääkäri.

Kaikki kolme kirjoittajaa ovat mukana ryhmässä, joka tutkii varusmiehille vuosina 2014–2016 tehtyjen tupakka- ja nikotiini tuotteiden käyttöä koskevien kyselyjen tuloksia.



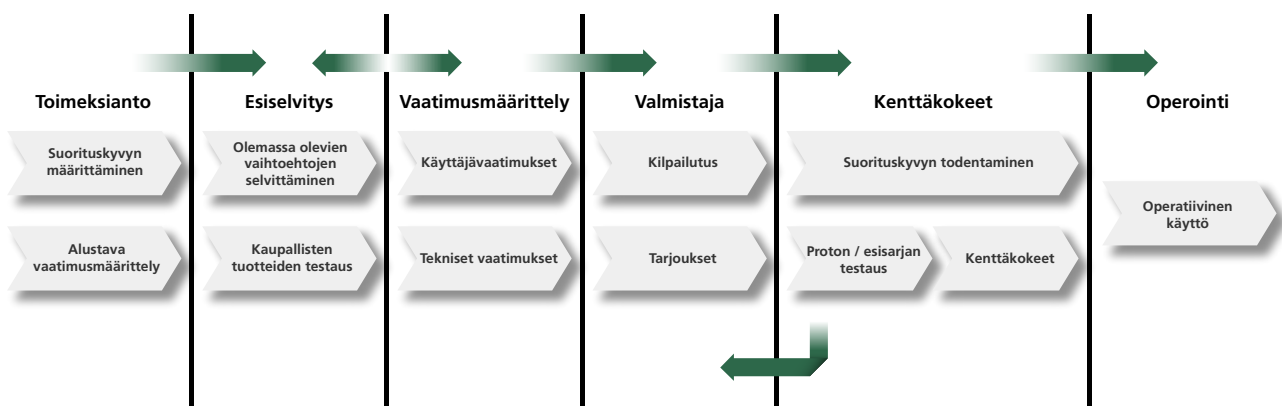




## **Maasotakoulu**

# Huollon tutkimus- ja kehitystyö osana Maavoimien suorituskyvyn rakentamista

## Suorituskyvyn rakentaminen



Maavoimien huollon suorituskyvyn rakentaminen. (Kuva: Maavoimien tutkimuskeskus)

Suorituskyvyn rakentaminen perustuu poikkeusolojen tarpeeseen. Kun tämän ymmärtää, niin ymmärtää suorituskyvyn rakentamisesta oleellisimman. Asia kuitenkin unohtuu useimmiten normaalioloissa. Tämä on määritetty vuonna 2018 myös Logistiikkastrategiassa, jossa puhutaan taistelujärjestelmien huollosta (linja 1-2). Tällä tarkoitetaan operaatioiden edellyttämää välitöntä tukea, joka kenttähuoltojoukoilla on itsellään. Tutkimus- ja kehittämistoiminnan päämääränä on tuottaa hankkeelle suorituskykyvalintojen tekemiseen tarvittava tieto, jotta saisimme parhaan mahdollisen suorituskyvyn Suomen olosuhteisiin sekä kenttähuoltojärjestelmään soveltuvia ja resurssien näkökulmasta kestäviä ratkaisuja. Maavoimien tutkimuskeskuksen tutkimus- ja kehittämisosaston huoltosektorin päätyönä on tuottaa tietoa hankkeille, jotka tuottavat suorituskykyä kenttähuoltojoukoille. Artikkeleissa avataan huoltosektorin roolia Maavoimien huollon suorituskyvyn rakentamisessa.

Kaiken perustana on tunnistaa suorituskyvyn puutteet. Tämä tarkastelu tehdään poikkeusolojen joukkojen näkökulmasta, eivätkä normaaliolojen kalustopuutteet saa sumentaa tarkastelua. Esimerkiksi jollain joukolla on koulutusikätyössä liian vähän monikijöitä ja hanke tuottaa vain peräkärriä. Tämä voi aiheuttaa ihmetystä, mikäli ei tiedä taustalla olevia asioita. Tällaiset selkeästi ”kaupalliset” tuotteet ovat sinänsä helppoja, koska ne ovat hyvin pitkälle valmiita tuotteita. Tämänkaltaisten tuotteiden hankinnoissa kuitenkin korostuu vaati-

musmäärittely, jotta saamme käyttööme soveltuvimman tuotteen, huomioiden koulutuspuolen, varaosat, elinkaari-kustannukset, jne. Käyttjävaatimusten määrittelyssä pitää aina kuunnella loppukäyttäjiä, koska heillä on ymmärrys siitä, mitä tuotteella pitää kyetä tekemään.

Riippumatta rakennettavasta suorituskyvystä kaikki tutkimus- ja kehittämistoiminta lähtee liikkeelle kysymyksellä Minkä joukon käyttöön tuote on menossa? On ihan selvää, että huoltojoukot eivät tarvitse 10 000 litran polttoainetäydennyskykyä vaan heille riittää muutamien satojen litrojen kyky. Polttoainetäydennysten suorituskyvyn rakentaminen on sinänsä helppoa, koska Suomessa on paljon toimijoita, jotka valmistavat erinäköisiä ja -kokoisia säiliöitä tai pakkauskäytöksiä. Haasteena näissä kuitenkin on se, että ne on lähtökohdaisesti tehty siviilimaailman tarpeet huomioiden, jolloin ne eivät välttämättä sovellu suoraan huoltojoukkojen käyttöön. Esimerkiksi Fincontin valmistama DPU perustuu merikonttiin sijoitettuihin noin 3 000 litran IBC-pakkauksiin ja polttoaineen jakelulaitteisiin. Kontti on alun perin suunniteltu käytettäväksi isojen työmaiden polttoainehuoltoon. Kontti on sinänsä toimiva, mutta koska sitä ei ole suunniteltu jatkuvasti siirrettäväksi, eivät esimerkiksi oviratkaisut olisi olleet meidän käyttööme soveliaat ja polttoaineen jakotoimintaan tarvitsemme useamman pistoolin.

Huollon suorituskyvyn kehittämisen ominaispiirteinä voidaan tunnistaa kaksi asiaa. Huoltoa on jokaisella aselajilla, ja



Fincont DBU:n testaus. (Kuva: Maavoimien tutkimuskeskus)

siksi huollon toteuttamiseen tulee aselajien mukaan joitain ominaispiirteitä. Toisena asiana voidaan nähdä, että suorituskyvyn pitää kasvaa, kun siirrytään organisaatiossa ylemmäs, jääkärikomppanian huoltojoukkueesta taisteluosaston huoltokomppaniaan. Suorituskyvyn kasvulla ei suoraan tarkoiteta materiaalmäärän kasvattamista. Esimerkkinä tästä on lääkinnän ketju. Taistelijalla on ensiapusarja, jolla kyetään aloittamaan taisteluensiapu. Ryhmän taistelupelastajalta löytyy vähän enemmän ja erilaista välineistöä, jolla kyetään täydentämään aloitettu taisteluensiapu. Joukkueen lääkintämieheltä löytyy taas sellaista välineistöä, jolla hän kykenee

täydentämään lisää jo aloitettua taisteluensiapua. Tässä esimerkissä hoitovälineiden määrä ja henkilöiden ammattitaito kasvavat eri tasoilla.

Suorituskyvyn rakentamisessa pyritään suosimaan ”valmiita” kaupallisia tuotteita mahdollisimman pitkälle. Niissä voi kuitenkin piillä vaaranpaikka. Meillä on jo paljon tuotteita, jotka tiedämme toimiviksi, mutta näistä tuotteista saattaa olla ”piraatti”kopioita olemassa. Lääkintäpuolen materiaaleissa pitää olla varsinkin todella tarkkana. Uusien tuotteiden käyttöön ottamisessa ei sinänsä ole mitään pahaa, mikäli jo saavutettu suorituskyky kyetään ylläpitämään tai sitä kyetään kasvattamaan. Mutta lähtökohtaisesti emme voi ottaa mitään uutta tuotetta testaamatta käyttöön.

Suorituskyvyn rakentaminen on monitahoinen asia, jossa kaikki vaikuttaa kaikkeen. Yhtenä isoimpana vaikuttajana ovat eurot. On selvää, että kaikille ei saada kaikkea, ainakaan heti alussa vaan ehkä ajan kanssa. Tämän vuoksi tutkimus- ja kehittämistoiminnalla on iso rooli, kun pitäisi löytää sellaiset tuotteet, jotka palvelisivat vielä useiden vuosien päästäkin. Tai kun emme voi hankkia sitä parasta ja kalleinta vaan on löydettävä se tuote, jolla pärjäämme. Nämä ovat kaiken kaikkiaan hankalia asioita, koska mielipiteitä on paljon eikä kukaan kykene sanomaan, mitkä ratkaisut tai valinnat ovat tulevaisuudessa oikeita.



Kunnossapitopaikka. (Kuva: Maavoimien tutkimuskeskus)

#### Kirjoittaja:

Kapteeni Ville Viljaranta toimii Maavoimien tutkimuskeskuksen tutkimus- ja kehittämisosaston huoltosektorin johtajana.





## **Merisotakoulu, Meritaistelukeskus**



# Turvallisuuskriittisten ohjelmistojen käyttöturvallisuuden varmistaminen Puolustusvoimissa

Artikkeli pohjautuu vuonna 2017 julkaistuu väitöskirjatutkimukseen ”Turvillisuuskriittisten ohjelmistojen käyttöturvallisuuden varmistaminen”. Tämän tutkimuksen tutkimusongelmana oli tarkastella, millaisin menetelmin asiakasorganisaatio kykenisi varmistamaan turvallisuuskriittisten järjestelmien käyttöturvallisuudesta. Tutkimuksen tuloksena kehitettiin Merivoimien kontekstiin soveltuva prosessimalli turvallisuuskriittisten ohjelmistojen käyttöturvallisuuden varmistamista varten. Tutkimuksen normatiivisena tavoitteena oli lisätä ymmärrystä Merivoimissa siitä, millä tavoin turvallisuuskriittiset ohjelmistot vaikuttavat asejärjestelmien käyttöturvallisuuteen ja millaisin menetelmin siihen voidaan vaikuttaa.

Järjestelmien digitalisoituminen johti jo 2000-luvun alussa tilanteeseen, jossa asejärjestelmien toiminnallisuudesta noin 80 % tuotettiin ohjelmistollisesti, kun vielä 1970-luvun alussa niin tuotettiin noin 20 %. Nykyään voi todeta, että asejärjestelmien kaikki toiminnot ovat käytännöllisesti katsoen 100-prosenttisesti ohjelmistopohjaisia.

Ohjelmistopohjaisuuden kasvaminen on johtanut ohjelmistokokojen suurenemiseen ja kompleksisuuden lisääntymiseen. Kuvassa 1 esitetään USA:n hävittäjien eri sukupolvien ohjelmistojen lähdekoodien kokojen kasvu vuosien 1974 ja 2012 välisenä ajanjaksona. Operatiivisesti toimivan hävittäjälentokoneen ohjelmiston lähdekoodin koko on kasvanut eksponentiaalisesti 1970-luvun alkupuolelta vuoteen 2012 saakka. Yhdysvaltojen uusimman lentokonetyypin F-35:n lähdekoodin lopullisen ohjelmistoversion suuruudeksi on arvioitu noin 24 miljoonaa koodiriviä.

## Ohjelmistojen kompleksisuuden kasvun mukanaan tuomat haasteet

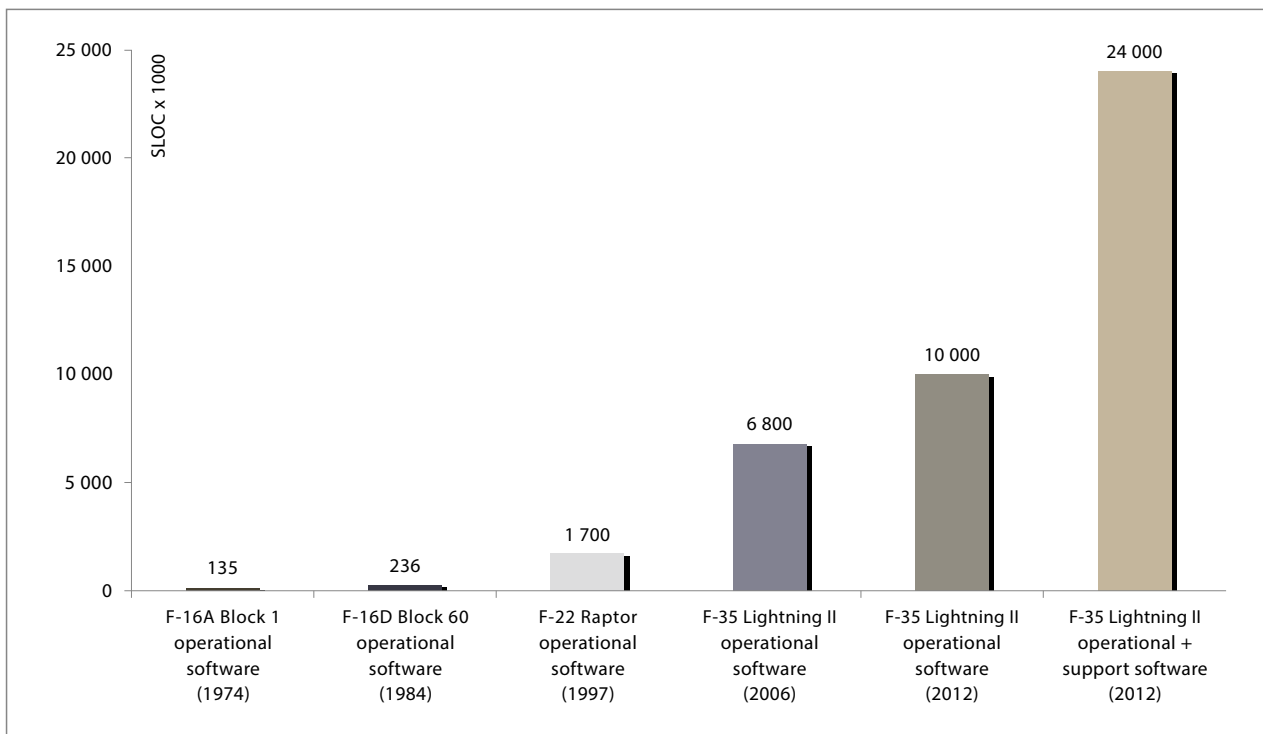
Ohjelmiston kompleksisuus on ominaisuus, jonka lisääntyminen kasvattaa järjestelmän onnettomuusriskiä. Tapahtuneiden onnettomuuksien tutkimuksen perusteella ohjelmistojen kehitysprosessissa on todettu olleen suuria puutteita niiden vaatimusmäärittely-, arkkitehtuurisuunnittelu-, riskien-

hallinta-, implementointi-, verifointi- ja konfiguraation hallintaprosesseissa. On myös huomattava, että konfiguraationhallinta pitää ulottaa koskemaan myös järjestelmän toimintaparametrien hallintaa. Edellä mainituissa prosesseissa tehdyt virheet ovat pääosin johtuneet siitä, että järjestelmäohjelmiston tuottanut yritys ei ole tuntenut järjestelmän operatiivista käyttöympäristöä riittävän tarkasti. Käytäntö on osoittanut, että tämäntyyppiset semanttiset virheet eivät välttämättä ilmene järjestelmätesteissä kuten pääosa syntaksivirheistä. Ohjelmiston semanttiset virheet paljastuvat yleensä vasta järjestelmän operatiivisessa ympäristössä, jonkin ennalta määrittelemättömän olosuhteen vallitessa ja aiheuttavat samalla kohonneen onnettomuusriskin.

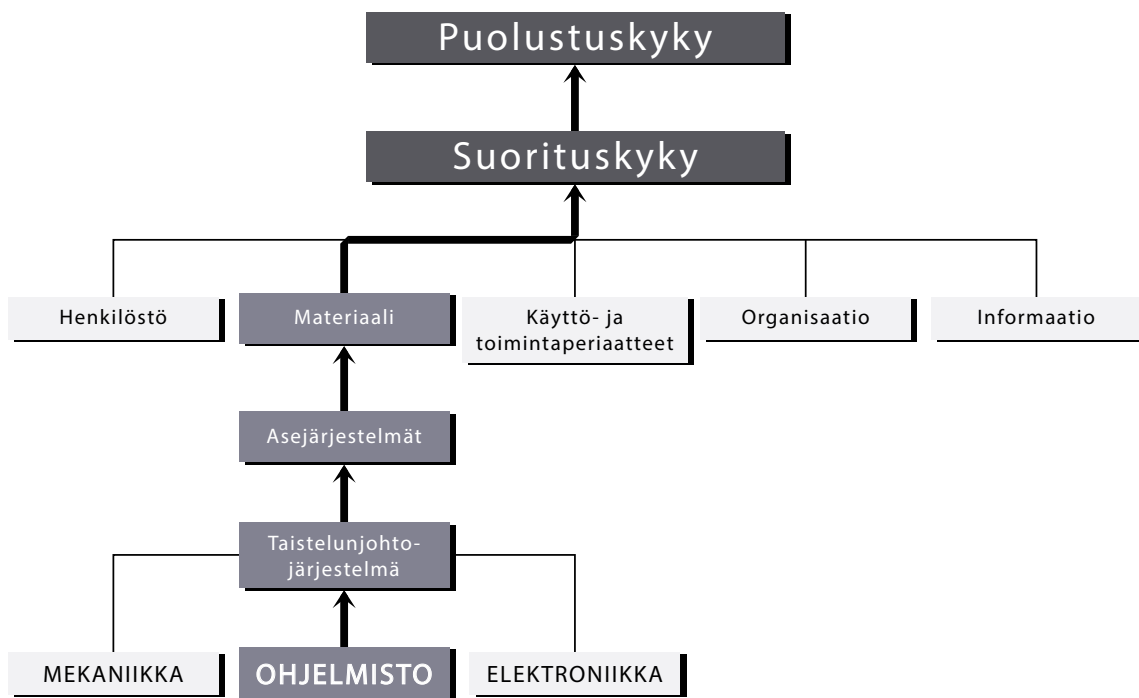
Ohjelmiston kompleksisuuden kasvulla on havaittu olevan selkeä korrelaatio mm. ohjelmistovikojen kasvuun, luotettavuuden heikkenemiseen, huollettavuuden tarpeeseen, ylläpitokustannusten kasvuun sekä järjestelmäohjelmistojen myöhästymisiin ja kohonneisiin kustannuksiin. Ohjelmistolla, jolla on korkea kompleksisuusaste, voivat ylläpitokustannukset nousta noin 25 % suuremmiksi kuin vähemmän kompleksisen ohjelmiston. Modernien asejärjestelmien hankintakustannukset kasvavat vuodessa 6–10 %, jolloin niiden hinta kaksikertaistuu 7–10 vuoden välein. Uusi tekniikka ei sinänsä ole syytä hinnan nousuun vaan uuden tekniikan mukanaan tuomat mahdollisuudet suorituskyvyn parantamiseen. Asejärjestelmien kokonaiskustannuksista on todettu syntyvän merkittävä osa ohjelmistokehityksen vaatimasta työmäärästä. Esimerkiksi ruotsalaisen Saab JAS Gripen NG:n alkuperäisistä kehityskustannuksista noin 1/3 muodostui ohjelmistokehityksestä.

Ohjelmistoilla on myös merkittävä rooli suoraan Suomen puolustuskykyyn saakka. Kuvassa 2 on esitetty asejärjestelmän esimerkkinä taistelunjohtajärjestelmä, jonka rakenne koostuu mekaniikasta, ohjelmistosta ja elektroniikasta. Ohjelmistot ovat hierarkkisesti alimmalla tasolla, josta niiden toiminnallinen vaikutus ulottuu asejärjestelmien, materiaalin ja suorituskyvyn toimintojen kautta Suomen puolustuskykyyn saakka.

Turvallisuuskriittisillä järjestelmillä (Safety-Critical System) tarkoitetaan järjestelmiä, jotka vikaantuessaan voivat aiheuttaa merkittäviä taloudellisia menetyksiä ja ympäristötuhoja tai uhata ihmishenkiä. Turvillisuuskriittisiä järjestelmiä on tyypillisesti ilmailu-, merenkulku- ja rautatieliikenteessä, ydinvoimaloiden prosessien hallinnassa, terveydenhuollossa sekä asejärjestelmissä.



Kuva 1. Ohjelmistojen lähdekoodin koon kasvaminen USA:n hävittäjätyypeissä.



Kuva 2. Ohjelmistojen vaikutus puolustuskykyyn.

