



Puolustusvoimat

# Puolustustutkimuksen **VUOSIKIRJA 2019**



*Puolustustutkimus 100 vuotta*



# PUOLUSTUSTUTKIMUS 100 VUOTTA

## PUOLUSTUSTUTKIMUKSEN VUOSIKIRJA 2019

**PÄÄTOIMITTAJA** Jouni Koivisto

**TOIMITTAJA** Merja Nousiainen



PUOLUSTUSVOIMAT

RIIHIMÄKI 2019

**TOIMITUSKUNTA:**

Jouni Koivisto  
Pertti Holma  
Pekka Halonen  
Juhani Hämäläinen  
Eeva-Maija Turpeinen  
Timo Kaurila  
Kirsi Valkeapää  
Merja Nousiainen  
Sirpa Korpela  
Stefan Oino

**TAITTO, KANSI JA KUVANKÄSITTELY:**

Valtteri Vanhatalo

**KANNEN KUVAT:**

Onni Järvi  
Valtteri Vanhatalo  
Merisotakoulun kuva-arkisto  
PVTUTKL:n kuva-arkisto  
SA-kuva-arkisto  
KUMEPÄ

ISBN 978-951-25-3070-0 (painettu)  
ISBN 978-951-25-3071-7 (verkkojulkaisu)  
ISSN 2489-7329 (painettu)  
ISSN 2490-1601 (verkkojulkaisu)

Puolustusvoimat

PunaMusta  
Tampere 2019

# Puolustustutkimus 100 vuotta

Vain muutos on pysyvää. Sen voimme jälleen todeta toimintaympäristöä tarkastellessamme. Turvallisuusympäristössä kuohuu, kansainvälinen järjestelmä natisee ja jännitteet lisääntyvät. Kiihtyvän teknologisen kehityksen vaikutukset yhteiskuntaan ovat moninaiset. Teknologiamurros ja uudet toimintaulottuvuudet, kuten kyber ja avaruus, vaikuttavat puolustuksen kaikille osa-alueille ja asettavat kasvavia vaatimuksia järjestelmille, joukoille ja yksittäisen sotilaan toimintakyvyille.

Tutkimus on keskeinen väline, jonka avulla kyetään pysymään muutosten vauhdissa – ja mieluiten jopa askeleen edellä! Puolustuskyky on kokonaisuus, joka muodostuu puolustusjärjestelmän sotilaallisista suorituskyvyistä sekä kansallisesta viranomaisyhteistyöstä ja kansainvälisestä puolustusyhteistyöstä. Puolustustutkimuksella tarkoitetaan puolustuskykyä tukevaa tutkimusta, jolla luodaan tietopohjaa, osaamista ja ymmärrystä suunnittelun ja päätöksenteon perustaksi ja tueksi. Tutkittavaa riittää, ja tämänkin juhla-julkaisun sisältö osoittaa, kuinka laajan kirjon tieteenaloja ja tutkimusteemoja puolustustutkimus kattaa.

Puolustushallinnossa tehdään itse vain sellaista tutkimusta, jota muualta ei ole saatavissa tai jossa omavarainen asiantuntemus on tärkeää. Puolustuksen laaja-alaista osaamis pohjaa ei kuitenkaan kyetä ylläpitämään yksin puolustushallinnon toimin. Maanpuolustus ja sen edellyttämän osaamis pohjan säilyttäminen ovat kansallisia kysymyksiä. Tästä on osoituksena korvaamattoman arvokas maanpuolustustyö myös tieteen ja tutkimuksen alalla. Puolustushallinnon toimialalla onkin jo kohta 60 vuotta toiminut Maanpuolustuksen tieteellinen neuvottelukunta (MATINE) jaostoineen, jonka tehtävänä on toimia puolustustutkimuksen kansallisena asiantuntijaverkostona. MATINEn verkoston kautta puolustustutkimus saa käyttöönsä merkittävän määrän siviiliasiantuntemusta, joka on tiiviisti kytketty myös Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen toimintaan.