## Turvallisuus terminä

Turvallisuus on suomen kielen käsitteenä laaja ja moniulotteinen kokonaisuus, jonka täsmällinen määrittely riippuu poikkeuksetta tarkastelun näkökulmasta ja siihen liittyvästä kontekstista. Suomen kielessä turvallisuuskäsite saattaa lisäksi sekoittaa myös turvallisuuden tunteen käsitteeseen. Suomenkielinen termi turvallisuus ja ruotsinkielinen termi säkerhet ovat yleismuotoisia, ja niiden käytön yhteydessä on aina selvennettävä lisätermillä, millaisesta asiansyhteydestä on kyse (tietoturvallisuus, työturvallisuus, järjestelmäturvallisuus, valtioturvallisuus jne.).

Englannin kielessä ei ole yleistermiä turvallisuudelle, kuten suomen ja ruotsin kielissä, sillä termit safety ja security viittaavat suoraan siihen, millaisiin asiansyhteyksiin ne liittyvät. Safetyn olemus sisältää inhimillisyyden ja tahattomuuden, eli se liittyy ns. puhtaisiin onnettomuuksiin (esim. inhimillisestä erehdyksestä johtuneet onnettomuudet). Securityn luonteeseen liittyy yleensä tarkoituksellinen tahallisuus, tuottamuksellisuus sekä suunnitelmallisuus. Nämä liitetään yleisimmin rikolliseen toimintaan, kuten tietoturvaluuteen tai terrorismiin. Safety- ja security-termit kuvaavat suojautumista jotain tiettyä uhkaa vastaan. Kuvassa 3 on esitetty järjestelmäk kontekstissa, miten safetyn ja securityn merkitykset eroavat toisistaan.

Järjestelmän kontekstissa tarkasteltuna safety-termillä tarkoitetaan ympäristön suojautumista järjestelmän aiheuttamia uhkia vastaan. Security-termillä tarkoitetaan päinvastaista suojautumista eli järjestelmän suojautumista ympäristön aiheuttamia uhkia vastaan.

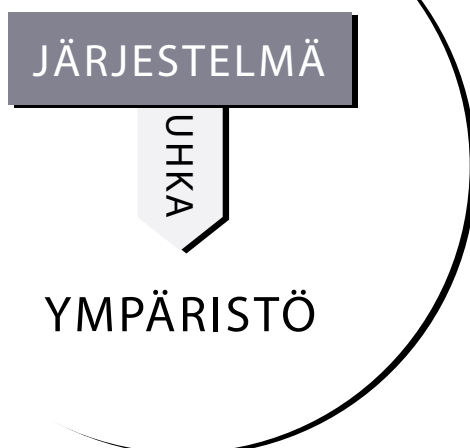
## Turvallisuus ≠ Luotettavuus

Turvallisuus on ominaisuus, jolla kuvataan olotilaa eli vapautta onnettomuuksista ja menetyksistä. Luotettavuudessa tarkastellaan todennäköisyyttä, jossa esim. jokin komponentti täyttää sille asetetut vaatimukset tietyllä ajanjaksolla ja tietyissä olosuhteissa. Turvallisuus ja luotettavuus kuvaavat siten eri ominaisuuksia, eikä niitä pidä sekoittaa toisiinsa. Todellisuudessa luotettavaksi osoitettu tai luotettavaksi käytössä osoittautunut järjestelmä voikin olla vaarallinen tai päinvastoin, ja käytössä epäluotettavaksi osoittautunut järjestelmä voi puolestaan olla erittäin turvallinen. Luotettavuustekniikan näkökulmasta esim. Tshernobylin ydinvoimalakin oli lukuarvojen valossa erittäin luotettava, mutta laitoksen käyttöturvallisuudessa olisikin sitten ollut parannettavaa.

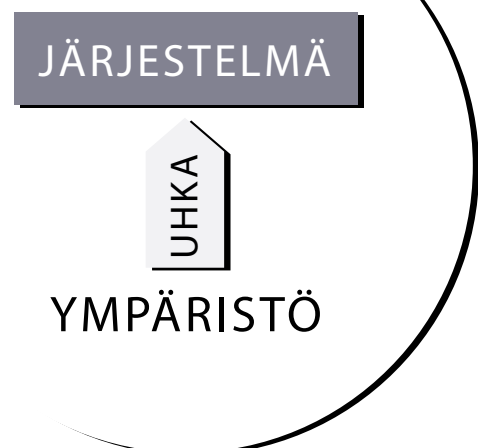
## Järjestelmäturvallisuus

Järjestelmäturvallisuudella (System Safety) tarkoitetaan systemaattista lähestymistapaa, jonka avulla voidaan ymmärtää ja hallita kompleksisten järjestelmien riskejä ja vaaroja sekä estää mahdollisten onnettomuuksien syntyminen. Järjestelmäturvallisuuden käsitteen katsotaan syntyneen 1940-luvun lopulla Yhdysvaltojen Minuteman-ohjusjärjestelmien kehittämisen yhteydessä. 1960-luvulla konseptia käytettiin Yhdysvalloissa laajalti ilmailu-, ohjus- ja avaruusjärjestelmien käyttöturvallisuuden parantamiseksi. Järjestelmäturvallisuus onkin tunnistettu useissa ulkomaisissa sotilasorganisaatioissa (mm. Australia, Iso-Britannia, Ruotsi, Yhdysvallat) omaksi turvallisuudenhallinnan alueekseen. Näiden maiden sotilasorganisaatiot käyttävät järjestelmäturvallisuusohjelmaa turvallisuuskriittisten järjestelmien käyttöturvallisuuden varmistamisen perustana.

## SAFETY



## SECURITY



Kuva 3. Safety vs. Security.

## Ei-toiminnallisista vaatimuksista järjestelmän käyttövarmuuskokeisiin

Ei-toiminnalliset ominaisuudet eli ns. ”käyttäytymisattribuutit” (engl. ”ilities”-päätteiset termit) määrittelevät ohjelmiston laadun. Näitä ovat mm. luotettavuus (Reliability), suorituskyky (Performance), virheensietokyky (Fault Tolerance), käyttöturvallisuus (Safety), tietoturva (Security), saatavuus (Availability), testattavuus (Testability) ja huollettavuus (Maintainability). Näiden ominaisuuksien perusteella laadituista vaatimuksista laaditaan järjestelmän vastaanottoon liittyvät käyttövarmuustestit, kuten

- huollettavuus-attribuutti -> SW-asennustestit (mm. asennus/asennuksen poisto/päivitys/lokit)
- saatavuus-attribuutti -> latenssitestit (real-time-vaatimuksen mukaan raja-arvot)
- luotettavuus-attribuutti -> pitkäaikatestit, kuormitustesti (operatiivisen profiilin mukaan raja-arvot)
- virheensietokyky-attribuutti -> toipumistestit, verkkovika, järjestelmän pakotettu alasajo, black-out-testi jne.

## Vaatimusmäärittelyn tärkeydestä

Hankintaprojektin alussa asiakkaan tulee käynnistää järjestelmäturvallisuusprosessi, jonka avulla hankittavan järjestelmän käyttöturvallisuus varmistetaan. Mikäli järjestelmälle on suunniteltu elinjakso, kytketään järjestelmäturvallisuusprosessi yhteen elinjakson kanssa. Uuden hankittavan järjestelmän vaatimusmäärittelyn (tarvemäärittelyn) yhteydessä asiakkaan tulee edellyttää järjestelmätoimittajalta vähintään seuraavat asiat:

- pyrkimyksen järjestelmän ohjelmiston kompleksisuuden pienentämiseen ja sen osoittamiseen jonkin mitattavan menetelmän avulla
- esityksen järjestelmän toiminnallisten vaatimusten kriittisestä tarkastelusta (mitä toiminnallisia vaatimuksia voidaan poistaa järjestelmän suorituskyvyn siitä kärsimättä)
- järjestelmän ei-toiminnallisten vaatimusten esityksen, josta on johdettu järjestelmän käyttövarmuustestit
- järjestelmän käyttövarmuustestien suorittamista osana järjestelmän hyväksyntätestejä
- järjestelmä- ja ohjelmistoturvallisuusprosessia, jolla järjestelmän käyttöturvallisuus varmistetaan
- turvallisuustapausten käyttöä, jolla järjestelmän käyttöturvallisuus todennetaan asiakkaalle.

## Tapaustutkimukset

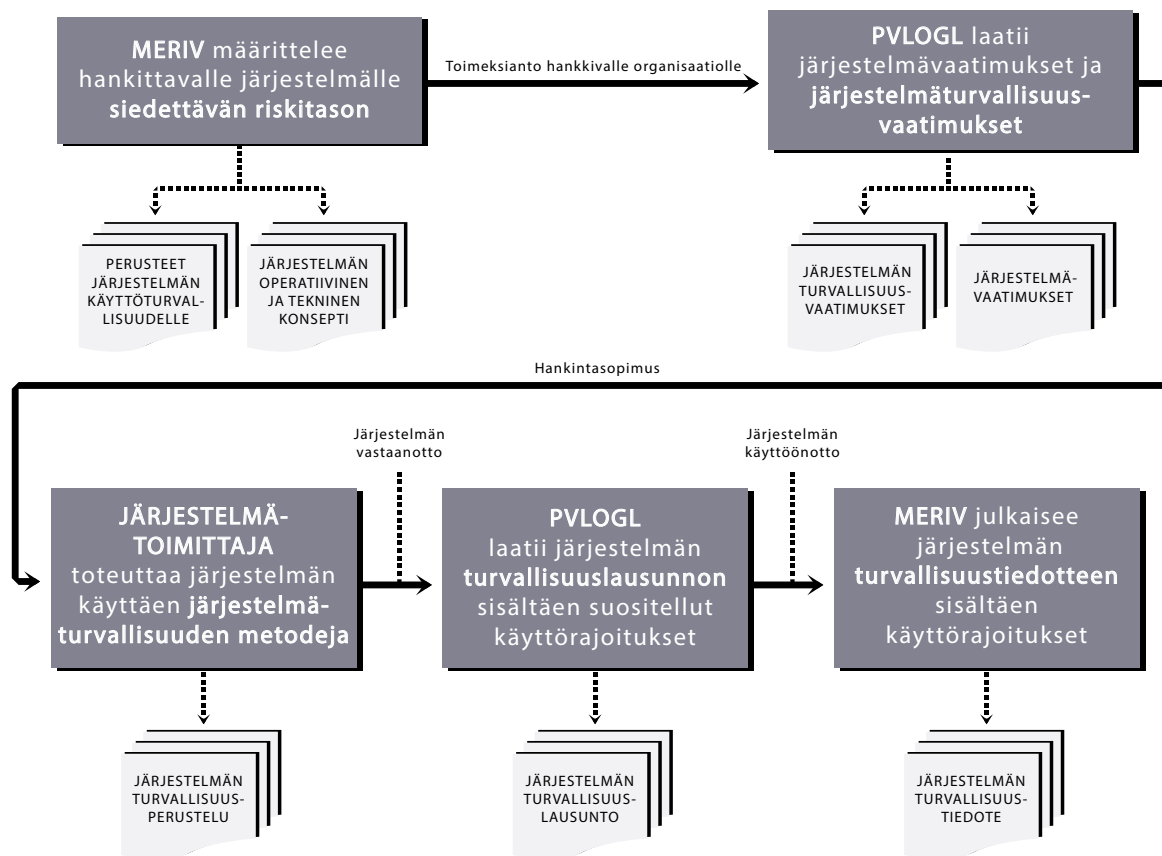
Väitöstutkimuksessa tarkasteltiin myös, millä tavoin Merivoimissa hallittiin turvallisuuskriittisten ohjelmistojen käyttöturvallisuutta Hamina-luokan taistelujohtojärjestelmän hankinnan ja käytön aikana. Tutkimuksen tuloksena todettiin, että Merivoimat ei ollut tunnistanut turvallisuuskriittisiin ohjelmistoihin liittyviä erityispiirteitä ja niiden mahdollisia vaikutuksia järjestelmien käyttöturvallisuuteen. Tätä havaintoa tuki myös se, että organisaatiossa ei havaittu olevan ohjeistuksia tai toimintaa ohjaavia normeja turvallisuuskriittisten järjestelmien ohjelmistojen käyttöturvallisuuden varmistamista varten.

Tapaustutkimuksessa tarkasteltiin lisäksi, tunnistettiin muutamissa kotimaisissa turvallisuuskriittisissä organisaatioissa ohjelmistojen käyttöturvallisuuteen liittyviä piirteitä. Tutkimukseen osallistuneista organisaatioista kolmessa neljästä oli tunnistettu ohjelmistojen vaikutus turvallisuuskriittisten järjestelmien käyttöturvallisuuteen. Organisaatioiden käyttämät menetelmät järjestelmien käyttöturvallisuuden varmistamiseen koostuivat mm. organisaatioiden sisäisistä ohjeistuksista, järjestelmien vaatimusmäärittelyistä sekä järjestelmien hyväksyntä- ja käyttöönottotesteistä. Toimialakohtaisten standardien mukaisesti toteutetut järjestelmät ja niiden päivitykset hyväksyttiin operatiiviseen käyttöön aina toimialaa valvovalla viranomaisella. Yhdessä organisaatiossa testattiin uusi ohjelmistoversio erillisessä testijärjestelmässä aina ennen, kuin se siirrettiin operatiiviseen järjestelmään. Järjestelmien vastaanottotestit olivat suunniteltuja ja sisälsivät myös ei-toiminnallisten vaatimusten testaamisen.

## Prosessimalli Merivoimien turvallisuuskriittisten järjestelmien käyttöturvallisuuden hallintaan

Väitöstutkimuksessa käytettiin konstruktivistista tutkimusotetta, jonka tuotteena laadittiin alustava prosessimalli turvallisuuskriittisten ohjelmistojen käyttöturvallisuuden hallintaan Merivoimissa. Prosessimallin periaatteena toimii kuvassa 4 esitetty luonnos järjestelmäturvallisuuteen liittyvistä päätteistä ja toimijoista.

Alkuvaiheessa Merivoimat suorituskykvastuullisena organisaationa laatii järjestelmän operatiiviset ja tekniset konseptit, joissa on myös määritelty perusteet järjestelmäturvallisuuden suunnittelun aloittamista varten. Vaiheessa 2 PVLOGL toimii järjestelmän hankkivana organisaationa ja laatii järjestelmän vaatimusdokumentaation. Vaatimusdokumentaatio sisältää teknisten vaatimusten lisäksi Merivoimien antamien perusteiden mukaisesti järjestelmäturvallisuuteen liittyvät vaatimukset. Vaiheen 3 aikana järjestelmätoimittaja rakentaa järjestelmän järjestelmäturvallisuuden toimintatapojen mukaisesti ja laatii todisteet järjestelmäturvallisuudesta asiakkaalle. Järjestelmäturvallisuus todennetaan mm. turvallisuusperustelun avulla. Vaiheessa 4 PVLOGL laatii turvallisuus-



Kuva 4. Periaate järjestelmäturvallisuuden tehtävistä.

lausunnon järjestelmän vastaanoton jälkeen Merivoimille. Viidennessä vaiheessa Merivoimat julkaisee operatiivisille yksiköille järjestelmän turvallisuustiedotteen käyttöönotto- vaiheen alussa.

Ennen prosessimallin käyttöönottoa vaaditaan vielä kriittistä arviointia erilaisista vaihtoehdoista kytkeä järjestelmäturvallisuusprosessi Merivoimien toimintaan. Lisäksi vaaditaan vielä lisäselvityksiä mm. halutun turvallisuustason määrittelyyn, arviointimenettelyn kehittämiseen järjestelmäturvallisuusohjelman perustamiselle, organisaatioiden välisiin vastuunjakoihin, tuotettavan dokumentaation laajuudelle sekä järjestelmäturvallisuustyöryhmän perustamista varten. Väitöskirjatutkimuksessa on esitetty huomattavasti yksityiskohtaisemmat prosessikuvaukset ohjelmistojen käyttöturvallisuuden hallintaan.

## Ohjeistuksen tarve ja vastuunjako Puolustusvoimissa

Turvallisuuskriittisillä toimialoilla edellytetään toimialaa valvovan viranomaisen myöntämää hyväksyntää organisaation käyttämille järjestelmille ja niiden ohjelmistoille. Ohjelmistojen hyväksyntä perustuu yleensä kysieen toimialan spesifiin standardeihin, joiden mukaan ohjelmistot on tuotettu. Merivoimien turvallisuuskriittisten järjestelmien ohjelmistoille ei tällä hetkellä tehdä viranomaistahon hyväksyntämenettelyjä.

Puolustusvoimien työturvallisuuteen liittyvissä normeissa edellytetään, että käytössä olevien laitteiden käyttöturvallisuus on varmistettava. Puolustusvoimista puuttuvat kuitenkin toimintaa ohjaavat normit ja ohjeistus siitä, millä tavalla järjestelmiin liittyvien ohjelmistojen elinjaksoa ja käyttötur-

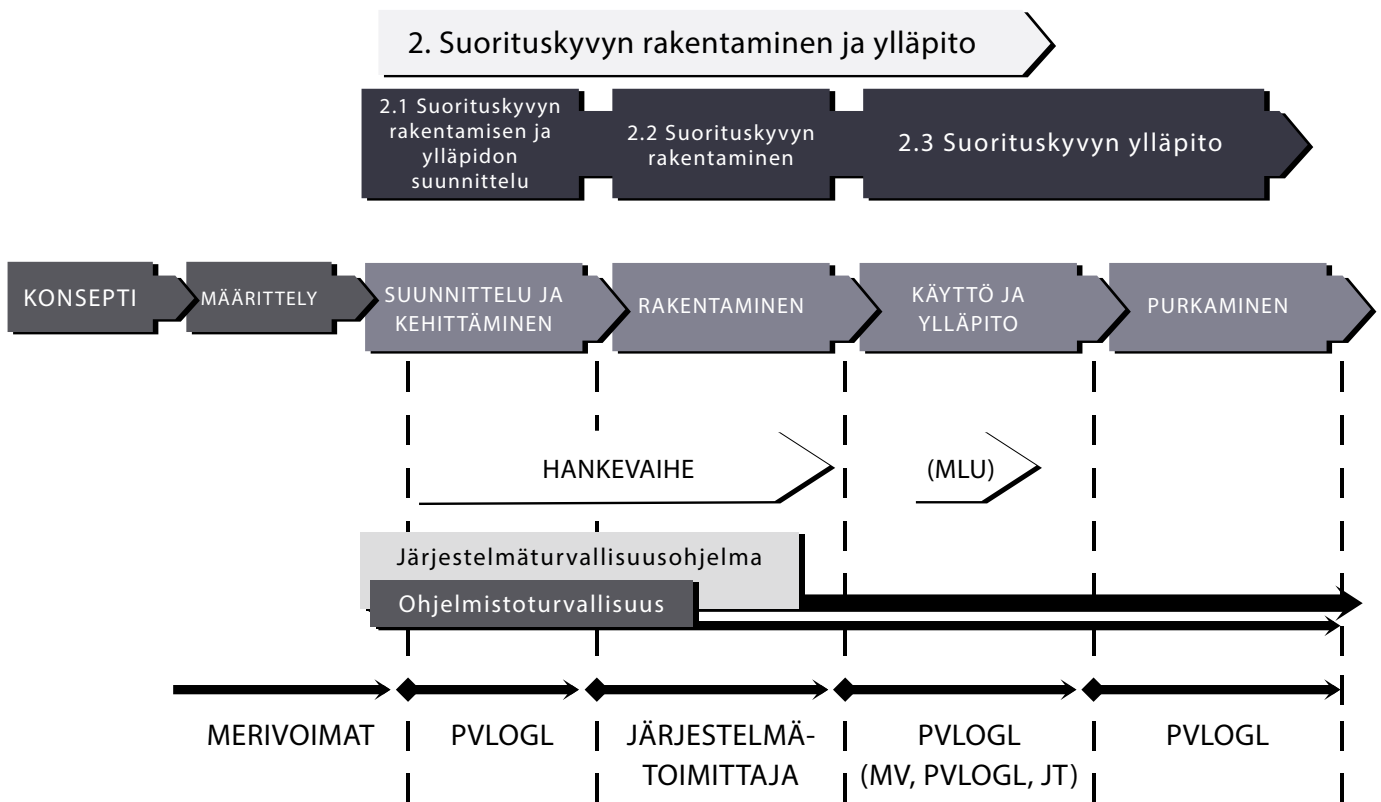
Laadukas vaatimusmäärittely, järjestelmäturvallisuusohjelma yhdistettynä käyttövarmuustesteihin sekä poikkeavien tilanteiden hallinta ovat asiakkaan näkökulmasta tärkeimmät (ja ehkä ainoat) toimenpiteet, joilla voidaan vaikuttaa järjestelmän käyttöturvallisuuteen.

Turvallisuuskriittiset ohjelmistot (Safety-Critical Software) ovat ohjelmistoja, jotka ohjaavat turvallisuuskriittisiä järjestelmiä.

vallisuutta hallitaan. Normien ja ohjeistuksen puuttumiseen on saattanut myötävaikuttaa sotateknisten laitteiden nopea kehitys, ja sen myötä ohjelmistojen merkitys järjestelmän kokonaistoimintaan on kasvanut merkittävästi.

Tulevaisuudessa puolustushaaroissa tapahtuvaa toimintaa saattaisi selkeyttää huomattavasti, mikäli Puolustusvoimiin laadittaisiin yhtenäinen ohjaus tämän asian kuntoon saattamiseksi. Kun toimintaa ohjaava normitus ja ohjeistus olisivat kunnossa, pitäisi materiaalihankkeiden elinjaksoauditointien kriteeristöt päivittää koskemaan myös järjestelmä- ja ohjelmistoturvallisuutta. On huomattava, että järjestelmäturvalli-

suuteen kuuluu ohjelmistoturvallisuuden lisäksi myös muita osa-alueita, kuten mm. sähköturvallisuus, räjähdeturvallisuus ja säteilyturvallisuus. Näiden osa-alueiden kytkeä Merivoimien järjestelmäturvallisuusprosessiin on huomioitava myös mahdollisessa järjestelmäturvallisuuden jatkokehitystyössä. Merivoimien on osattava tunnistaa, mitkä järjestelmät kuuluvat käyttöturvallisuuden varmistamisen piiriin. Väitöskirjatutkimuksessa esitettyjen prosessien avulla organisaatio voi varmistua turvallisuuskriittisten järjestelmien käyttöturvallisuudesta ja samalla myös niiden tuottamasta suorituskyvystä operatiivisessa toiminnassa.



Kuva 5. Periaate järjestelmäturvallisuusohjelman vastuista ja rooleista.

"If you think safety is expensive, you should try an accident..." -Trevor Kletz.

**Kirjoittaja:**

Insinöörikomentaja, tekniikan tohtori Jari Vainio toimii sektorijohtajana Merisotakoulun Meritaistelukeskuksen vedenalaisen sodankäynnin tutkimussektorilla. Artikkelin pohjautuu vuonna 2017 julkaistuun Vainion väitöskirjatutkimukseen "Turvallisuuskriittisten ohjelmistojen käyttöturvallisuuden varmistaminen".

Kuvien grafiikka: Nooa Savukoski

# Verkkoteorian hyödyntäminen merimiinoittamisen suunnittelun tukena

**Merimiinoittaminen on yksi meripuolustuksen tärkeimmistä tehtävistä. Merimiinoittamisella on olennainen rooli meriyhteyksien ja alueellisen koskemattomuuden turvaamisessa sekä hyökkäyksien ennaltaehkäisyssä. Miinoitteiden avulla vastustajan liikettä kyetään suuntaamaan puolustajalle edullisille alueille, estämään haluttujen merialueiden vapaa käytettävyys sekä estämään pääsy merellisten solmukohtien läpi. Merimiinoittaminen vastaa näin osaltaan pienemmässä mittakaavassa myös yleisempään taistelutilan eristämisen (Anti Access, Area Denial) toimintamalliin, josta kansainvälisessä sotilaskirjallisuudessa käytetään yleisesti lyhennettä A2AD. Tässä artikkelissa merimiinoittamista tarkastellaan nimenomaan pääsyn estämisen näkökulmasta.**

Tarkastelukohteena on tilanne, jossa merimiinoittamisella halutaan estää alusten pääsy jonkin maantieteellisesti rajatun alueen läpi. Tällaisia alueita voivat olla esimerkiksi salmet, saaristo tai jokin muu luontainen kapeikko merialueella. Puolustaja pyrkii optimoimaan miinoitteen maksimoidakseen halutun vaikutuksen. Voidakseen arvioida miinoitustoimintansa vaikuttavuutta on puolustajan ensin määritettävä jokin mittari kuvaamaan miinoitteen hyvyttä eli sitä, miten hyvin kulku alueen kautta on onnistuttu estämään.

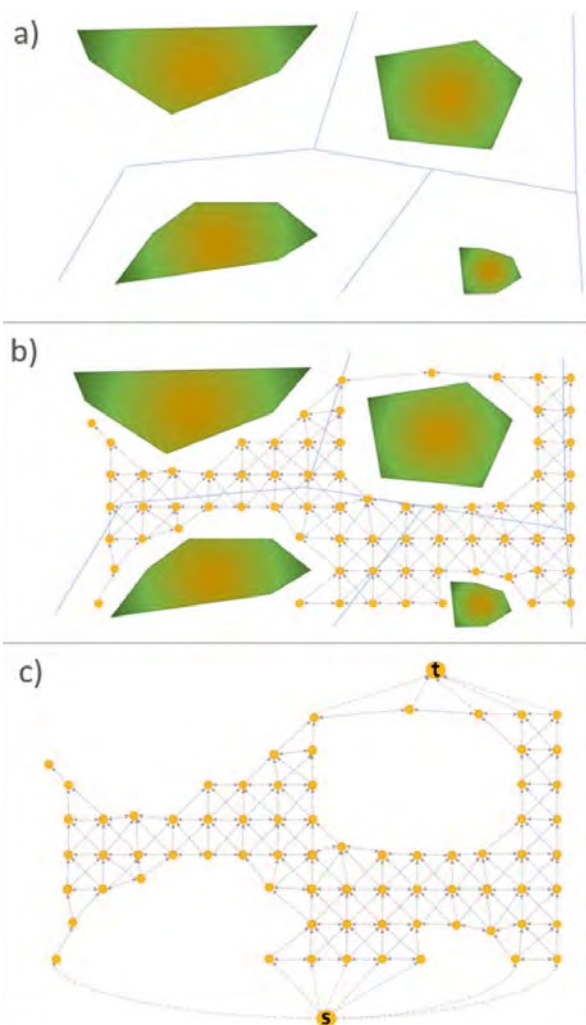
Yleinen hyvyysmitta on miinaan ajon todennäköisyys, jolla kyetään arvioimaan ensimmäisen alueelle tulevan aluksen pysäyttämisen todennäköisyys. Miinaan ajon todennäköisyys lasketaan useimmiten koko miinoitteelle eikä yksittäisen miinan poistamisen vaikutusta miinoitteen kokonaissuorituskykyyn kyetä yleensä laskemaan dynaamisesti. Miinaan ajon todennäköisyydellä ei myöskään ole ajallista ulottuvuutta. Näistä syistä miinaan ajon todennäköisyyttä ei kyetä yksin hyödyntämään miinoitteen pysyvyyden tai raivauksen sietokyvyn arvioinnissa. Miinoitteen vaikuttavuutta voidaan kuitenkin arvioida ilman todennäköisyydestä tarkastelua hyödyntämällä alueen geometriaa. Tällöin hyvyysmittariksi voidaan valita miinoilla vaaralliseksi tehdyn merialueen pinta-alan ja edelleen käytettävissä olevan ”vapaa” merialueen pinta-alan välinen suhde. Tämä suhdeluku kasvaa lasketun miinojen määrän funktiona ja kuvaa siten käänteisesti myös lasketun miinoitteen raivauksen ja kulutuksen sietokykyä. Jokainen miinaräjähdyks, oli sen synynä sitten kohdealueen miinaan ajo tai miinan raivaaminen, pienentää lasketun miinoitteen

hyvyttä riippumatta siitä, mikä yksittäinen miina miinoitteesta poistetaan.

Tällaisen geometrisen tarkastelun tekeminen huomioi kuitenkin ainoastaan pinta-alojen summan mutta ei miinojen sijoittelua. Alueen koon ja merenpohjan muotojen mukaan miinojen laskupaikkojen määrittäminen optimoimalla on kombinatorisesti vaikeaa eikä välttämättä edes laskennallisesti mahdollista. Kombinaatioiden määrää voidaan kuitenkin vähentää hyödyntämällä asetettua tavoitetta estää läpikulku miinoitetun alueen halki. Tällöin luontainen vaihtoehtoinen geometrinen lähestymistapa on tarkastella aluetta ainoastaan estettyjen ja edelleen käytettävien kulkureittien lukumääränä koko pinta-alan tarkastelun sijaan. Erilaisten ja vaihtoehtoisten kulkureittien määrittäminen on laajalti tutkittu ja tunnettu ongelma erityisesti verkko- ja verkostoteoriassa (graph theory, network science), jolloin merialueen mallintaminen verkkona mahdollistaa reitti- ja vaikuttavuustarkastelujen tekemisen sekä miinoitteiden optimoinnin laskennallisesti tehokkailla matemaattisilla menetelmillä.

## Merialue voidaan käsittää myös teoreettisena verkkona

Solmuista ja kaarista muodostuva verkkomalli halutusta merialueesta voidaan rakentaa merikartta-aineistoa, miinojen suorituskykyä sekä uhka-arvioita hyödyntämällä. Uhka-arvion perusteella määritetään sellaiset veden syvyyteen perustuvat alueet, joita vastustaja kykenee alueella käyttämään. Näitä alueita kutsutaan kulkukelpoisiksi. Liian matalat vesialueet sekä kaikki kiinteät kohteet eli ei-kulkukelpoiset alueet rajataan tarkastelusta pois. Miinojen suorituskyvyn perusteella määritetään solmujen välinen minimietäisyys eli hilaväli. Kulkukelpoiselle alueelle määritetään tasainen neliöhila annetulla hilavälillä. Ei-kulkukelpoisten alueiden reunat sekä alueiden väliin jäävien kapeikkojen kapeimmat pisteet eli avainsolmut lisätään olemassa olevien solmujen joukkoon. Lopuksi alueen vastakkaisiin reunoihin muodostetaan keinotekoiset alku- ja loppusolmut. Näiden solmujen avulla voidaan mallintaa kohteen saapuminen alueelle mistä tahansa pisteestä ja poistuminen mistä tahansa alueen vastakkaisella puolella olevasta pisteestä. Verkon muodostamisen prosessi on esitetty kuvassa 1.



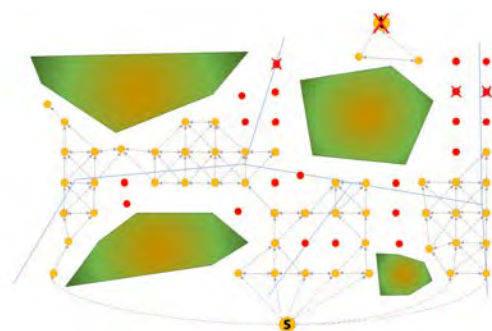
Kuva 1. Kuvitteellinen merialue: a) kulkukelpoiset ja ei-kulkukelpoiset alueet, b) maastoon sidottu verkko, c) valmis verkkomalli.

Matemaattinen analyysi verkoksi muutetusta merialueesta mahdollistaa miinoitteiden optimoinnin vastaamalla kysymykseen: mihin solmuihin miinat kannattaa laskea suurimman hyödyn saavuttamiseksi? Tämä kysymys on osoittautunut keskeiseksi ainakin Yhdysvaltojen asevoimien verkon käytön kiistämistä käsittelevissä julkisissa tutkimuksissa. Verkon käytettävyyden kiistäminen (network interdiction) on matemaattinen lähestymistapa, jossa peliteorian ja matemaattisen optimoinnin avulla pyritään löytämään tasapainoratkaisuja tilanteisiin, joissa yksi toimija käyttää verkkoa ja toinen, vastakkaiset tavoitteet omaava toimija pyrkii estämään verkon käytön, usein rajallisin resurssein. Verkon käytettävyyden kiistämistä käytetään Yhdysvaltojen asevoimissa esimerkiksi terrorismin vastaisissa operaatioissa määriteltäessä, mitkä (ketkä) solmut on poistettava, jotta terroristiverkoston toiminta saataisiin estettyä. Verkon käytettävyyden kiistämistä käytetään myös huumeiden salakuljetuksen vastaisissa operaatioissa, keskeisten kohteiden tai solmukohtien määrittelyssä ilmasta maahan vaikuttamisen suunnittelussa ja esimerkiksi sairaaloissa epidemioiden ennaltaehkäisyssä.

## Optimointia voidaan hyödyntää suunnittelun tukena

Verkon käytön kiistäminen on yleensä kahden tason (bi-level) max-min- tai min-max-optimointiongelma, jossa verkon käyttäjä pyrkii maksimoimaan (minimoimaan) hyötyfunktionsa ja verkkoon vaikuttaja (hyökkääjä) pyrkii minimoimaan (maksimoimaan) saman hyötyfunktion. Optimointiongelmaan voidaan lisäksi asettaa rajoitteita esimerkiksi hyökkääjän käytettävissä oleville resursseille. Laskennallinen ratkaisu ongelmalle kuvastaa siten tasapainotilaa, jossa verkon käyttäjä ei kykene enää millään tavalla tehostamaan omaa toimintaansa eikä hyökkääjä kykene haittaamaan verkon toimintaa millään tavalla enempää.

Merimiinoitteiden optimointi on tällainen min-max-ongelma, jolle etsitään laskennallinen tasapainoratkaisu, jossa hyökkääjä (verkon käyttäjä) haluaa hyödyntää lyhimmän mahdollisen reitin alueen läpi ja puolustaja (verkkoon vaikuttaja) haluaa tehdä lyhimmästä reitistä mahdollisimman pitkän miinoja laskemalla. Parhaassa tapauksessa miinojen laskun seurauksena kaikki kaaret verkon päätepisteeseen saadaan irrotettua, kuten kuvassa 2, jolloin miinoitteella on kyetty kokonaan estämään kulku alueen läpi. Pysyvyyttä ja raivauksen sietoa kasvatetaan laskemalla lisää miinoja jo laskettujen miinojen viereen sekä avainsolmuihin eli kapeikkoihin. Tasapainoratkaisun hyvyttä ja pysyvyyttä voidaan arvioida lyhimmän mahdollisen reitin ja lyhimmän miinat kiertävän reitin pituuksien suhdeluvulla käytetyn miinamäärän funktiona. Tätä hyvyysarvoa voidaan lisäksi täydentää miinan ajon todennäköisyyksiä hyödyntämällä kattavamman arvion muodostamiseksi.



Kuva 2. Optimaalinen ratkaisu, kun  $n=22$  solmua on poistettu verkosta. Solmu t on onnistuttu irrottamaan verkosta kokonaan.

Verkon käytön kiistäminen on lupaava lähestymistapa merimiinoitteiden suunnittelun optimointiin erityisesti resurssien ollessa rajallisia, ja aiheen tutkimista Merivoimissa jatketaan edelleen.

### Kirjoittaja:

Kapteeniluutnantti Tuomas Suominen toimii tutkijaesupseerina Meritaistelukeskuksessa sekä opiskelee operaatiotutkimuksen ja systeemianalyysin diplominsinööriksi Aalto-yliopistossa.



# Jaettu parametritietokanta mallinnuskäyttöön

**Merivoimissa toteutettiin tutkimusorganisaatiouudistus vuoden 2019 alussa. Merivoimien tutkimus keskitettiin yhteen organisaatioon, Meritaistelukeskukseen. Uudistuksen yhteydessä Meritaistelukeskukseen otettiin ensimmäinen tutkimusavustaja varusmiesten erityistehtävävalinnan kautta. Tutkimusavustajan tehtävänä on toimia osana Merivoimien toimintaympäristön mallintaminen (MTM) -tutkimusprojektia. Tutkimuksen tavoitteena on mallintaa ilmiöiden, olosuhteiden ja toimijoiden keskinäinen vuorovaikutus merellisessä toimintaympäristössä. Ilmiöiden, olosuhteiden ja toimijoiden tekijät vakioidaan parametreiksi ja algoritmeiksi, joiden avulla vuorovaikutuksen tarkastelua voidaan tehdä laskennallisesti. Laskennan mahdollistamiseksi eri ohjelmissa, parametrien käyttö yhdestä paikasta usealla ohjelmalla olisi kustannustehokasta. Tämän vuoksi tutkitaan yhtenä mahdollisuutena jaettua parametritietokantaa ongelman ratkaisemiseen.**

## Tutkimusavustajana tutkimusorganisaatiossa

Puolustusvoimissa on käytössä menettely, jolla erityistaitoja ja -osaamista omaavat varusmiehet voivat hakeutua tehtäviin, joissa aiemmin hankittua osaamista voi hyödyntää. Tämä varusmiesten erityistehtävävalinta on hyvä mahdollisuus sekä Puolustusvoimille että erityistaitoja omaaville varusmiehille. Meritaistelukeskuksessa on tutkimusprojektin vaiheen mukaan yhdestä kahteen tutkimusavustajaa. Tutkimusavustajat valitaan osaamisensa perusteella jokaisesta saapumiserästä. Yksityiskohtaiset osaamisvaatimukset riippuvat tutkimusprojektin vaiheesta ja kulloinkin tarvittavasta osaamisesta.

Tutkimusavustajan valinta toteutetaan koko Puolustusvoimien yhteisenä valintana. Peruskoulutuskauden aikana varusmiehillä on mahdollisuus hakeutua valtakunnallisesti mihin tahansa kiinnostavaan erityistehtävävalinnassa haettavana olevaan palvelustehtävään. Hakeutuminen tehdään internetissä täytettävällä hakulomakkeella. Hakulomakkeiden perusteella rekrytoivat joukko-osastot valitsevat omien tarpeidensa mukaisesti joko haastatteluun tai suoravalmalla haluamansa taistelijat. Haastattelut voidaan toteuttaa puhelimitse tai Puolustusvoimien yhteisessä haastattelu- ja valintatilaisuudessa. Tutkimusavustajien tehtävien ja työskentelyn yhteensopiisuus aiemmin hankitun osaamisen ja kokemuksen perusteella pyritään maksimoimaan. Tämän vuoksi onnistunut rekrytointi on tutkimusavustajien käytön kannalta avainasemassa.

Merivoimissa tutkimusavustajina työskentelevät varusmiehet toimivat Meritaistelukeskuksessa Merisotakoulussa. Varusmiehillä on käytössä tutkimustyöhön soveltuvat työskentelytilat ja työskentelyvälineet. Varusmiehet ovat hallinnollisesti Merivoimien Reserviupseeriosaston vahvuudessa, mutta käytännön työskentely ja työnjohdollinen ohjaus tapahtuu Meritaistelukeskuksessa. Päivittäinen työskentely toteutetaan normaalin toimistotyöajan puitteissa. Tutkimusavustajat osallistuvat sovelletusti reserviupseeriosaston järjestämään ase- ja ampumakoulutukseen, taistelukoulutukseen, marssikoulutukseen sekä liikuntakoulutukseen.

Meritaistelukeskuksessa työskentelevän varusmiestutkimusavustajan tehtävänä on toimia Merivoimien toimintaympäristön mallintaminen -tutkimuksessa. Tehtävässä menestyminen edellyttää matemaattisen ja fysikaalisen mallinnuksen osaamista sekä ohjelmoinnin ja tietokantaohjelmoinnin perusteiden hallintaa sekä kykyä erilaisten analyysien ja raporttien tuottamiseen. Varusmiestutkimusavustajana Merisotakoulussa työskentelevällä olisi hyvä olla suoritettuna yliopistotutkinto tai yliopiston aineopintoja matematiikan, fysiikan tai tietojenkäsittelytieteen alalta.

## Merivoimien toimintaympäristön mallintaminen

Merivoimien tutkimus on aiemmin ollut jakaantuneena tekniseen ja käyttöperiaatteiden tutkimukseen. Vuoden 2019 alussa toteutetussa organisaatiouudistuksessa nämä elementit yhdistettiin. Yhdistämisellä saavutettiin merkittävää hyötyä tutkimustehtävien hallinnoinnissa ja toteutuksessa. Merivoimien toimintaympäristön mallintaminen -tutkimus on hyvä esimerkki uudistuksen hyödyistä. Tutkimus on laaja ja kestoltaan pitkä. Sitä voisi luonnehtia prosessitutkimukseksi. Merivoimien toimintaympäristö on monimutkainen ja haastava. Ympäristölliset tekijät ovat kahden eri väliaineen ja niiden rajapinnan ilmiönä haastavia, ja niiden mallintaminen vaatii teknistä osaamista. Toisaalta toimintaympäristöön vaikuttavat taistelutekniset ja taktiset elementit vaativat käyttöperiaatteiden ymmärrystä niin laivaston kuin rannikkojoukkojenkin osalta.