Tutkimuksella on itsellinen ja tärkeä rooli myös kansainvälisessä yhteistyössä. Jotta kansainväliseen yhteistyöhön päästään mukaan, tulee kuitenkin olla omaa osaamista mukana. Tätä osaamista on rakennettu pitkäjänteisellä tutkimustoiminnalla ensimmäiset sata vuotta. Välillä on sinnitelty hyvinkin niukoilla resursseilla, mutta sitä arvokkaampia ovat tulokset olleet puolustuskykymme kehittämisessä. Tästä on hyvä jatkaa. Kun panostamme oman osaamisen lisäksi myös yhteistyömahdollisuuksien kehittämiseen, uskon, että pääsemme vielä entistäkin vaikuttavampiin tuloksiin.

**Toivotan kaikille lukijoille inspiroivia lukuhetkiä!**



**Kirjoittaja:**

Jukka Juusti  
Kansliapäällikkö  
Puolustusministeriö

# Puolustustutkimuksen historia, nykypäivä ja tulevaisuus

Puolustusvoimien tutkimuksen juuret ulottuvat Suomen vapaussotaan. Ensimmäisen maailmansodan aikana vuonna 1917 Suomessa oli yli 100 000 venäläissotilasta, jotka osin poistuivat ja osin ajettiin maasta. Joukoilta jäi huomattava määrä aseita, taisteluvälineitä ja muuta materiaalia eri puolille Suomea. Lisäksi vapaussodan päätyttyä vuonna 1918 valtiolle jäi paljon sotasaalista, joka edellytti lajittelua, luettelointia ja tutkimista. Tätä työtä tekemään Viaporin linnoituksen komendantti kenraalimajuri Carl Gustaf Theslöf määräsi sotamies Bertil Nyberghin, joka palveli tuolloin varusmiehenä Helsingin Jääkäriprikaatissa kielenkääntäjänä ja kirjurina. Nybergh oli siviilikoulutukseltaan kemisti, joten hänen tutkimustyönsä keskittyi ruuteihin, räjähdysaineisiin, ampumatarvikkeisiin, öljyihin, rasvoihin ja suojeluvälineisiin, kuten kaasunaamareihin. Nyberghin varusmiespalveluksen alkaessa lähestyä loppuaan häntä pyydettiin jäämään puolustushallintoon toimenhaltijaksi. Niinpä Bertil Nybergh aloitti 15.4.1919 puolustushallinnon ensimmäisenä palkattuna tutkijana Sotaministeriön taisteluvälineosaston kemiallisessa laboratoriossa. Tästä hetkestä sata vuotta sitten katsotaan Puolustusvoimien tutkimustoiminnan saaneen alkunsa.

Kemian tutkimus muodosti Puolustusvoimien tutkimuksen siemenen, josta vuosien myötä versoi uusia tutkimusaloja ja joka itsekin kasvoi lähtökohtaansa suuremmaksi. Ministeriön taisteluvälineosaston kemiallinen laboratorio kehittyi Kemialliseksi koelaitokseksi vuonna 1925. Samana vuonna perustettiin Puolustusministeriön radiolaboratorio ja Puolustusministeriön taisteluvälineosaston vastaanottoimisto Helsinkiin. Näitä pidetään Puolustusvoimien sähköteknillisen ja fysiikan tutkimustoiminnan alkujuurina.

Taktiikan ja operaatiotaidon tutkimuksen alkuketki on jossain määrin epämääräisempi. Korkeaa upseerikoulutusta ja suomalaisiin olosuhteisiin sopivan taktiikan kehittämistä varten perustettiin Sotakorkeakoulu Helsinkiin 3. marraskuuta 1924, mistä voitaneen laskea sotataidon tutkimuksen ja kehittämisen saaneen alkunsa.

Maanpuolustuksen tarpeisiin on syntynyt myös Puolustusvoimien ulkopuolisia organisaatioita, joilla on tärkeä rooli sotilaallisen maanpuolustuksen tutkimuksessa. Valtion teknillinen tutkimuslaitos VTT perustettiin 16. tammikuuta 1942 luomaan Suomeen tutkaosaamista sekä muutoinkin tukemaan sotaponnisteluja. Työ- ja elinkeinoministeriön ohjauksessa toimiva VTT on yhä Puolustusvoimien keskeisimpiä tutkimuskumppaneita. Vuonna 1961 toimintansa aloitti puolustusministeriön alainen Maanpuolustuksen tieteellinen neuvottelukunta MATINE, joka edistää sotilaallista maanpuolustusta ja turvallisuutta tukevaa tutkimusta. Neuvottelukunnan rahoittamalla

tutkimuksella on myös tärkeä rooli Puolustusvoimien omaa tutkimusta edeltävien tutkimusideoiden kehittämisessä.