Merivoimien monimutkaisen taistelutilan mallintaminen on edellä mainituista syistä pitkäjänteistä ja erityisosaamista vaativaa työtä. Tekijöiden ymmärtäminen edellyttää pitkäkestoista tiedonkeruuta sotilaallisesta näkökulmasta. Tämän

vuoksi mallintamiseen ja sen tutkimukseen on kytkeytyneenä koko Meritaistelukeskuksen henkilöstö. Omalla asiantuntemuksellaan asiantuntijat tuottavat yhteisen tutkimusrakenteen sisällä omaa erityisosaamistaan vaativia komponentteja. Näiden perusteella luodaan mahdollisuuksia tarkastella ja toteuttaa Merivoimien taistelujen edellyttämiä laskennallisia työkaluja. Näitä työkaluja yhdistetään kaupallisiin tai Puolustusvoimille erikseen räätälöityihin ohjelmistoihin. Samalla luodaan edellytyksiä testata uusia ja tehostaa jo aiemmin hankittuja taisteluteknisen tuen työkaluja.

### Jaetun parametritietokannan tutkimus

Meritaistelukeskuksessa työskentelevän varusmiestutkimusavustajan tehtävänä Merivoimien toimintaympäristön mallintaminen -tutkimuksessa on tutkia ja kehittää työkalujen rakennetta ja toimintaperiaatteita. Osana työkalujen rakennetta tutkitaan yksittäisten elementtien teknistä sisältöä siten, että niistä voitaisiin koota yhteinen tietokanta kaikkien työkalujen käyttöön. Tutkimuksen lähtökohtana on olemassa olevien työkalujen rakenteiden mukaisesti selvittää, millainen jaetun parametritietokannan tulisi olla, että se olisi riittävän laajennettava, joustava ja tarkka laskennallisiin tarpeisiin.

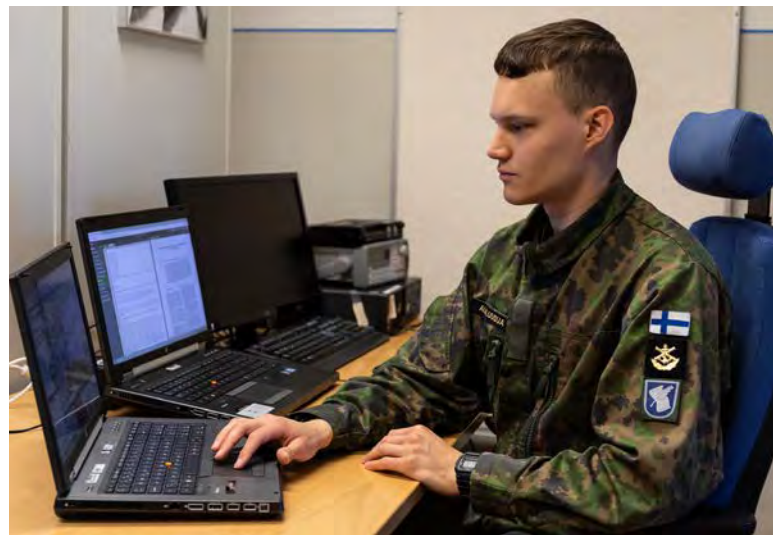
Vuonna 2019 Merivoimien toimintaympäristön mallintamisen rakenteelliseen kehittämiseen käynnistettiin jaetun parametritietokannan tutkimus. Tutkimuksessa tutkimusavustajan rooli on keskeinen, ja tutkimusinsinööri sekä tutkijaesiupseeri ohjaavat työtä. Parametritietokannan tutkimus aloitettiin kartoittamalla erilaisia tietokantarakenteita. Tietokantarakenteiden tutkimuksen perusteella verrattiin eri rakenteiden soveltuvuutta käyttötarkoitukseensa. Vertailun perusteella valittiin paras tähän tarkoitukseen soveltuva ratkaisu, josta luotiin tietomalli. Tietomallin perusteella laadittiin suunnitelma eri rakenteiden kuvaamiseksi tietomallissa. Ensimmäisessä vaiheessa ympäristöparametrien kuvaamista ei suoritettu. Työn laajuuden hallitsemiseksi valittiin yksi suorituskkyky, jonka parametreja tarkasteltiin tietokannan lähtötietoina.

Tutkimuksen aikana tunnistettiin, että erilaisten työkalujen tietokantarakenteiden erilaisuuden vuoksi jaetun parametritietokannan tulee mahdollistaa uusien työkalujen ja parametritietokannan interaktio yhtenäisellä ohjelmointikielellä. Tutkimuksessa testattiin, miten tietokannan tietojen noutamisen ohjelmointi tulee tehdä, jotta tietokantaa voidaan käyttää tarkoituksenmukaisella tavalla. Tämän vuoksi luotiin tietomallin mukainen tietokanta, josta haettiin yhden työkalun edellyttämässä muodossa tietoja tutkimusavustajan ohjelmoiman ohjelman avulla.

Ohjelmointitestit tiedon noutamiseksi tietokannasta loivat pohjan tutkimuksen jatkon määrittämiseksi. Ohjelmointitestien perusteella havaittiin, että yhteinen jaettu parametri-tietokanta on mahdollista luoda, mikäli se määritetään oikein

ja sille voidaan luoda riittävän selkeät perusteet työkaluista. Tutkimusavustaja loi ennen kotiutumistaan perusteet seuraajalleen työn jatkamisesta. Tutkimus jatkuu näiden perusteiden pohjalta ja luo yhteisen rakenteen koko Merivoimien toimintaympäristön mallintamisen työlle.

Tutkimuksen ensimmäinen vaihe dokumentoitiin sekä tutkimuksen sisäiseen käyttöön että tieteellisenä artikkelina. Tutkimuksen aikana saatiin hyviä havaintoja tämänkaltaisen työn dokumentoinnista. Laaditut ohjelmat tulee kommentoida suoraan koodausvaiheessa riittävällä tarkkuudella, ja niistä laadittujen tietojen tulee olla riittävän ymmärrettäviä myös operaatikoille. Tämän vuoksi kirjallisen dokumentaation tulee tukea tietokantatestiaineiston ja ohjelmoinnin tuottamia sähköisiä tietoja.



(Kuva: Helmi Saarela)

#### Kirjoittajat:

Komentajakapteeni Samu Rautio toimii sektorijohtajana Meritaistelukeskuksen analyysisektorilla.

TkK Kalle Alaluusua opiskelee Aalto-yliopistossa systeemianalyysin maisteriohjelmassa. Alaluusua toimi Meritaistelukeskuksen tutkimusavustajana saapumiserässä 1/2019.





**Ilmavoimat**

# Ilmavalvonnan suorituskykyjen arvioinnin tukeminen tutkimuksella

**Ilmavalvonta on yksi keskeinen kulmakivi Suomen alueellisen koskemattomuuden valvonnan ja turvaamisen toteuttamisessa. Jotta tehtävää voidaan toteuttaa uskottavasti, tulee ilmavalvontaan käytettävien järjestelmien, kuten valvontasensoreiden ja laskinjärjestelmien, olla riittävän suorituskykyisiä erityyppisiä kohteita vastaan, kaikissa olosuhteissa ja koko valvottavassa tilavuudessa. Tutkimusta hyödyntämällä voidaan tunnistaa suorituskykyyn liittyviä vahvuuksia ja heikkouksia.**

## Miksi suorituskykyjä tarvitsee tutkia?

Ilmavalvontajärjestelmää hankittaessa operatiivinen tarve kuvataan tyypillisesti teknisinä vaatimuksina, joiden perusteella materiaalin hankinta suoritetaan. Hankittavaa järjestelmää vastaanotettaessa tarkastetaan järjestelmän toimivuus suhteessa kaupan kohteelle asetettuihin teknisiin vaatimuksiin – ei välttämättä aina alkuperäiseen operatiiviseen tarpeeseen ja vaatimukseen suhteutettuna. Tämä helpottaa hankinnan toteutusta, koska hyväksyntäkriteerit ovat selvästi määritettyjä ja monessa tapauksessa helpohkosti toistettavissa ja todennettavissa sekä toimittajan omassa kehitystyössä, sisäisissä testeissä että varsinaisissa vastaanotto- ja käyttöönhyväksyntätesteissä.

Hankinnan prosessi ei takaa sitä, että hankittavan järjestelmän suorituskyky tunnetaan riittävän tarkasti suorituskyvyn käyttäjän kannalta kaikissa edustavissa tilanteissa ja olosuhteissa. Tämä saattaa johtua useista eri syistä:

- Järjestelmä voi sisältää kyvykkyyksiä, joita ei ole erikseen vaadittu eikä siten välttämättä testattu hankinnan yhteydessä. Nämä kyvyt tulevat kuitenkin hankinnan mukana, ja niitä kannattaa hyödyntää ilmavalvonnassa.
- Vastaanottotestaus ei välttämättä ole ollut tarpeeksi kattava. Suorituskykyjä ei pystytä kaikissa olosuhdekominaatioissa todentamaan, koska olosuhteita ei pystytä luomaan tai niiden luominen on liian kallista.
- Tiedon salattavuus tai kaupalliset syyt estävät järjestelmän toimittajan pääsyn kaikkeen hankittavan järjestelmän tai muiden järjestelmien tuottamiin mittaustuloksiin todellisessa mittausympäristössä.
- Operatiivista tarvetta ei ole mahdollisesti onnistuttu kuvaamaan riittävästi tarkkuudella teknisiksi vaatimuksiksi tai hankinnan aikana on jouduttu muuttamaan teknisiä vaatimuksia siten, että suorituskyky vähitellen ”liukuu” – ei ehkä yksittäisinä muutoksina, mutta kokonaisuutena – pois alkuperäisestä tarpeesta.

Yksittäisen hankittavan osajärjestelmän lisäksi operatiivisen suorituskyvyn käyttäjän tulee tuntee kokonaisjärjestelmän suorituskyky sen jälkeen, kun osajärjestelmä alkaa hoitaa sille suunniteltua tehtäväänsä.

Näiden syiden vuoksi ilmavalvonnan kehittämisessä tarvitaan tutkimustoimintaa, jossa arvioidaan tarkastelun kohteena olevan yksittäisen osajärjestelmän ja siihen liittyvän kokonaisjärjestelmän operatiivista tehokkuutta, soveltuvuutta aiottuun käyttöön sekä turvallisuutta realistisissa ympäristöissä ja olosuhteissa järjestelmään koulutettujen operaattoreiden valvoessa ja tarvittaessa ohjatesa järjestelmiä.

## Kuinka suorituskykyjä voidaan tutkia?

Kuvaan 1 on hahmoteltu tyypillisiä tutkimuksen testitilanteita. Testattavilta ilmavalvontajärjestelmiltä talletetaan suorituskykyarvioita varten oleellisia tietoja, kuten järjestelmien mittaamia ja laskemia havainto- ja seuranta-aineistoja sekä järjestelmien teknisiä tiloja kuvaavia tunnuslukuja. Tutkimusta varten tallennettavat testipisteet voivat sijaita eri kohdissa prosessointiketjua, jolloin pystytään tarkemmin arvioimaan eri prosessointilohkojen suorituskykyä, kapasiteetteja ja prosessointiviiveitä.

Tutkimuksessa voidaan hyödyntää tarpeen mukaan kolmen-tyyppistä lentotoimintaa: valvontatilavuudessa sillä hetkellä lentäviä koneita (esim. reittikoneet), harjoitustoimintaa ja erikseen suunniteltuja testilentoja. Lennoista talletetaan tarvittavat referenssitiedot valvontajärjestelmän suorituskyvyn arvioimiseksi. Tällaisia tietoja ovat mm. koneiden paikka- ja asentotiedot sekä tehdyt toimenpiteet itse aiheutetun ympäristön luomiseksi, esim. silputus- ja häirintätiedot. Jos lennoista ei saada erillisiä taltioita, voidaan näitä arvioida joissakin tapauksessa muualta valvontajärjestelmästä saatujen mittausten perusteella.

Jokaisella lentotoimintatyyppillä on omat hyvät puolensa kokonaisuorituskykyä määritettäessä. Valvontatilavuudessa olevien koneiden avulla kyetään tarkastelemaan järjestelmien suorituskykyä erilaisissa olosuhteissa kustannustehokkaasti. Tällaisia olosuhteita ovat esimerkiksi erilaiset säätilat ja -ilmiöt sekä vuorokaudenaikojen ja vuodenaikojen vaihtelut. Reittikoneiden lisäksi ilmatilassa olevat erityyppiset muut lentolaitteet, kuten helikopterit ja pienkoneet, tuottavat testiaineistoa järjestelmän kyvystä havaita, seurata ja tunnistaa eri lailla käyttäytyviä ja eri lailla havaittavissa olevia kohteita.

Harjoitustoiminnasta saadaan paljon näytteitä sellaisista tilanteista, jotka vastaavat oletetun uhkamallin mukaista lentotoimintaa. Tällainen lentotoiminta sisältää esimerkiksi erikokoisia, välillä lähellä toisiaan olevia voimakkaasti liikehtiviä kohteita mahdollisesti myös häiriyssä ympäristössä. Etuna omassa harjoitustoiminnassa on lisäksi se, että lentokoneiden tallenteista saadaan kattava käsitys siitä, mitä ilmassa oikeasti tapahtui.

Erikseen suunnitellut testilennot ovat tarkin tapa testata kohdejärjestelmän suorituskykyä. Testisuunnitelmassa voidaan tarkasti määritellä, kuinka selvittämistä vaativa suorituskyvyn testaaminen toteutetaan, ja keskittyä pelkästään siihen minimoimalla muut asian selvittämistä häiritsevät tekijät. Tyypillisesti tällaisen suorituskyvyn tuntemisella on tavallista suurempi operatiivinen merkitys.

Olosuhdetallenteilla pyritään selvittämään olosuhteiden vaikutus järjestelmien suorituskykyyn. Tyypillisiä olosuhdetallenteita ovat testialueella vallitsevan säätilan tallenteet, kuten sateen voimakkuus ja olomuoto, ilmanpaine ja lämpötila.

### **Miten suorituskykytutkimuksen tuloksia hyödynnetään?**

Suorituskykytutkimuksella pyritään tunnistamaan ja dokumentoimaan järjestelmien suorituskykypotentiaali sekä mahdollisia suorituskykypuutteita.

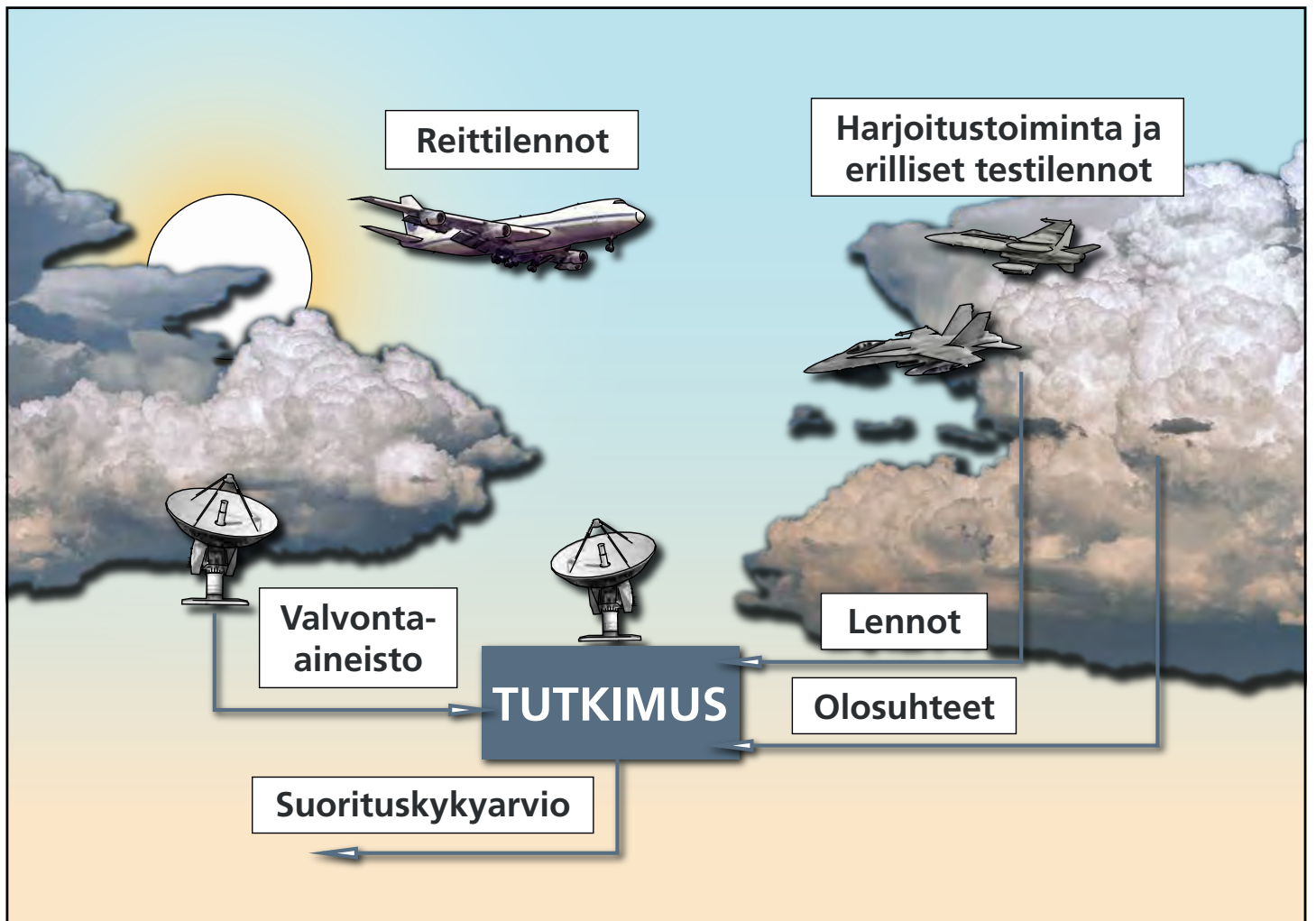
Tunnistettua suorituskykypotentiaalia voidaan hyödyntää esimerkiksi operatiivisia toimintatapamalleja kehittämällä. Tarkoituksena on kehittää toimintatavat sellaiseksi, että ne tukevat mahdollisimman tehokkaasti uusien suorituskykyjen käyttöä. Tämä vaatii uusien toimintatapamallien kouluttamista käyttäjille, jolloin tutkimustuloksia hyödynnetään koulutuksen kehittämiseen.

Toinen tapa hyödyntää tunnistettua suorituskykypotentiaalia on parametroida järjestelmä toimimaan tehokkaammin. Järjestelmän ja sen sallimien parametrisoitien mukaan järjestelmää voidaan optimoida toimimaan paremmin esimerkiksi tietyissä olosuhteissa (esim. käytetään erilaista parametrintia kuivalla säällä kuin sateella) tai ylipäättänsä parantaa parametrintia, joka voi olla vastaanotettaessa operatiivisen käyttäjän kannalta puutteellinen. Parametrintia on mahdollisesti valmiiksi viritetty läpäisemään hyväksyntätestit, jolloin se ei välttämättä toimi hyvin toisenlaisissa olosuhteissa, tai toimittajalla ei ole kaupallisista tai tietoturvasyistä mahdollisuutta tuottaa kattavaa parametrintia erilaisiin tilanteisiin. Osajärjestelmän suorituskyvyn ja sen puutteiden tunteminen antaa mahdollisuuden parametroida kokonaisvalvontajärjestelmä toimimaan optimaalisesti korostamalla yksittäisten osajärjestelmien suorituskykyjen vahvuuksia ja minimoimalla niiden heikkouksia. Parametrintia itsessään voi olla oma suorituskykytutkimuksensa.

Tutkimuksen tietoja hyödynnetään myös operatiivisessa suunnittelussa, jotta mahdollisten puutteiden vaikutus tilannekuvaan voidaan minimoida. Tarvittaessa tehdään varmuuksia ja varmistuksia, jotta tilannekuvan laatu voidaan taata, vaikka esim. olosuhteet ennakoisivat mahdollista suorituskyvyn alenemaa.

Lisäksi tutkimustuloksia voidaan hyödyntää järjestelmäkehityksessä, jotta lyhyellä tähtämellä voidaan poistaa suorituskykyyn vaikuttavia virheellisyyksiä (esim. ohjelmistovirheet) ja parantaa käytettävyyttä sekä pidemmällä tähtämellä saada suurempia parannuksia toteutettavaksi elinkaaripäivitysten yhteydessä.

Järjestelmien elinkaaren ylittävillä tutkimuksilla puolestaan tarkastellaan uusia suorituskykyjä, jotka tulevat mahdollisesti korvaamaan ja laajentamaan nykyisiä suorituskykyjä sitten, kun nykyisistä järjestelmistä aika jättää. Korvaaviksi suorituskyvyiksi haetaan sellaisia järjestelyjä, jotka mahdollisimman kustannustehokkaasti tuottavat riittävän suorituskyvyn suomalaisissa olosuhteissa ja kokonaispuolustusjärjestelmässä.



Kuva 1. Havainnekuva ilmailun suorituskyvyn tarkasteluun tarvittavista tiedoista. (Grafiikka: Nooa Savukoski)

**Kirjoittaja:**

Tekniikan lisensiaatti Tuomas Silvennoinen toimii tutkijana Satakunnan lennoston Ilmatalentakeskuksen tutkimus- ja kehittämisosastolla ilmailunvalvonta- ja tehtävätukijärjestelmien parissa.

# Tutkimuskoelentotoiminta Ilmavoimissa

**Vuosikirjassa tarkastellaan tavallisesti kuluneena tai edellisenä vuonna tehtyjä yksittäistutkimuksia. Tässä artikkelissa luodaan kuitenkin yleisluontoinen katsaus tutkimuskoelentotoimintaan sekä sen erityispiirteisiin, koska niitä ei kovin hyvin Puolustusvoimissa tunneta. Termit evaluointi, prototyypin koelennot, kuormaintegraatio, lentoalueen laajennus, väyläanalyysi, suorituskykytesti, verifiointi ja validointi jäävät usein melko kaukaisiksi, ja ne kertovat maallikolle yksittäin melko vähän. Tutkimuskoelentämisessä termit ovat kuitenkin varsin arkisia ja tulevat vastaan jokapäiväisessä käytännön toiminnassa.**

## Koelentotoiminnan historia

Suomalaisen koelentotoiminnan juuret sijoittuvat Ilmavoimien alkuun asti. Aivan alkuaikoina koelentotoiminta ja koelentokoulutus ei ollut organisoitua, mutta jo vuonna 1921 voitiin Hansa-koneiden valmistuksen aloittamisen myötä katsoa koelentotoiminnan alkaneen Ilmavoimissa. Ensimmäisenä nimettyinä koelentäjänä Ilmavoimissa toimi Georg Jarmo Jäderholm (s. 5.11.1894), joka lensi Hansa-koneiden koelentoja lentokonetehtaan koelentäjänä.

Alkuaikojen haparoivien askelien jälkeen toiminta muuttui pikkuhiljaa järjestelmällisemmäksi ja organisoidummaksi, ja vuonna 1933 erillinen Koelentue perustettiin Ilmavoimiin. Toiminta tuolloin kuitenkin oli vielä enemmän käytännön avulla tehtävää subjektiivista kokeilua kuin tunnistettuun sekä vakioituneeseen metodiikkaan perustuvaa ja järjestelmällisesti organisoitua koelentotoimintaa. Vasta vuonna 1956 järjestettiin ensimmäinen koelentokurssi kotimaassa. Siihen perusteet oli saatu Ranskan ilmavoimien koelentokoulun kautta. Kurssilta valmistui viisi koelentäjää. Sittemmin pitkiä, kategorian 1 kelpoisuudet tuottavia koelentokursseja on pidetty kymmenen ja kaksi lyhyempää alemman kategorian 2 kurssia.

## Nykytila

Nykyisin Ilmavoimissa koelentotoiminnan tehtävänä on hankkia Ilmavoimien ja Maavoimien ilmailun johtoportaiden tarvitsema tieto taistelutavasta, taktiikasta, lentokalustosta, asejärjestelmistä ja materiaalista. Koelentotoiminta tukee kaikkia Puolustusvoimien pääprosesseja joko suoraan tai välillisesti. Koelentotoiminnassa ollaan edelläkävijöitä, ja siinä mukana olevat henkilöt ovat usein tekemisissä sellaisten teknisten ratkaisujen kanssa, jotka ovat operatiivisessa käytössä mahdollisesti vasta vuoden tai kahden kuluttua.

Satakunnan Lennoston Ilmataistelukeskus vastaa pääosin edellä mainittujen tehtävien toteuttamisesta Ilmavoimien esikunnan johtamana. Ilmataistelukeskuksen ydinosaamisalueet ovat puolestaan tekninen ja taktinen lentotutkimus sekä erityisesti koelentotoiminta ja operaatioanalyttinen tuki. Koelentotoiminta jaetaan tutkimuskoelentotoimintaan (evaluaatio- ja prototyypin koelennot sekä järjestelmäkoelennot), tuotantokoelentoihin, huoltokoelentoihin ja koelentokoulutukseen.

Viime vuosien merkittävimpiä koelentoprojekteja ovat olleet Hornetin MLU1- ja MLU2 (Mid-Life Update) -modifikaatiot, Hawk Mk 51-, Mk 51A- ja Mk 66 -vastaanotto ja UG-2 ((Upgrade 2) -modifikaatiot sekä C-295M CASA- ja PC-12-evaluaatio- ja vastaanotto projektit. Lisäksi merkittävänä erillisprojektina suoritettu AGM-158A JASSM -asejärjestelmän integraatio toteutettiin Yhdysvalloissa vuosina 2016–2018. JASSM-projektissa suoritettiin erittäin merkittävä tekninen asejärjestelmäintegraatio. Tässä yhteydessä tehtiin ensimmäistä kertaa Ilmavoimien historiassa myös kaksi koelaukaisua suomalaisesta Hornet-koneesta Yhdysvalloissa. Projektin tuloksena avainasemassa oleva Puolustusvoimien kynnysasejärjestelmä integroitiin suomalaisen ilma-alukseen ja sen kautta kaukovaikuttamisen suorituskyvyssämme otettiin merkittävä kehitysaskel eteenpäin.



**Kuva 1. AGM-158A JASSM -integraatio toteutettiin Yhdysvalloissa China Laken tukikohdassa Kaliforniassa. Kuvassa Suomen ilmavoimien ensimmäinen AGM-158A JASSM ohjuksen koelaukaisu. (Kuva: US Navy)**



Tänä päivänä Ilmavoimien tutkimuskoelentotoiminnalla tuotetaan edelleen Puolustusvoimien suorituskykyjen kannalta merkittävää tietoa. Merkittävimpiä hankkeita tänä päivänä ovat HX-hävittäjäevaluaation tukeminen, Hornet- ja Hawk-kaluston ohjelmistotyö, Grob 115E -koulukoneen modifikaatio- ja vastaanottokoelennot sekä UTA-kaluston kehittämiseen liittyvät koelennot.

Tutkimuskoelentotoiminnalla tuetaan myös Puolustusvoimien suorituskykyjen JOINT-tutkimusta sekä taktiikan kehittämistä. Eräs merkittävä esimerkki tästä operatiivisen ja kehitystoiminnan aikaisen testaamisen yhdistämisestä oli kevään 2019 monikansallinen Bold Quest 19.1 -yhteistoimintatapahtuma. Samassa yhteydessä suoritettiin myös JDAM GBU-38 F/B -pommin koepudotus uusimmalla koelentovaiheessa olevalla konfiguraatiolla ja siten viimeisteltiin käyttöönhyväksyntä tosittamalla aseiden toiminta kenttäkokeessa. BQ 19.1 -tapahtumassa myös tuettiin koelentotoiminnalla Suomen ITO12-yksiköiden omakonetunnuslaitteen Mode 5 AIMS sertifiointia ja lisäksi testattiin F/A-18 Hornetin laivuekäytössä olevaa Build 3.3.1 -ohjelmistoa sekä vielä hyväksymätöntä Build 3.5. -ohjelmistoa. Keväällä 2019 toteutettiin myös AIM-120 AMRAAM -ilmataisteluhjaksen koeammunta, joka antoi arvokasta tietoa hävittäjäkalustomme pääasejärjestelmän toiminnasta.

Syksyllä 2019 toteutettiin FINEMBOW-harjoitus, jossa testattiin eri lavettien omasuojajärjestelmien, esimerkiksi omasuojasoihtujen, tehokkuutta kontrolloidussa ympäristössä. F/A-18 Hornet-, CASA-295- ja NH-90-kalustoilla osallistuttiin koelennoin viikon mittaiseen testaustapahtumaan, jossa eri Puolustusvoimien organisaatioiden tuella suoritettiin Suomen olosuhteissa operatiivisesti tärkeitä omasuojan suorituskyky-mittauksia.



Kuva 2. Soihduttava CASA-295. (Kuva: Ilmavoimat)

## Toiminnan ohjaus ja tuki

Koelentotoimintaa johtaa Ilmavoimien esikunta ja valvoo Sotilasilmaluviranomaisyksikkö. Tutkimuskoelentotoimintaa ohjaa Puolustusvoimallinen teknisen hyväksynnän ja käyttöönhyväksynnän sekä räjähddehyväksynnän normisto, yhteistyökumppanien (esimerkiksi USN) kanssa sovitut protokollat ja testiproseduurit sekä tietysti koesuunnitelma ja sen edellyttämä koelentolupaprosessi. Myös erityisesti lentokalustoon sidottu lentokelpoisuusstandardisointi (esimerkiksi CS-23, CS-25, MILSTD-1767) ohjaa koetoimintaa ja sen suunnittelua sekä raportointia.

Koetoiminta on siis nykyisin hyvin kontrolloitua. Koesuunnitelmassa määritellään suoritettavan kokeen taso, taustatiedot, tutkittavat parametrit, koeympäristö, itse koepisteet sekä tarvittava tukitoiminta kokeen suorittamiseksi. Kaikki myös dokumentoidaan. Suomalaisessa koelentotoiminnassa on jo pitkään noudatettu hyväksi havaittuja USNTPS (US Naval Test Pilot School) -standardoituja koesuunnittelun, koetekniikoiden ja raportoinnin menetelmiä. Lisäksi koska pääkalusto on yhdysvaltalaista, on ollut luontevaa puhua samalla kielellä koko koelentoyhteisön toiminnan kokeiden suorittamisesta ja tuloksista.

Tutkimuskoelentotoiminnassa kulloinkin tutkittavan kohteen mukaan määräytyy myös vaadittavan instrumentoinnin taso. Toimintaa tukemassa ovat Ilmataistelukeskuksen mittaus- ja analyysijaoksen insinöörit ja teknikot. Lentävien lavettien, kuten Hornet ja Hawk, lähes kaikki parametrit voidaan taltioida, pois lukien eräiden aseiden ja terminaalilaitteiden sisäiset väylät. Myös ei-lentäviä lavetteja on instrumentoitu.

## Operatiivinen tulokulma ja Mission Based Test Design

Tutkimuskoelentotoiminnassa suoritetaan myös operatiivista testausta, ja sen painoarvo kasvaa sitä mukaa, kun resurssit pienenevät. Toisin sanoen pienemmällä ja lyhyemmällä kehitystyöllä pyritään saamaan aikaan operatiivisesti kelpaavia tuotteita ja niitä koetetaan testata operatiivisessa ympäristössä jo aiemmassa kehitysvaiheessa, kuin ennen on tehty. Viimeisimpänä esimerkkinä ILMATAKTIikka 2019 -harjoitus, jossa F/A-18 Hornetin uusimmalla, vielä laivuekäyttöön vapauttamattomalla ohjelmistolla sekä uudella L16 JTRS -terminaalilla varustetut koneet simuloivat ilmaisteluun muiden harjoitukseen osallistuvien koneiden kanssa. Koetoiminnan aikana voitiin siis verrata kahta ohjelmistoa tehokkaasti ja löytää tulevassa uudessa ohjelmistossa piileviä vikoja, jotka voidaan korjata ennen laivuekäyttöä.

Harjoituksista saatavan datan arvo on mittaamatonta, koska normaalitoiminnassa ei yllätä samoihin konemääriin eikä datavirran kuormitushuippuihin. Samoin kansainväliset tapahtumat ovat yhteistoimintakyvyn tosittamisen kannalta en-

siarvoisia. Laajemmissa kuin ”laboratorioympäristössä” suoritetuissa ja sovelletuissa testeissä tulee esiin laitteistojen tai ohjelmistojen käytännön toiminnassa havaittavat puutteet jo ennen, kuin ne luovutetaan laivuekäyttöön. Maailmalla metodia kuvataan termillä MBTD, Mission Based Test Design.

Tutkimuskoelentotoimintaa tukee Ilmataistelukeskuksen lentokelpoisuussektori, jonka tehtävänä on varmistaa koelentotoiminnan edellyttämän dokumentaatioketjun eheys, Puolustusvoimien teknisen ja käyttöönhyväksynnän normien mukaisten prosessien noudattaminen sekä laadunvalvonta.

Koelentotoiminta on erityisesti kehityksen aikaisessa vaiheessaan vahvasti yhteistyössä teollisuuden kumppanien kanssa. Toiminta on läpileikkaavaa, kansainvälistä ja saumatonta. Useat eri lentokonevalmistajat, ohjelmistotuottajat sekä asevalmistajat tekevät päivittäin yhteistyötä koelentotoimintaan osallistuvien henkilöiden kanssa. Voisi siis siinä mielessä puhua edelläkävijöistä jopa globalisaation suhteen.

### Tulevaisuus

Tulevaisuus tutkimuskoelentotoiminnassa on työntäyteinen, mikäli organisaatio sitä vain edelleen haluaa hyödyntää.

On valitettavaa, että usein itse koelentotoiminnassa mukana olevat toimijat joutuvat puolustamaan olemassaoloaan ja perustelevaan lähes päivittäin oman toimintansa oikeutusta. Tämä toistuu siltikin, vaikka lopulta itse testaamalla, koelentämällä ja tosittamalla on historian kautta todistetusti säästetty merkittäviä kustannuksia sekä joissain tapauksissa jopa ihmishenkiä. On toki ymmärrettävää, että usein tämä unohtuu arkisen kiireen keskellä ja paine saada tiukassa budjetissa eteneviä projekteja eteenpäin on kova. Koelentotoiminnassa kuitenkin peruseriaate on se, että raha tai aikataulut eivät saa määrittää lopputuotteen turvallisuutta, tehokkuutta ja käytettävyyttä. Koelentoinsinöörin ja koelentäjän tulee seistä näiden periaatteiden takana ja tarkastella tilannetta aina objektiivisesti – heidän tulee vastata peruskysymyksiin: täyttääkö tuote annetun tehtävän ja miten se sen tekee?

Sodan kuva ja operatiivinen toimintaympäristö muuttuvat tulevaisuudessa – se on varmaa. Miehittämättömät ja automatiset järjestelmät muuttavat myös koelentotoiminnan luonnetta tulevaisuudessa ja monimuotoinen taistelulentä vaatii mitä erilaisempien ratkaisujen hyödyntämistä. Nähtäväksi jääkin, missä roolissa koelentotoiminta ja siinä osallisena olevat henkilöt toimivat vaikkapa 20 vuoden kuluttua.

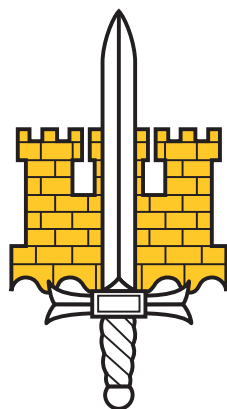


Kuva 3. F/A-18 Hornet A/G-varustuksessa. (Kuva: Ilmavoimat)

#### Kirjoittaja:

Koelentäjä majuri Mikko Koli toimii Ilmavoimien tutkimusjohtajana.





# Maanpuolustuskorkeakoulu

# Naton asema ja rooli eurooppalaisessa turvallisuudessa 2030-luvulla

**Puolustusliitto Nato juhli 70-vuotista taivaltaan keväällä 2019. Saavutusta voi pitää merkittävänä, koska valtioiden muodostamat liittokunnat eivät yleensä ole pitkäikäisiä. Kuinka toimintakykyinen Nato tulee olemaan seuraavien 10–20 vuoden aikana? Missä määrin sisäiset ristiriidat vaikuttavat sen toimintaan?**

## Ainutlaatuinen järjestö

Vuonna 1949 perustetulla Natolla ei historiallisesti tarkasteltuna ole luontevia vertailukohteita muiden liittokuntien tai kansainvälisten järjestöjen joukossa. Järjestössä luotu yhteinen komentorakenne, yhteiset toimintatavat ja standardit, erikseen nimitetty sotilaskomentaja ja pääsihteeri sekä ajatus sen arvoyhteisön omaisesta luonteesta tekevät Natosta ainutlaatuisen poliittis-sotilaallisen järjestön.

Voidaan sanoa, että Naton yhteisen puolustuksen uskottavuus muodostuu kahdesta eri ulottuvuudesta: poliittisesta ja sotilaallisesta. Poliittisella tasolla kyse on siitä, voivatko jäsenmaat luottaa liittokunnan toimeenpanevan yhteisen puolustuksen, mikäli tarvetta ilmenee. Sotilaallisella tasolla kyse on järjestön jäsenmaiden sotilaallisesta kapasiteetista ja järjestelyistä, joilla yhteistä puolustusta kyetään tarvittaessa toimeenpanemaan mm. integroidun sotilaallisen komentorakenteen, yhteisen puolustus suunnittelun ja harjoitusten kautta.

## Taakanjako ennen, nyt ja tulevaisuudessa

Vaikka edellä mainitut Naton uskottavuuden elementit ovat väistämättä jatkuvassa keskinäisessä vuorovaikutuksessa, keskittyy Naton asema ja rooli eurooppalaisessa turvallisuudessa 2030-luvulla -tutkimushanke Naton uskottavuuden ensimmäisen ulottuvuuden, poliittisen tason tulevaan kehityskulkuun. Hankkeessa ei siten ensisijaisesti ole tarkoitus analysoida Naton tulevaa organisaatiota, sen käytössä olevia sotilaallisia suorituskykyjä tai voimavaroja, vaan tarkastelu kohdistuu järjestön poliittis-strategiselle tasolle.

Tutkimushankkeessa Naton poliittista toimintakykyä tarkastellaan järjestön sisäisen koheesion kautta. Erityisesti tarkastelu kohdistuu kysymykseen Naton jäsenmaiden välisestä taakanjaosta (burden-sharing) euroatlantisen yhteisön sisäisenä jännitustekijänä.

Lähtökohdan taakanjaolle ja taakanjakoon liittyvälle keskustelulle muodostaa vuonna 1949 solmittu Washingtonin sopimus, jonka 3. artiklassa jäsenmaiden odotetaan panostavan resursseihinsa nähden ”kohtuullisella tavalla” Naton yhteisiin tarpeisiin. Natossa on myös käytössä niin sanottu 50 %:n periaate, jonka mukaan yksittäisen jäsenvaltion ei tule tarjota yli 50 % jostakin Naton voimavaravaatimuksesta. Periaatteella pyritään tasapainottamaan jäsenvaltioiden välistä taakanjakoa.



Kuva 1. Nato on historiallisesti tarkasteltuna pitkäikäinen liittokunta. (Kuva: Nato)

Vaikka taakanjaolle Natossa voidaan määrittää yksityiskohdalliset numeeriset kriteerit, on käsite kuitenkin ennen kaikkea luonteeltaan poliittinen. Tämä käsitteen poliittisuus ja alttius erilaisille tulkintatavoille vaikeuttaa taakanjaon analyttistä tarkastelua. Natossa käytävän taakanjakokeskustelun taustalla on myyttejä, emootioita ja jäsenmaissa vallitsevia erilaisia käsityksiä niiden omasta erityisestä merkityksestä kansainvälisessä turvallisuudessa. Toisaalta taakanjaosta käytävää objektiivista keskustelua vaikeuttavat eri jäsenmaiden erilaiset uhkakuvat.

”Oikeasta” taakanjaosta on keskusteltu – ja välillä kiistelty – Naton piirissä miltei sen perustamisesta lähtien. Tässä keskustelussa yksittäisillä Nato-mailla on taipumus korostaa niitä turvallisuuden ulottuvuuksia, jotka ovat niiden kannalta tärkeitä tai edullisia. Esimerkiksi Yhdysvallat on tyyppillisesti korostanut taakan arvioimista puolustusmenoina, kun taas monet eurooppalaiset jäsenvaltiot ovat olleet taipuvaisia korostamaan panostaan laajemman turvallisuuden eri osa-alueilla. Amerikkalaisittain taakanjakodebatissa on kyseessä laaja keskustelu Euroopan strategisesta merkityksestä kylmän sodan aikana ja valmiudesta toimia Euroopassa, mikäli Venäjä päättäisi eskaloida tilanteen Euroopassa. Toisaalta amerikkalaisessa keskustelussa on ajoittain korostunut myös tarve sitouttaa eurooppalaisia jäsenmaita mukaan Nato-alueen ulkopuolisiin operaatioihin. Taakanjaon problematiikka on usein kovin erilainen eurooppalaisesta näkökulmasta katsottuna: siihen on liittynyt esimerkiksi keskustelu Euroopan mahdollisesta strategisesta autonomiasta ja EU:n yhteisen turvallisuus- ja puolustuspolitiikan tulevasta painoarvosta.