Puolustusvoimien tutkimuskenttä on ollut koko ajan muutoksen kourissa niin kuin koko Puolustusvoimatkin. Tutkimusorganisaatioista on eriytetty korjaamoja ja kouluja ja toisaalta tutkimusorganisaatioita on yhdistetty suuremmiksi kokonaisuuksiksi. Jälkimmäisen trendin mukaisesti fysiikan ja kemian tutkimus yhdistettiin Puolustusvoimien tutkimuskeskukseksi 1950-luvun alussa. Sähkötekniikka yhdistettiin osaksi suurempaa kokonaisuutta vuonna 1999, jolloin perustettiin Puolustusvoimien teknillinen tutkimuslaitos. Viisitoista vuotta myöhemmin vuonna 2014, osana puolustusvoimauudistusta, Puolustusvoimien teknillisen tutkimuslaitoksen perustalle muodostettiin Puolustusvoimien tutkimuslaitos yhdistämällä siihen tekniikan, taktiikan ja taistelijoitten sekä sodankäynnin tutkimusta Maanpuolustuskorkeakoulusta ja puolustushaaroista. Samalla keskitettiin yhteen organisaatioon kussakin kolmessa puolustushaarassa siihen asti toimeenpantu enemmän tai vähemmän sirpaleinen tutkimustoiminta.

Puolustusvoimauudistuksessa syntyneitä kokonaisuutta voidaan pitää hyvin onnistuneena. Tieteellisesti vaativan, pitkälle tulevaisuuteen katsovan ja kaikkia Puolustusvoimien toimialoja ja puolustushaaroja palvelevaa tutkimusta tekee Puolustusvoimien tutkimuslaitos, joka kykenee tutkimaan ilmiötä kokonaisuutena huomioiden tekniikan, taktiikan ja ihmiset. Moniin muihin maihin verrattuna tällainen kokonaisvaltaisuus on ennenkuulumatonta ja antaa meille valttikortin kansainvälisessä tutkimusyhteistyössä. Maa-, meri- ja ilmavoimien taistelu- ja tutkimuskeskukset huolehtivat puolustushaaran taistelun välittömään tukemiseen liittyvästä tutkimus-, kehittämis- ja kokeilutoiminnasta, joka usein liittyy kiinteästi harjoitustoimintaan ja toimintatapojen kehittämiseen. Vuonna 1993 perustettu Maanpuolustuskorkeakoulu vastaa akateemisiin opintoihin liittyvästä ja omaa opetustaan palvelevasta tutkimuksesta. Osana vuoden 2014 uudistusta Puolustusvoimien tutkimuksen ohjaus ja suunnittelu keskitettiin Pääesikunnan suunnitteluosastolle Puolustusvoimien tutkimuspäällikön alaisuuteen. Tämä lähensi tutkimuksen suhdetta strategiseen suunnitteluun ja Puolustusvoimien kansainvälisen toiminnan koordinointiin. Se luonnollisesti lujitti tutkimuksen sidosta tärkeimpään asiakkaaseensa, strategiseen suunnitteluun ja päätöksentekoon, sekä paransi kansainvälisten verkostojen hyödyntämismahdollisuuksia.

Puolustusvoimien tutkimustoiminnan organisoimien tilanne on varsin hyvä: johto- ja ohjauksuhteet ovat selkeät, samoin toteutusvastuut, eikä päällekkäisyyksiä ole. Resurssien suhteen tilanne on hieman toinen. Jo viime vuosituhaten vaihteessa,