Kuva 2. Presidentti Donald Trump ja Naton pääsihteeri Jens Stoltenberg. (Kuva: Nato)

Tutkimuksessa pyritään tekemään tätä asetelmaa ymmärrettävämmäksi ja ennakoimaan Naton taakanjakokeskustelun tulevaa luonnetta. Se ei pyri tuottamaan tarkkaa ennustetta Naton roolista, asemasta tai poliittisesta toimintakyvystä tarkasteltavana ajanjaksona. Tavoitteena hankkeessa on sen sijaan tunnistaa keskeiset taakanjakoon liittyvät muuttujat ja asiakysymykset sekä eritellä niitä kriittisesti arvioitaessa järjestön tulevaa asemaa eurooppalaisessa turvallisuudessa. Tätä kautta tutkimuksen tavoitteena on tuottaa joukko teemoja ja indikaattoreita, jotka tukevat järjestön tulevan kehityksen arvioimisessa ja myös mahdollisen sisäisen kriisin ennakkovaroituksen antamisessa.

### Suomen kannalta merkittävää

Taakanjaosta näyttää tulleen keskeinen osa läntisen yhteisön nykyistä puhetapaa kansainvälisessä turvallisuudessa. Valmius taakan tai riskien kantamiseen on entistä näkyvämpi kriteeri arvioitaessa yksittäisen valtion arvoa Naton kumppanina ja sen toimintakykyä tai rakentavuutta. Odotukset kohdistuvat yhä vahvemmin siihen, millaisen panoksen itse kukin antaa yhteiseksi hyväksi – riippumatta muodollisista jäsenyyksistä eri turvallisuusjärjestöissä.

Vaikka Suomi pysyttelee sotilaallisesti liittoutumattomana valtiona, näyttää kysymys taakanjaosta tulleen yhä vahvemmin myös osaksi turvallisuuspoliittista kontekstia, jossa Suomikin toimii. Tämä ilmenee ennen kaikkea kriisinhallintaoperaatioissa, Suomen osallistumisessa sotilaallisiin harjoituksiin yhdessä kumppaneidemme kanssa sekä erilaisissa puolustusyhteistyöaloitteissa, joihin Suomi on aktiivisesti osallistunut viime vuosina. Myös pohjoismaista puolustusyhteistyötä sekä Euroopan unionin turvallisuus- ja puolustuspolitiikkaa arvioidaan yhä enemmän transatlanttisen taakanjakodynamiikan valossa niin eurooppalaisissa kuin amerikkalaisissakin puheenvuoroissa.

Tässä asetelmassa Naton taakanjakoon sekä sen poliittiseen toimintakykyyn kohdistuva tutkimus auttaa osaltaan puolustushallinnon strategisessa suunnittelussa sekä kansallisen päätöksenteon valmistelussa. Toisaalta laadukas Naton tulevaisuutta koskeva tutkimus voi tuoda aineksia myös kansalaiskeskusteluun Suomen Nato-jäsenyydestä.

Tutkimushanke on käynnistynyt vuoden 2018 alussa, ja se kestää vuoden 2020 loppuun saakka. Työ toteutetaan Maanpuolustuskorkeakoulun Sotataidon laitoksella.

#### Kirjoittajat:

YTT, dosentti Tommi Koivula työskentelee apulaisprofessorina Maanpuolustuskorkeakoulun Sotataidon laitoksella.

YTM Heljä Ossa työskentelee tutkijana Maanpuolustuskorkeakoulun Sotataidon laitoksella.

# Työn vaatimukset, hallinta ja sosiaalinen tuki – henkilökunnan profiilit oppimisympäristön kokemisessa

## Työssä oppiminen ja oppimisympäristö

Yleinen asevelvollisuus on yksi Suomen puolustusratkaisun peruspilareista, jonka ei ennakoita muuttuvan lähitulevaisuudessa. Puolustusvoimien varusmieskoulutusta antavat perusyksiköt toimivat Puolustusvoimien yhteyspisteinä asevelvollisten kanssa, sillä niissä koulutetaan vuosittain tuhansia asevelvollisia. Puolustusvoimien koulutusta uudistetaan ja kehitetään jatkuvasti. Esimerkiksi juuri toimeenpantavan KOULUTUS 2020 -ohjelman myötä varusmieskoulutuksen rakennetta ja sisältöjä kehitetään laaja-alaisesti. Samanaikaisesti Puolustusvoimien koulutusjärjestelmän painopiste on siirtynyt kohti työssä oppimista, ja työ on laajemminkin muutoksessa yhteiskunnallisten muutosten myötä. Nämä muutostekijät luovat Puolustusvoimien perusyksiköiden henkilökunnalle paineita jatkuvaan itsensä kehittämiseen ja uuden oppimiseen.

Oppiminen työssä voidaan mieltää yksilölliseksi psykologiseksi prosessiksi, joka on kytköksissä yhtäältä yksilön henkilökohtaisiin valmiuksiin, kuten oppimiskykyyn ja persoonallisuuteen, ja toisaalta työympäristön muodostaman oppimisympäristön vaateisiin. Yksilö tarkastelee ympäristöään aina oman elämänhistorian kautta muodostuneen tulkintansa kautta. Nämä tulkinnat ovat jossain määrin toimintaympäristösidonnaisia, vaikka ympäristö ei yksin määritä tulkinnan mahdollisuuksia. Tässä artikkelissa tutkitaan Puolustusvoimien perusyksiköiden henkilökunnan kokemuksia oppimisympäristöstään ja tarkastellaan sitä, miten eri tavalla oppimisympäristönsä kokevat työntekijät suhtautuvat työnsä tarjoamiin oppimismahdollisuuksiin ja työssä oppimisen arvostamiseen.

Perinteinen tapa jäsentää ympäristön työntekijöiden toimintaan vaikuttavia tekijöitä on niin sanotun Karasekin mallin mukainen jaottelu työn vaatimuksiin ja hallintamahdollisuuksiin. Ideaalitalanteessa työn vaatimukset ovat tasapainossa työn hallintamahdollisuuksien kanssa. Korkeat työn

vaateet yhdistettynä korkeisiin hallintamahdollisuuksiin muodostavat aktiivisen työympäristön, joka tarjoaa mahdollisuuksia oppimiseen. Korkea vaatimustaso yhdistettynä mataliin hallintamahdollisuuksiin altistaa puolestaan työperäisen stressin riskille. Myöhemmin tähän jaotteluun lisättiin työympäristön tarjoama sosiaalinen tuki. Tässä artikkelissa työn oppimisympäristötekijöitä tarkastellaan kolmen ulottuvuuden eli työn vaatimusten, hallintamahdollisuuksien ja sosiaalisen tuen kautta.

## Työympäristötekijöiden ja oppimismahdollisuuksien mittaaminen kyselyllä

Tutkimuksen kohderyhmänä (N = 529) oli Puolustusvoimien perusyksiköiden henkilöstöä yli sadasta perusyksiköstä. Yksikön päällikköä pidettiin yksikkönsä pääkouluttajana, ja sen vuoksi myös yksikön johto- ja hallintohenkilöstö otettiin mukaan kohderyhmään. Aineisto kerättiin Webropol-kyselyllä keväällä 2018. Vastaajista 169 (32,2 %) oli aliuupseereita, ja 159 vastaajaa (30,3 %) oli sotatieteiden maistereita tai upseerin tutkinnon suorittaneita. 122 vastaajaa (23,2 %) oli sotatieteiden kandidaatteja ja 72 (13,7 %) oli opistoupseereita. Vastaajat edustivat siis kattavasti kaikkia perusyksikön keskeisiä henkilöstöryhmiä.

Aineiston alustavan tarkastuksen jälkeen ennen varsinaisten summamuuttujien muodostamista aineisto tarkastettiin faktorianalyysin, jotta varmistuttiin oletetunlaisten faktorien muodostumisesta. Aineiston analysoinnissa käytettiin henkilökeskeistä lähestymistapaa, jossa pyritään tunnistamaan samankaltaiset yksilölliset ryhmät suhteessa muuttujiin latentin profiloinnin avulla. Ryhmittelyperusteena käytettiin työympäristötekijöitä. Analyysin toisessa vaiheessa tarkasteltiin työympäristötekijöiden perusteella muodostettujen ryhmien välisiä eroja työympäristön oppimismahdollisuuksien kokemisessa, työssä oppimisen arvostamisessa ja virheitä välttävän oppimisilmapiiriin kokemisessa yksisuuntaisella varianssianalyysillä.

Työympäristötekijöitä mitattiin kolmella ulottuvuudella: työn vaatimukset (4 väittämää, esim. ”Minun pitää usein työskennellä liian lujasti”,  $\alpha=.79$ ), työn hallinta (4 väittämää, esim. ”Minulla on paljon sananvaltaa työtehtävieni suorittamisesta”,  $\alpha=.76$ ) ja koettu sosiaalinen tuki (5 väittämää, esim. ”Saan rohkaisua ja huomiota työkavereiltani”,  $\alpha=.86$ ).

Työympäristön koettuja oppimismahdollisuuksia mitattiin ulottuvuudella itsensä kehittäminen (6 osiota, esim. ”Työhyteistöni tarjoaa riittävät resurssit oman osaamisen kehittämiseksi”,  $\alpha=.86$ ) ja työssä oppimisen arvostusta ulottuvuudella tutkiva työote (7 osiota, esim. ”Pohdiskelen mielelläni erilaisien työmenetelmien käyttöön ottamista”,  $\alpha=.91$ ).

### Tuloksina kolme erilaista ryhmää

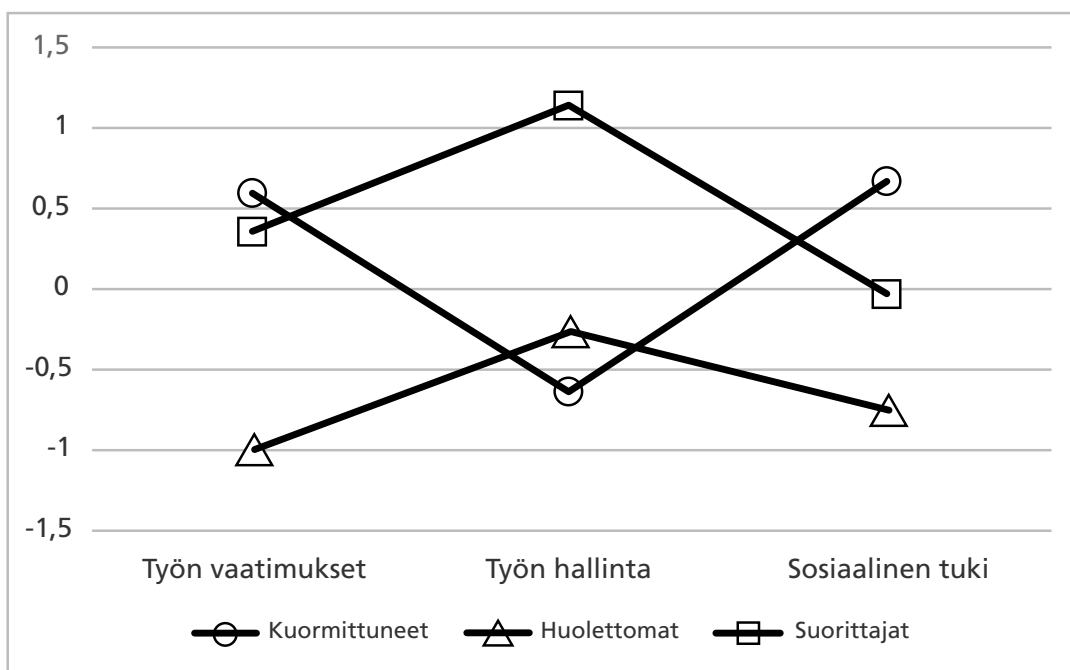
Latentilla profiloinnilla tunnistettiin kolme erilaista ryhmää työympäristökokemusten profiilien perusteella (kaavio 1). Ensimmäistä ryhmää kuvaavat korkeahkona koettu työn vaatimustaso ja toisaalta korkeaksi koettu sosiaalinen tuki työpaikalla sekä ryhmistä kaikkein matalimpana hallinta. Tätä ryhmää luonnehtii kuormittuneisuus, koettu tuki työtovereilta sekä kokemus siitä, että heillä ei ole erityisesti mahdollisuuksia vaikuttaa työhönsä. Ryhmä nimettiin kuormittuneiksi (28,2 % otoksesta).

Toista ryhmää kuvaavat vähiten koetut vaatimukset, melko keskimääräinen hallinnan kokemus sekä vähiten koettu

sosiaalinen tuki. Tälle ryhmälle tyypillistä on siis melko vähäinen kuormittuneisuuden tuntemus, mutta toisaalta he eivät koe saavansa tukea tai kannustusta työtovereiltaan ja omien vaikutusmahdollisuuksien kokemus on keskitasoa. Tämä ryhmä nimettiin huolettomiksi (38,5 % otoksesta).

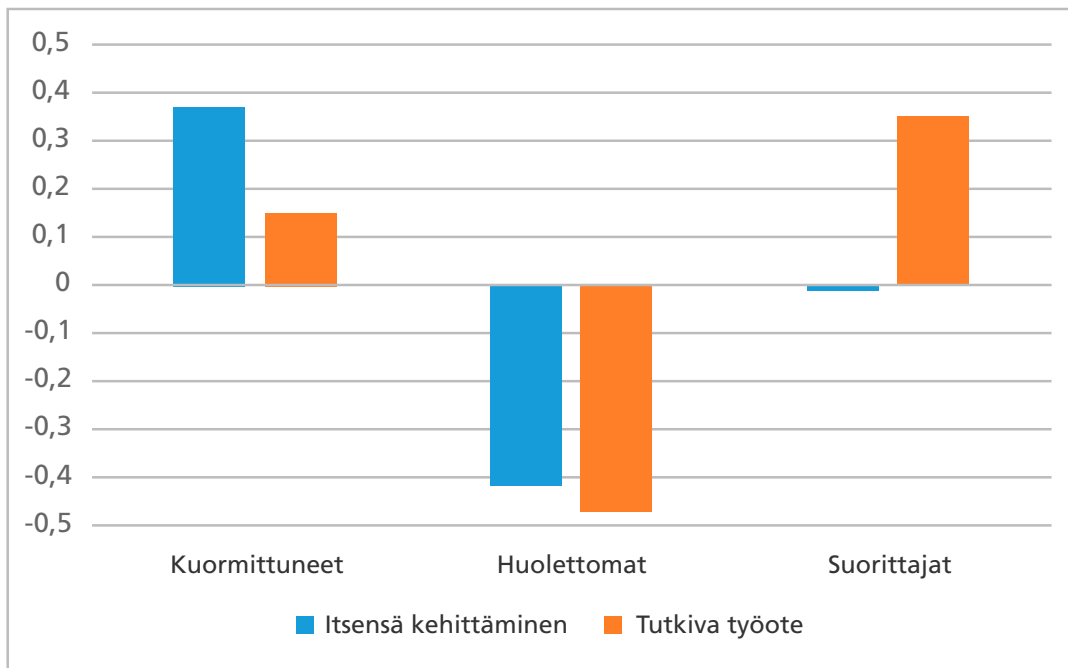
Kolmatta ryhmää kuvaavat korkeana koetut vaatimukset, joihin yhdistyvät voimakas kokemus hallinnasta ja matala koettu sosiaalinen tuki. Ryhmälle on siis luonteenomaista pitää työtä vaativana, ja toisaalta he kokevat omat vaikutusmahdollisuutensa hyvinä eivätkä koe saavansa erityisesti sosiaalista tukea. Tämä ryhmä nimettiin suorittajiksi (33,3 % otoksesta).

On ajateltavissa, että suorittajat ja huolettomat ovat varsin suotavia profiileja työympäristön kokemisen kannalta; näiden henkilöiden yhdistelmään eri ulottuvuuksista liittyy joko helpohkona koettu vaatimustaso tai korkeampaan vaatimustasoon yhdistyvä henkilökohtainen hallinta, joiden voisi ajatella suojaavan stressin eri muodoilta ja olevan positiivisesti yhteydessä työhyvinvointiin. Toisaalta kuormittuneiden kokemusyhdistelmä ei vaikuta hyvältä. Kuormittuneisuus yhdistyneenä vähäisiin mahdollisuuksiin itse hallita työtahtia tai menetelmiä voisi hyvinkin johtaa jonkintasoiseen uupumiseen tai kynnistymiseen. Toisaalta on pidettävä myönteisenä, että kuormittuneet toisaalta kokevat saavansa paljon tukea, kannustusta ja huomiota työkavereiltaan, mikä taas on stressiltä suojaava tekijä.



Kaavio 1. Työympäristökokemusprofiilit (standardoiduilla arvoilla, jossa 0 = keskiarvo).





Kaavio 2. Työympäristökokemusryhmien arviot työssäoppimisessa (standardoiduilla arvoilla, jossa 0 = keskiarvo).

Työssäoppimiseen liittyvissä käsityksissä tulokset taas toivat esille hieman erilaista kuvaa (kaavio 2). Suorittajat ilmenevät eräällä tavalla yhä suotuisana profiilina, sillä he lähestyvät työtään selkeästi voimakkaimmin kehittämishenkisesti eli ovat taipuvaisia kehittämään uusia tapoja ja pohtivat vaihtoehtoisia ratkaisuja työskentelynsä. Sen sijaan suorittajat kokevat työympäristön tarjoavan vain keskimääräisellä tasolla kouluttautumismahdollisuuksia. Kuormittuneet yllättäen kokevat eniten työympäristössään kouluttautumismahdollisuuksia, ja he ovat myös hiukan keskimääräistä enemmän taipuvaisia tavoittelemaan kehittymistä työssään ja työtavoissaan. Huolettomat kokivat vähiten kouluttautumismahdollisuuksia, ja lisäksi he olivat vähiten taipuvaisempia lähestymään työtään kehityshenkisesti.

Kun tarkastellaan ryhmiä näiden lisähavaintojen valossa, suorittajat ovat kuitenkin työnantajan kannalta positiivinen ryhmä: he kokevat työnsä mielekkääksi hallinnan ja vaatimustason suhteen. Toisaalta heidän kehittymiskokemuksensa tai arvostuksensa työssä oppimisen suhteen ilmenee kehityshakuisen motivaation korostumisena – voikin olla, että he kokevat ristiriitaa todellisten mahdollisuuksien vähäisyyden suhteen. Kuormittuneet ovat mahdollisesta kyynistymisestäään huolimatta sekä positiivisesti työssä oppimiseen suhtautuvia että myös kokevat siihen olevan mahdollisuuksia: voisiko tämä kuvata motivaatiota parantaa omaa tilannetta tai suuntautua eteenpäin? Huolettomat voivat itse asiassa olla mahdollisesta stressittömydestään huolimatta hiukan ongelmallinen ryhmä: heillä ei ole kehittymispyrkimyksiä eikä kokemusta siitä, että kehitys olisi mahdollista. Voisiko

olla niin, että tämälantapainen ajattelu johtaa pidemällä aikavälillä työn koetun mielekkyyden vähentymiseen ja sen ei-toivottaviin myöhempisiin seurauksiin?

### Henkilöstön näkökulma työympäristöstä kehittämiseen mukaan

Tämän artikkelin tavoitteena oli tutkia, millaisiin erilaisiin tavoin perusyksikön henkilöstö kokee oppimisympäristönsä ja miten tämä kokemus on yhteydessä jarrottuihin oppimismahdollisuuksiin ja työssä oppimisen arvostamiseen. Ilmiötä lähestyttiin määrällisin menetelmin henkilöstökeskeisellä tutkimusasetelmalla, jossa vastaajat jaoteltiin ryhmiin oppimisympäristötekijöiden kokemuksen mukaisesti. Toisessa vaiheessa analysoitiin, miten oppimisympäristönsä eri tavalla kokevat henkilöt suhtautuvat tarjolla oleviin oppimismahdollisuuksiin ja työssä oppimiseen.

Aineistosta tunnistettiin kolme erilaista ja melko samankokoista ryhmää, jotka nimettiin oppimisympäristön kokemuksen perusteella kuormittuneiksi, huolettomiksi ja suorittajiksi. Tarkastelu ilmensi edelleen selkeitä eroja työssä oppimiseen liittyvissä käsityksissä. Suorittajien kokemukset olivat keskimääräisiä tai varovaisen myönteisiä kaikissa muuttujissa, eli he olivat siinä mielessä myönteinen ryhmä. Kuormittuneet kokivat työnsä vaativuuden korkeana ja hallintamahdollisuudet matalampana. Toisaalta kuormittuneet kokivat saavansa suhteellisen paljon sosiaalista tukea. Huolettomat kokivat työnsä hallintamahdollisuudet työn vaatimuksia ja sosiaalista tukea korkeampana. Tässä mielessä mikään ryhmä ei

erottunut erityisen haasteellisessa tilanteessa olevana. Kielteisissä yhdistelmässä lienee ryhmä, joka kokee työn vaateet korkeana mutta sekä työn hallintamahdollisuudet että saamansa sosiaalisen tuen matalana. Perusyksiköiden organisaatiokulttuuria voidaan pitää myönteisenä, sillä kaikki ryhmät kokivat saavansa suhteellisen paljon sosiaalista tukea. Toisaalta tulokset ovat haastavia työympäristön kehittämisen näkökulmasta. Vastaajat kokevat työympäristönsä selkeästi erilaisin tavoin, jolloin kaikkia ryhmiä tukevien kehitystoimenpiteiden toimeenpano on haastavaa.

Ryhmien välisten erojen tutkiminen toi myös uudenlaisia näkökulmia esiin. Suorittajien ja kuormittuneiden kokemukset olivat hieman erilaisia, mutta niissä molemmissa oli myönteisiä puolia niiden korostaessa tutkivaa työtettä ja tarjolla olevia oppimismahdollisuuksia. Huolettomat näkivät nämä tekijät suhteellisen kielteisesti, mikä saattaa viitata siihen, että tämä ryhmä ei ole kovin sitoutunut työhönsä eivätkä he ole välttämättä kovinkaan halukkaita osallistumaan itsensä tai laajemmin toiminnan kehittämiseen.

seen. Toinen mielenkiintoinen havainto oli kuormittuneiden kokemus työympäristön tarjoamista kehittämismahdollisuuksista. Tämä saattaa viitata myönteisiin näköaloihin omassa työssään tai toisaalta voikin olla niin, että työn runsaat kehittämis- ja oppimismahdollisuudet koetaan osaksi työn kokonaiskuormitusta, koska ne edellyttävät henkilöstöltä huomiota ja toimenpiteitä tavanomaisten työtehtävien lisäksi.

Kokonaisuudessaan tulokset osoittavat tarpeen henkilöstön näkökulman huomioimiseen osana organisaation kehittämistä. Henkilöstö ei muodosta yhtä samankaltaista massaa, vaan heidän kokemuksensa työympäristöstä vaihtelevat, kuten vaihtelevat myös yksilölliset preferenssit työssä oppimisen tavoista. Organisaation kehitystoimenpiteitä suunniteltaessa tulisi olla tietoinen henkilöstön yksilöllisistä eroista ja erilaisista korostuksista, jotta henkilöstö kyetään sitouttamaan muutoksiin. Muutoin on vaarana, että keskitetyt johdetut muutokset eivät jalkaudu toimintaan käytännön toimenpiteiksi ja osaksi jokapäiväistä toimintaa.



#### **Kirjoittajat:**

Majuri, KM Otto Pekkarinen toimii tiiminjohtajana Maavoimien esikunnan huolto-osastolla.

Apulaissotilasprofessori, dosentti, majuri Antti-Tuomas Pulkka toimii sotilaspedagogiikan apulaissotilasprofessorina Johtamisen ja sotilaspedagogiikan laitoksella Maanpuolustuskorkeakoululla.

Kirjoitus perustuu Otto Pekkarisen YEK59 diplomityön aineistoon.

# Merenalaiset tietoliikennekaapelit ja niihin kohdistuvat hybridiuhkat

Kansainvälisestä tietoliikenteestä yli 95 % kulkee globaalin merikaapeliverkoston kautta. Verkosto muodostuu lukuisista itsenäisten kaupallisten toimijoiden omistamista kaapelijärjestelmistä, joissa kyetään siirtämään suuria määriä tietoa nopeasti, luotettavasti, turvallisesti ja taloudellisesti. Merenalaisen tietoliikennekaapeleiden merkitys on vaihdellut eri aikakausina. 1800-luvun lopulla ja 1900-luvun alussa lennätinkaapelit olivat aikansa uusinta tekniikkaa ja myös sotilaallisessa käytössä hyvin tärkeitä. Ensin radiotekniikan sekä myöhemmin satelliitteihin perustuvan tiedonsiirtotekniikan kehittyessä merenalaisen tiedonsiirtokaapeleiden merkitys väheni. 1970-luvulta alkanut valokuitukaapeleiden käyttö lisäsi uudelleen merenalaisen tiedonsiirtokaapeleiden merkitystä. Internet asetti aivan uudentasoisia vaatimuksia tiedonsiirtojärjestelmien kapasiteetille. Merenalaisen tiedonsiirtokaapeleiden määrä lisääntyy koko ajan, ja niiden merkitys kasvaa myös tulevaisuudessa.

## Vaikuttamisen pitkä historia

Merenalaiset tiedonsiirtokaapelit ovat merenpohjaan lasketuina alttiina erilaisille uhkille, joita ovat esimerkiksi kalastus, merenkulku ja luonnonmullistukset, kuten maanjäristykset. Tiedonsiirtokaapelit voivat olla myös tahallisen vaikuttamisen kohteena. Kaapeleihin vaikuttaminen voi olla fyysistä vaikuttamista, tai sitä voidaan toteuttaa tietoverkossa. Tahallisella kaapeleihin vaikuttamisella on lähes yhtä pitkä historia kuin kaapeleillakin. Vuonna 1898 Yhdysvaltain laivasto katkaisi Espanjaa vastaan käymässään sodassa Manila–Hong Kong- ja Manila–Cadiz-väliset lennätinkaapelit. Ensimmäisessä maailmansodassa Saksa ja Britannia hyökkäsivät molemmat toistensa merikaapeleita vastaan. Lähihistoriallinen esimerkki kaapeleiden vaurioitumisen vaikutuksista on vuodelta 2008, jolloin kolmen maailman suurimpiin kuuluneiden tiedonsiirtokaapeleiden vaurioituminen Välimerellä vähensi noin 60 % kaupallisesta ja sotilaallisesta tiedonsiirtokapasiteetista Persianlahden alueella. Kaapelirikon aikana kerrotaan Yhdysvaltojen ilmavoimien miehittämättömien ilma-alusten maalittamisryhmän työskentelyn hidastuneen puolella sekä Irakissa toimineen tukikohdan lennokkien lentosuoritusten laskeneen sadoista suorituksista vain kymmeneen suorituksiin päivässä.

Hybridivaikuttamiseksi kutsutaan toimintaa, jolla pyritään eri toisiaan täydentäviä keinoja käyttäen saavuttamaan toimijan omat tavoitteet. Toiminta on teko tai tekoja, joiden tekijää, kohdetta, välinettä, menetelmää ja teon kontekstia

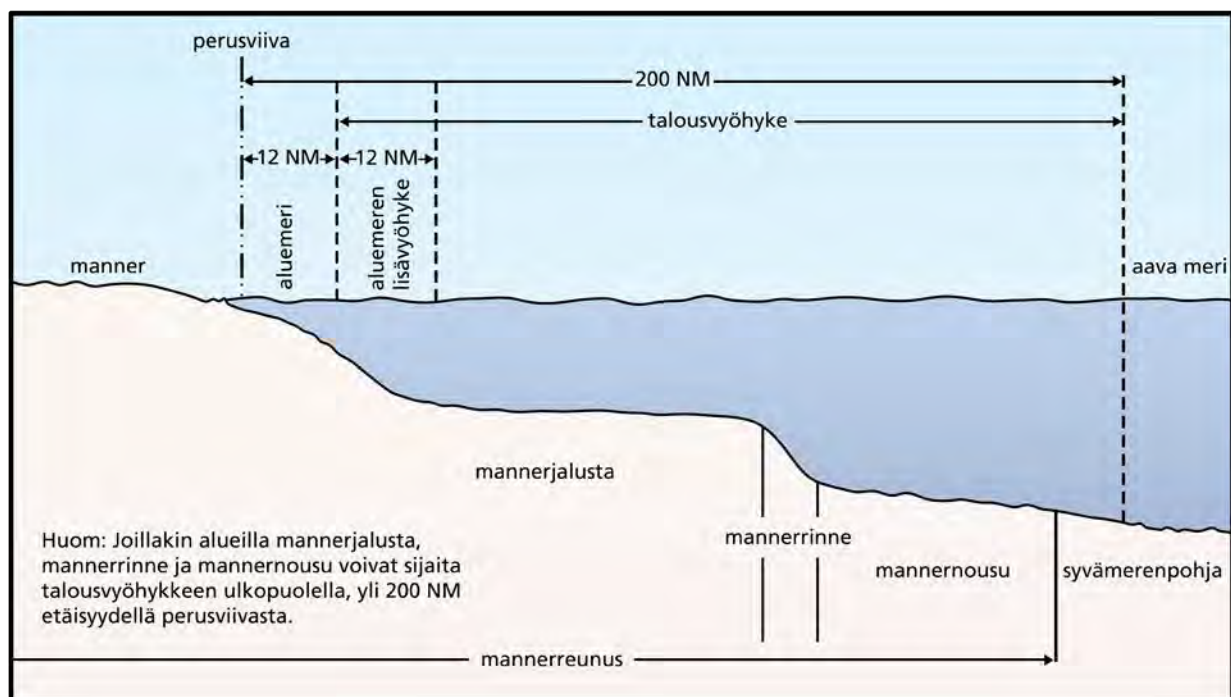
tulee tarkastella kokonaisuutena. Hybridi-etuliitteen käyttöä on monesti kritisoitu, mutta sen käyttäminen on hyödyllistä, jos sen avulla tarkastellaan asioita aikaisempaa useammista tai uusista näkökulmista. Hybridivaikuttamisen yhtenä keinona on esitetty kansainvälisen oikeuden hyväksikäyttöä (lawfare) vaikuttajan omien intressien ajamiseksi. Kansainvälisen oikeuden hyväksikäytöltä suojautumiseksi kansainvälisen oikeuden normit tulee tuntea eri aloilta – myös merenalaisiin tiedonsiirtokaapeleihin liittyvät.

## Kansainväliset sopimukset ja kaapeleiden rakentaminen

Merenalaisen kaapeleiden kansainvälisoikeudellinen asema perustuu pääosin vuoden 1884 merenalaisen lennätinkaapeleiden suojaamista koskevan valtiosopimuksen, vuoden 1958 aavaa merta ja mannermaajalustaa koskevien yleissopimusten sekä vuoden 1982 Yhdistyneiden kansakuntien merioikeusyleissopimuksen sekä kansainvälisen tapaoikeuden oikeussääntöihin. Merenalaisiin kaapeleihin vaikuttamisen sääntely aseellisessa selkkauksessa perustuu pääosin kansainvälisen humanitaarisen oikeuden valtiosopimukseen sekä kansainvälisen tapaoikeuden oikeussääntöihin. Vuoden 1884 valtiosopimus käsittää merenalaisia lennätinkaapeleita ja niiden suojaamista koskevia määräyksiä. Vuoden 1958 yleissopimukset ja 1982 merioikeusyleissopimus ovat kattavia merioikeudellisia sopimuksia. Vuoden 1884 sopimuksen määräyksiä on osin sisällytetty vuoden 1958 sopimukseen, joiden merenalaisia kaapeleita koskevat määräykset taas lähes sellaisenaan sisällytettiin vuoden 1982 merioikeusyleissopimukseen. Vuoden 1884 sopimuksella on nykyisin noin 40 sopimusosapuolta ja 1982 merioikeusyleissopimuksella 168. Vuoden 1982 Yhdistyneiden kansakuntien merioikeusyleissopimuksen määräykset ovat kuitenkin osa kansainvälistä tapaoikeutta, joten ne velvoittavat sopimusosapuolien lisäksi myös muita valtioita.

Merivyöhykkeiden rajat on määritelty vuoden 1982 Yhdistyneiden kansakuntien merioikeusyleissopimuksessa. Merivyöhykkeet on huomioitava kaikessa merenalaisiin tiedonsiirtokaapeleihin liittyvässä toiminnassa. Merivyöhykkeet vaikuttavat muun muassa lupamenettelyyn sekä mahdollisiin rajoituksiin esimerkiksi kaapelin rakentamiselle ja ylläpitämiselle.

Merenalaisen tiedonsiirtokaapeleiden rakentaminen jakaantuu suunnitteluun, reittitutumukseen sekä kaapelin laskemiseen. Merikaapelijärjestelmät eivät tyypillisesti vaadi huoltoa elinkaarensa aikana, vaan järjestelmien ylläpito on kaapelei-



Merivyöhykkeet Yhdistyneiden kansakuntien merioikeusyleissopimuksessa. (Grafiikka: Mario Malm)

den vaurioiden ja vikojen korjaamista. Merenalaisen tiedonsiirtokaapelin vikaantuessa tai vaurioituessa vauriokohdan korjaaminen edellyttää kaapelin nostamista merenpohjasta korjausalueen kannelle. Tiedonsiirtokaapeleiden käytöstä poistamisen jälkeen kaapelit tyypillisesti jätetään paikoilleen merenpohjaan.

Kaapelin suunnittelussa laadittujen vaihtoehtoisten kaapelireittien alueilta kerätään reittitutkimuksella varsin kattavat tiedot, joita ovat ainakin hydrografiset ja geologiset tiedot, vanhojen merikaapelien ja muiden rakennelmien sijainnit, kaapelin maanousujen toteutumismahdollisuudet, ympäristönsuojelulliset alueet, toiminnan rajoitukset sekä kalastuksen harjoittaminen alueella. Kerättyjen tietojen perusteella suunnitellaan mahdollisimman tehokas ja turvallinen kaapelireitti, joka tiedustellaan vielä kattavammin. Tiedustelulla kerätään tietoa kaapelireitiltä ainakin veden syvyyssuhteista, merenpohjan topografiasta, pohjan laadusta ja paksuudesta, merieliöstöstä sekä mahdollisista ihmisen tai luonnonilmiöiden aiheuttamista uhkista rakennettavalle kaapelille.

Mannerjalustan alueella rakennettavat tiedonsiirtokaapelit ovat yleensä alle 1 000–1 500 metrin syvyydessä, ja tyypillisesti ne haudataan merenpohjaan. Kaapelin hautaamisella suojataan kaapelia muilta merenpohjan käyttäjiltä. Merenpohjassa on alueita, joilla kaapelin hautaaminen on epäkäytännöllistä tai mahdotonta toteuttaa. Kaapelin hautaamiselle kelpaamattomia alueita pyritään välttämään. Vaihtoehtoisesti käytetään vahvasti suojattua kaapelia, jota suojataan vielä

lisäksi erilaisilla suojausmateriaaleilla ja -tavoilla. Yli 1 500 metrin syvyydessä sijaitsevat kaapelit ovat tyypillisesti vain vähäisesti suojattuja ja ainoastaan laskettu merenpohjalle.

Mereralaista tiedonsiirtokaapelia rakennuttaessa sekä kaapelin valmistuttua on mahdollista kerätä runsaasti tietoa rantavaltion merenalaisesta infrastruktuurista. Pietarin ja Kaliningradin välillä vuonna 2012 rakennetun KS-FOTS-kaapelin rakentaminen Suomen talusvyöhykkeelle edellytti kaikkien risteävien kaapeleiden ja putkistojen sekä muun merenpohjan infrastruktuurin tietojen selvittämistä alueelta. Suomen talusvyöhykkeellä oli vuonna 2012 kaapelin kanssa 12 risteävää mereralaista sähkö- tai tiedonsiirtokaapelia. Myöhemmin alueelle rakennettavan infrastruktuurin lupamenettelyiden yhteydessä, ainakin Suomen noudattaman käytännön mukaan, jo alueelle rakennetun infrastruktuurin omistajilta pyydetään erikseen lausuntoja yksityiskohtaisiin lupahakemusasiakirjoihin. KS-FOTS-kaapelin reitti kulkee Suomen talusvyöhykkeen alueen läpi – kaapeli ei siis kulje Suomen alueelle tai aluemerelle. Suomen valtio sääntelee talusvyöhykkeelle rakennettavan merenalaisen kaapelin rakentamista lupa-asiakirjojen perusteella, Yhdistyneiden kansakuntien merioikeusyleissopimuksen 56 artiklan säännösten mukaan, jotka koskevat rantavaltion lainkäyttövaltaa meriympäristön suojeluun ja säilyttämiseen.

Merenalaisen tiedonsiirtokaapelin reittitutkimuksen tekeminen rantavaltion aluemerellä ei ole viatonta kauttakulkua, ja rantavaltion alueella suoritettava reittitutkimus edellyttää

rantavaltion hyväksyntää. Reittitutkimuksen tekeminen alue-  
meren ulkopuolella kuuluu kaikkien valtioiden oikeuksiin,  
mutta rantavaltio voi rajoittaa sitä lainkäyttövaltansa perus-  
teella talousvyöhykkeellään sekä mahdollisesti asettaa sille rajoit-  
uksia mannerjalustallaan. Rantavaltion aluemerellä toteut-  
etun kaapelin reittitutkimuksen tietojen käyttämistä myös  
sotilaalliseen käyttötarkoitukseen ei voida pitää epäasiallisena  
vaikuttamisena toisen valtion alueella, jos tieto on kerätty  
luvanvaraisen reittitutkimuksen aikana. Se olisi kuitenkin  
kansainvälisen oikeuden vastainen teko, koska merioikeus-  
yleissopimuksen oikeuksia olisi käytetty väärin. Aseellisessa  
selkkauksessa merenalaisen reittitutkimuksen toteuttaminen  
ja sillä kerättävän tiedon käyttäminen sotilastarkoitukseen  
tekee kartoitusta suorittavasta aluksesta sotilaalliseksi koh-  
teeksi luokiteltavan maalin. Haasteena olisi kaksoiskäytön  
osoittaminen, koska luvanvaraista toimintaa suorittava alus  
rantavaltion aluemerellä on todennäköisesti samaisen kaapeli-  
yrityksen omistama siviilialus, joka suorittaa reittitutkimuksia  
normaalioloissakin. Aluksen toimintaan voitaisiin kuitenkin  
tarvittaessa puuttua kaikilla muilla merivyöhykkeillä kuin  
puolueettoman valtion aluemerellä.

### **Kaapeleiden vaurioittamisen vaikutukset**

Rantavaltion käytössä oleva merenalainen tiedonsiirtokaapeli  
on mahdollista katkaista tai vaurioittaa sitä käytännössä millä  
tahansa merivyöhykkeellä. Kaapelin vaurioittaminen on yksin-  
kertaisinta toteuttaa laahaamalla ankkuria merenpohjalla.  
Kaapelin katkaiseminen rantavaltion aluemerellä on kansain-  
välisen oikeuden mukaan vähintään epäasiallista vaikuttamis-  
ta toisen valtion alueella. Rantavaltio voi puuttua kaapelin kat-  
kaisemiseen valtiollisen täysvaltaisuutensa perusteella ja oman  
kansallisen lainsäädäntönsä mukaisesti. Rantavaltio voi vaatia  
toisen valtion valtionalusta poistumaan aluemereltään, jos se ei  
noudata kauttakulkua koskevia rantavaltion lakeja ja määräyksiä  
ja jättää huomiotta sille esitetyn pyynnön noudattaa niitä.

Mannerjalustalla sekä aavalla merellä rantavaltion kaapelin  
katkaiseminen tai vaurioittaminen on kansainvälisen oikeu-  
den vastaista, mutta se kuuluu rantavaltion lainkäyttövallan  
sijaan kaapelin katkaisteen aluksen lippuvaltion tai kaapelin  
katkaisteen henkilön kansallisuutta edustavan valtion lain-  
käyttövaltaan. Välittömät toimenpiteet kaapelin katkaisemi-  
sen jälkeen rajoittuvat aluksen lippuvaltion toimenpiteisiin  
tai lippuvaltion pyyntöön toiselle valtiolle esimerkiksi aluk-  
seen nousemisesta. Kaapelin katkaisteen aluksen lippuvaltion  
lukuun toteuttama tahallinen kaapelin katkaisu tai vaurio  
tuskin aiheuttaisi tosiasiallisia seuraamuksia. Diplomaattisen  
suojeluoikeuden perusteella rantavaltio voi nostaa kanteen  
kaapelin omistavan yrityksen puolesta kaapelin katkaisteen  
aluksen lippuvaltiota vastaan tai kaapelin katkaisteen henki-  
lön kansallisuutta edustavaa valtiota vastaan.

Suurten merenalaisen kaapelijärjestelmän vaurioitumisen vai-  
kutukset kohdistuvat useisiin valtioihin. Vaurioituneesta kaa-

pelijärjestelmästä tai sen osasta tietoliikenne siirtyy kuormit-  
tamaan muita kaapelijärjestelmiä, jolloin vaurion vaikutukset  
voivat kohdistua vieläkin lukuisampaan määrään valtioita.  
Rantavaltion käyttämän kaapelin katkaiseminen sen alue-  
meren ulkopuolella on epäasiallista vaikuttamista niitä valtioita  
kohtaan, jotka kaapelia käyttävät, sekä kaapelin omistavan  
yrityksen edustamaa kansallisuutta olevaa valtiota kohtaan.  
Kaapelin katkaisemisen ei kuitenkaan todennäköisesti voi-  
da tulkita rikkovan YK:n peruskirjan artiklan 2(4) mukaista  
voimankäytön kieltoa. Kaapelin katkaisemiseen on epätar-  
koituksenmukaista käyttää aseellista vaikuttamista, eivätkä  
kaapelijärjestelmään vaikuttamisen seurannaisvaikutukset  
todennäköisesti ole aseelliseen vaikuttamiseen rinnastettavia.

### **Sotilaallinen vai siviilikohde?**

Aseellisessa selkkauksessa merenalaisen kaapeli katkaisemi-  
nen tai vaurioittaminen edellyttää, että kaapeli täyttää soti-  
laskäyttökohteen määritelmän. Puolueettomien valtioiden  
välillä kulkevien kaapeleiden vaurioittaminen on kiellettyä,  
ellei se ole ehdottoman välttämätöntä. Ehdottoman välttä-  
mätön olisi esimerkiksi tilanne, jossa vihollinen hyödyntää  
merenalaista kaapelia sotilaallisesti ja sen katkaisu olisi soti-  
laallisesti välttämätöntä.

Merisodan oikeusääntöjen mukaan kaapelin katkaisu tulee  
toteuttaa puolueettoman valtion aluemeren ulkopuolella.  
Isompien kaapelijärjestelmien vaurioittamisen vaikutuksia  
voi olla kuitenkin vaikea rajata koskemaan vain aseellisen  
selkkauksen osapuolia. Toisaalta voisi olla vaikea erotella  
siviili- ja sotilaskäyttöä eri kaapeleissa. Humanitaarisen oi-  
keuden mukaan, jos kohdetta epäillään parhaillaan käytettä-  
vän siviilitarkoitukseen, sitä olisi kohdettava siviilikohdeena.  
Tietoliikenneyhteydet ovat kuitenkin keskeisiä maaleja vi-  
hollisen johto- ja komentojärjestelmän tuhoamiseksi, joten  
niiden tuhoaminen on sotilaallinen välttämättömyys. Jos  
kaapelia käytetään samanaikaisesti siviili- ja sotilaskäytössä,  
on se sotilaallinen kohde. Tarpeettomista tuhoista kaapeleille  
voi kuitenkin syntyä korvausvelvollisuus, samaan tapaan kuin  
Irakille syntyi Kuwaitin öljylähteiden syyttämisestä tuleen  
Persianlahden sodassa.

### **Kaapeleiden tiedustelu**

Merenalaisissa tiedonsiirtokaapeleissa siirtyvän tiedon tie-  
dustelu on yksinkertaisinta toteuttaa järjestelmien maalla si-  
jaitsevia osia hyödyntäen. Teoriassa merenalaisessa kaapelissa  
liikkuvaa tietoa voisi kuitenkin kerätä myös merenpohjalla si-  
jaitsevista osista esimerkiksi kytkemällä tarvittavia laitteistoja  
tietoliikennekaapelin toistimiin tai haaroittimiin. Merenalai-  
sen kaapelissa siirtyvän tiedon tiedustelu rantavaltion alueella  
kuuluu rantavaltion täysivaltaisuuden piiriin, ja sen laillisuu-  
desta säädetään rantavaltion kansallisessa lainsäädännössä.

Rantavaltion alueelle siirtyminen kaapelin tiedustelemiseksi ei ole viatonta kauttakulkua, ja jo aluemerelle siirtyminen tiedustelutarkoituksessa olisi siten kansainvälisen oikeuden vastainen teko, johon rantavaltiolla on oikeus kaikkina aikoina reagoida tarpeelliseksi katsomillaan toimilla tämän toiminnan lopettamiseksi. Muilla merivyöhykkeillä merenalaisessa kaapelissa siirtyvän tiedon tiedustelu ei kuulu rantavaltion lainkäyttövaltaan. Tiedustelua kaapelia vaurioittamatta ei ole kansainvälisen oikeuden mukaan erikseen kielletty. Aseellisessa selkkauksessa merenalaisissa kaapeleissa siirtyvän tiedon tiedustelu on sallittua kaikkialla muualla paitsi puolueettoman valtion aluemerellä.

### **Kaapeleiden hyödyntäminen meritieteellisessä tutkimuksessa**

Merenalaisen kaapeleiden osajärjestelmiä on suunniteltu tulevaisuudessa käytettäväksi myös meritieteellisessä tutkimuksessa, jolloin esimerkiksi kaapeleiden toistinten yhteyteen sijoitettaisiin erilaisia sensoreita. Meritieteellistä tutkimusta varten kerättäviä tietoja on mahdollista hyödyntää myös sotilaallisesti. Rantavaltion alueelle laskettujen kaapeleiden varustaminen meritieteelliseen tutkimukseen tai puhumattakaan sotilaallisen käyttötarkoitukseen käytettävillä sensoreilla kuuluu rantavaltion täysivaltaisuuden piiriin. Sotilaallisten järjestelmien sijoittaminen rantavaltion aluemerelle rikkoo rantavaltion alueellista koskemattomuutta ja on siten kansainvälisen oikeuden vastainen teko. Rantavaltiolla on lainkäyttövaltaa talousvyöhykkeellään muun muassa tekosaariin, laitteisiin ja rakennelmien rakentamiseen ja käyttöön, mutta merenalaiset kaapelit eivät ole merioikeusyleissopimuksessa tarkoitettuja laitteita tai rakennelmia. Rantavaltio ei voi kuitenkaan käyttää lainkäyttövaltaansa talousvyöhykkeellä kansallisen turvallisuutensa perusteella.

Rantavaltiolla on talousvyöhykkeellään lainkäyttövaltaa meritieteelliseen tutkimukseen. Rantavaltion tulee huomioida meritieteelliseen tutkimukseen käytettävien sensoreiden kaksikäyttömahdollisuus säännellessään sellaisen järjestelmän rakentamista talousvyöhykkeelleen. Meritieteellisten sensoreiden sijoittaminen luvatta rantavaltion talousvyöhykkeelle rikkoo rantavaltion oikeuksia ja on siten kansainvälisen oikeuden vastainen teko. Sotilaallisten sensoreiden sijoittaminen osaksi kaapelijärjestelmää rantavaltion talousvyöhykkeelle ei kuitenkaan riko rantavaltion oikeuksia, koska rantavaltiolla ei ole oikeutta säännellä sotilaallista toimintaa talousvyöhykkeellä, silloin kun se ei vaikuta rantavaltion oikeuksiin talousvyöhykkeellä.

Talousvyöhykkeen ulkopuolella mahdollisesti sijaitsevalla mannerjalustalla sekä aavalle merelle laskettavien kaapeleiden varustaminen sensorijärjestelmillä ei kuulu valtioiden lainkäyttövallan piiriin. Mannerjalustaan liittyvät rantavaltion oikeudet sen tutkimiseksi liittyvät mannerjalustan luonnonvarojen hyödyntämiseen, ei meritieteelliseen tutkimukseen

tai sotilaalliseen tiedusteluun ja valvontaan. Aseellisessa selkkauksessa tiedusteluun ja valvontaan käytettävien sensoreiden sijoittaminen on sallittua kaikkialla muualla paitsi puolueettoman valtion aluemerellä.

### **Vuoden 1884 sopimuksen soveltaminen**

Vuoden 1884 merenalaisen lennätinkaapeleiden suojaamiseksi tehdyn sopimuksen X artiklan mukaan sopimusosapuolien sota-aluksilla on oikeus nousta toisen sopimusosapuolen lippua käyttävään alukseen aluemereren ulkopuolella silloin, kun on syytä epäillä aluksen rikkoneen tai vaurioittaneen merenalaisia kaapelia. Merioikeusyleissopimuksessa aluksen tarkastaminen aavalla merellä on oikeutettua vain hyvin rajoitetuissa tapauksissa. Muilla merivyöhykkeillä kuin aluemerellä, aluksen tarkastusoikeus on varattu muissa tapauksissa vain aluksen lippuvaltiolle.

Venäjä on vuoden 1884 valtiosopimuksen sopimusosapuoli. Venäjään kuuluneen ja sittemmin itsenäistyneen valtion voisi väittää valtioseuraannon kautta olevan kyseisen sopimuksen sopimusosapuoli. Ei ole pois suljettua, että valtioseuraannon kautta sopimukseen kuuluvan valtion lippua käyttäviä aluksia voitaisiin tarkastaa aluemereren ulkopuolella ja käyttää sen perusteena vuoden 1884 sopimuksen X artiklan mukaista epäilystä merenalaisen kaapelin rikkomisesta tai vaurioittamisesta. Kyseiset valtiot voisivat toisaalta itse käyttää sopimuksen artiklaa perusteena sopimusosapuolien lippua käyttävien alusten tarkastamiselle. Varminta kuitenkin olisi, että halutessaan tällaisen erityisen tarkastusoikeuden valtio kuitenkin liittyisi tämän valtiosopimuksen osapuoleksi, jolloin tämä oikeus varmasti syntyisi. Vuoden 1884 sopimuksen määräyksiä ei sovelleta aseellisessa selkkauksessa. Kaapelin rikkonut tai sitä vaurioittanut alus voidaan tarkastaa muualla kuin puolueettoman valtion aluemerellä huolimatta siitä, onko aluksessa vihollisen tai puolueettoman valtion lippu.

#### **Kirjoittajat:**

Komentajakapteeni Antti-Pekka Kiiski palvelee Uudenmaan prikaatissa. Kiiski laati opinnäytetyön yleisesikuntaopseerikursilla 59 aiheenaan merenalaisen kaapeleiden kansainvälisoikeudellinen asema – kaapeleiden käyttö tai niihin vaikuttaminen osana hybridivaikuttamista.

Oikeustieteen lisensiaatti Kari T. Takamaa toimii johtavana sotilaslakimiehenä Maanpuolustuskorkeakoulussa Johtamisen ja sotilaspedagogiikan laitoksella. Takamaa toimi Kiiskin opinnäytetyön ohjaajana.

# Nuoret ja somen pimeä puoli

**Sosiaalinen media on yhä enemmän turvallisuushikka. Se on myös yksi keskeisiä kanavia informaatiovaikuttamiseen ja disinformaation levittämiseen. Maanpuolustuskorkeakoululla tutkitaan #Agents-hankkeessa nuorten toimijuutta sosiaalisessa mediassa kansallisen turvallisuuden näkökulmasta.**

Sosiaalinen media on keskeinen osa nuorten arkipäivää, ja sen vuoksi on tärkeää ymmärtää, millaisessa digitaalisessa maailmassa nuoret elävät ja mitä se heille tarkoittaa. Päivitysten jakamisen ja viestien vaihdon lisäksi sosiaalinen media tekee nuorille mahdolliseksi monenlaisia aktiivisen toimijuuden muotoja. Tällaisia ovat esimerkiksi yhteiskunnallisiin kampanjoihin osallistuminen, videoiden julkaiseminen, blogien kirjoittaminen ja sosiaalisen median ryhmien keskusteluihin osallistuminen. Toisaalta sosiaalisessa mediassa ja sen käytössä on myös pimeä puolensa. Nuoret ovat yhä aggressiivisemmän markkinointiviestinnän kohteena, ja he altistuvat vahingollisille internetsisällöille, jotka on suunniteltu tekemään käyttäjänsä riippuvaiseksi. Lisäksi monet lapset ja nuoret kohtaavat sosiaalisessa mediassa kiusaamista ja häirintää. He joutuvat jopa rikosten, kuten seksuaalisen hyväksikäytön, kohteiksi. Nuoret ovat myös hyvin alttiita suoran informaatiovaikuttamisen ja propagandan eri muodoille.

## #Agents

#Agentit – Nuorten toimijuus sosiaalisessa mediassa -hankkeessa tutkitaan 13–19-vuotiaiden nuorten toimintaa vaikuttajina ja vaikuttamisen kohteina sosiaalisessa mediassa sekä sosiaalisen median uhkia ja mahdollisuuksia nuorten elämässä. Suomen Akatemian rahoittamassa nelivuotisessa (2019–2022) monitieteisessä hankkeessa aihetta lähestytään sotatieteiden, sosiologian, psykologian ja viestinnän johtamisen näkökulmista. #Agentit-hanke kuuluu Suomen Akatemian Media ja yhteiskunta -ohjelmaan. Tutkimuskonsortioon kuuluvat Jyväskylän yliopisto, Helsingin yliopisto ja Maanpuolustuskorkeakoulu (MPKK). Hanketta johtaa Jyväskylän yliopisto (professori Wilska). Maanpuolustuskorkeakoulun kansainväliset yhteistyökumppanit ovat Swiss Military Academy ja Newcastle University (Iso-Britannia), ja kotimaisina kumppaneina ovat Pelastakaa Lapset ry. ja Poliisiammattikorkeakoulu.

Maanpuolustuskorkeakoulun tutkimuskohteita ovat sosiaalisen median harmaa ja pimeä puoli sekä erityisesti kutsuntikäisten ja palveluksessa (mukaan lukien siviilipalvelus) olevien nuorten kokemukset heihin kohdistuvasta informaatiovaikuttamisesta. Keskeisiä tutkimuskysymyksiä ovat



(Kuva: Axel Mankinen)

mm. seuraavat: Millaisia valmiuksia nuorilla on tunnistaa ja suojata itseänsä informaatiovaikuttamisen riskeiltä? Miten sosiaalinen media vaikuttaa nuorten tilannekuvaan turvallisuudesta? Miten keskustelu sosiaalisessa mediassa vaikuttaa nuorten asenteisiin kokonaisturvallisuuden näkökulmasta? Näihin kysymyksiin etsitään vastauksia tarkastellen nuorten toimintaa sosiaalisessa mediassa erityisesti informaatiovaikuttamisen, propagandan ja turvallisuuden näkökulmasta.

Hankkeen muut toimijat tutkivat nuoria sosiaalisina ja kaupallisina toimijoina sosiaalisessa mediassa sekä nuoria median ja markkinatalouden risteyksessä. Tutkimuskysymyksiä ovat: Miten nuorten sosiaalinen pääoma ja toimijuus rakentuvat sosiaalisessa mediassa? Mihin tietolähteisiin nuoret luottavat? Ketkä ovat vaikuttajia ja ketkä vaikuttamisen kohteina? Miten brändit ja organisaatiot rakentavat tai murtavat nuorten sosiaalista pääomaa? Helsingin yliopisto tutkii nuorten osallisuutta ja identiteettiä mediassa sekä mediakasvatuksen haasteita.

### Hankkeen tavoitteet ja hyödyntäminen

Hankkeen kokonaistavoitteena on rakentaa malleja ja löytää tekijöitä, jotka tukevat tai heikentävät nuorten toimijuutta,

identiteetin rakentamista, hyvinvointia ja turvallisuutta sosiaalisessa mediassa. Mallin avulla voidaan valottaa nuorten sosiaalisen median käytön vaikutuksia heidän toimijuuteensa sekä löytää keinoja vahvistaa nuorten medialukutaitoa ja positiivista toimijuutta sosiaalisessa mediassa. Pitkällä tähtäimellä tutkimushanke pyrkii vahvistamaan paitsi nuorten toimijuutta ja hyvinvointia myös koko yhteiskunnan hyvinvointia ja kokonaisturvallisuutta.

Tutkimustulosten perusteella kehitetään sekä käsitteellisiä että käytännöllisiä työkaluja ja koulutuspaketteja, joiden avulla nuoret pystyvät toimimaan sosiaalisessa mediassa turvallisesti ja positiivisesti. Työkalujen avulla nuoret oppivat mm. tunnistamaan informaatiovaikuttamista ja suojautumaan siltä. Tulosten avulla pyritään ennalta ehkäisemään riskejä ja parantamaan nuorten turvallisuutta sosiaalisessa mediassa ja sitä kautta vaikuttamaan myös kansalliseen turvallisuuteen Suomessa. Tavoitteena on selvittää nuorten valmiuksia tunnistaa ja suojata itseään informaatiovaikuttamiselta. Tutkimuksessa selvitetään, ymmärtävätkö nuoret olevansa informaatiovaikuttamisen kohteina, ja oivaltaessaan sen, osaavatko he toimia tilanteessa ja suojata itseänsä.



(Kuva: Pixabay.com)



## Tutkimuksesta

MPKK:n tutkimusmenetelminä ovat mm. kyselyt, haastattelut, fokusryhmähaastattelut ja turvallisuuskahvila-menetelmä. Syksyllä 2019 osallistuimme koko hankkeen kyselyyn, joka on suunnattu 15–19-vuotiaille nuorille. MPKK:lla oli kyselyssä omia kysymyksiä. Kysely toistetaan vuonna 2022. Syksyllä 2019 on tehty kysely kutsuntaikäisille MPKK:n omasta tutkimusnäkökulmasta. Loppusyksystä 2019 haastateltiin poliiseja, jotka ovat tekemisissä sosiaalisen median pimeän puolen ja nuorten kanssa, tilannekuvan saamiseksi ja tutkimusaihioiden tarkentamiseksi. Nämä haastattelut toistetaan vuonna 2021. Vuonna 2020 on tarkoitus haastatella some-agentteina toimivia varusmiehiä ja tehdä kysely varusmiehille ja MPKK:n opiskelijoille. Mahdollisesti heitä myös haastatellaan jossain vaiheessa. Turvallisuuskahvilat toteutetaan vuonna 2021. Suunnitelmissa on järjestää kuusi turvallisuuskahvilaa varuskuntapaikkakunnilla. Näissä tehdään yhteistyötä muiden hanketoimijoiden kanssa ja osallistujina on 18–19-vuotiaita nuoria. Turvallisuuskahvilan teemat muodostetaan hankkeen aikana.

MPKK tuottaa hankkeessa kansainvälisiä tutkimusjulkaisuja. Ensimmäinen kansainvälinen ja vertaisarvioitu konferenssiartikkeli on valmistunut, ja se esitettiin kesäkuussa 2019 Brightonissa *European Conference on Social Media* -tapahtumassa. Sen lisäksi MPKK:n tutkijat ovat mukana *Swiss Military Academyn* -kirjaprojektissa, jonka teemana on sosiaalinen media ja asevoimat. Osa MPKK:n tutkijoista osallistuu keväällä 2020 Aalto-yliopiston 'Trolli-kurssille', jossa opetellaan, miten sosiaalisessa mediassa käytännössä tehdään pahaa. Suunnitelmissa on järjestää kansainvälinen seminaari nelivuotisen hankkeen loppupuolella. Tiedotamme aktiivisesti MPKK:n hankeosuudesta eri kanavien kautta ja käymme myös aktiivisesti kertomassa aiheesta eri tilaisuuksissa. Lisätietoa hankkeesta on Maanpuolustuskorkeakoulun nettisivuilla #Agents – Nuorten toimijuus sosiaalisessa mediassa.



(Kuva: Mario Malm)

### Kirjoittajat:

Dosentti (FT) Teija Norri-Sederholm toimii tutkijana Maanpuolustuskorkeakoululla Johtamisen ja sotilaspedagogiikan laitoksella.

Filosofian tohtori, everstiluutnantti Aki-Mauri Huhtinen toimii sotilasprofessorina Maanpuolustuskorkeakoululla Johtamisen ja sotilaspedagogiikan laitoksella.





Vuosikirjan jakelun huomautukset: puolustusvoimientutkimuslaitos@mil.fi

**Puolustusvoimien tutkimuslaitos**

Riihimäen toimipiste  
Tykkikentäntie 1  
PL 10, 11311 Riihimäki

Tuusulan toimipiste  
Rantatie 66, Tuusula  
PL 5, 04401 Järvenpää

Ylöjärven toimipiste  
Paroistentie 20  
PL 5, 34111 Lakiala

**Maasotakoulu  
Maavoimien tutkimuskeskus**

Kadettikoulunkatu 7  
PL 54  
49401 Hamina

**Merisotakoulu  
Meritaistelukeskus**

Suomenlinna  
PL 5  
00191 Helsinki

**Ilmavoimien esikunta**

Komentotie 250  
PL 30  
41161 Tikkakoski

**Sotilaslääketieteen keskus**

Tykkikentäntie 1  
PL 5  
11311 Riihimäki

**Maanpuolustuskorkeakoulu**

Santahamina  
PL 7  
00861 Helsinki



# **Puolustusvoimat**

Försvarsmakten • The Finnish Defence Forces  
[puolustusvoimat.fi](http://puolustusvoimat.fi)