kun Puolustusvoimien teknillinen tutkimuslaitos perustettiin, linjattiin, että Puolustusvoimat tutkii itse vain sellaista, mitä ei voi ostaa ulkopuolelta. Ulkopuolinen tutkimus voi olla poissuljettu esimerkiksi salattavuus- ja riippumattomuussyistä tai yksinkertaisesti siksi, ettei muualla ole alan osaamista. Tämän strategisen valinnan mukaisesti Puolustusvoimien oman henkilöstön tutkimus on pitkälti keskittynyt muun muassa operaatiotaitoon ja taktiikkaan, elektroniseen sodankäyntiin, herätteiden hallintaan, kriittisen sotavarustuksen vaatimaan evaluointiin sekä sodan kuvan ja toimintaympäristön muutokseen. Tämä on mahdollistanut ydintehtävistä suoriutumisen henkilömäärällä, joka on vain noin viidesosa pohjoismaisista verrokkiorganisaatioista. Toisaalta se on tehnyt Puolustusvoimista riippuvaisen ulkoa ostettavista tutkimuspalveluista. Ilman kumppaneiden tekemää työtä Puolustusvoimien oma tutkimus ja ennen kaikkea kehittämistoiminta on hyvin rajoittunutta. Ilman kansallisia ja kansainvälisiä verkostoja Puolustusvoimat joutuisi tutkimaan ja kehittämään asioita yksin ilman mahdollisuutta parantaa kustannustehokkuutta yhdistämällä resursseja ja jakamalla tuloksia muiden kanssa. Monessa tapauksessa jonkin ilmiön tutkimuksen tai uuden ratkaisun kehittämisen vaatimat resurssit ovat niin suuria, että yksin kehittäminen ei yksinkertaisesti ole mahdollista. Tämä korostaa kansallisen ja kansainvälisen verkottumisen ja kumppanuuksien rakentamisen välttämättömyyttä.

On huomattava, että varsinkaan kansainvälisessä yhteistyössä vapaamatkustajia ei sallita. Sen vuoksi Puolustusvoimien tutkimuksella on oltava jotain erityistä annettavaa myös niillä alueilla, joilla ratkaisuja pyritään hakemaan yhteistyöllä muiden kanssa. Ainakin tähän asti tällaista annettavaa on ollut, ja Suomea pidetään haluttuna kumppanina myös puolustustutkimuksen saralla. Olemme vahvasti mukana Euroopan puolustusviraston tutkimustoiminnassa ja osallistumme kaikkien sen 12 suorituskyky- ja teknologiaryhmän toimintaan. Pohjois-Atlantin puolustusliitossa Suomi on yhdessä Ruotsin kanssa kutsuttu laajennetun kumppanuuden piiriin, mikä tarkoittaa osallistumismahdollisuutta kaikkiin tiede- ja teknologiaryhmiin sekä mukanaoloa Naton tutkimustoiminnan suunnittelussa.

Tutkimuspalveluiden ostoon käytettävissä olevat varat ovat supistuneet viimeisen kymmenen vuoden aikana merkittävästi. Tällä on monenlaisia vaikutuksia, jotka edellyttävät lyhyellä aikajänteellä toiminnan voimakasta priorisointia ja vaativat pitkällä aikajänteellä tutkimustoiminnan peruslinjausten kriittistä tarkastelua. Välittöminä toimenpiteinä Puolustusvoimat tulee fokusoimaan entistäkin tarkemmin, mihin käytettävissä olevat varat suunnataan ja minkä verkostojen tuottama lisäarvo antaa perusteen verkostossa mukana olemiselle. Tämä sekä terävöittää että kaventaa tutkimuksen kärkeä ja kaventaa mutta syventää yhteistoimintaa. Tarvittavan strategisen ohjauksen antamiseksi Pääesikunta päivittää Puolustusvoimien tutkimus- ja kehittämistoiminnan strategian.

Puolustusvoimien tutkimus on strategiapäivityksen jälkeenkin haasteellisessa tilanteessa, jossa sodan kuva on muuttumassa, teknologinen kehitys kiihtyy koko ajan nopeammaksi ja ke-

hityksen ennustaminen, saati ennakoiti, tulee koko ajan vaikeammaksi. Ilmiö on yleismaailmallinen, joten Suomi ei kamppaile näiden haasteiden kanssa yksin. Tutkimusresurssien lisääminen toki auttaa vaikeasti ennakoitavan tulevaisuuden hahmottamisessa, mutta tarvitaan muutakin: tarvitaan ilmiöiden kattavaa seuraamista, uusien teknologioiden nopeaa soveltamista, innovatiivisten ratkaisujen keksimistä sekä strategista ketteryyttä. Strateginen ketteryys syntyy vastuiden ja valtuuksien hajauttamisella, verkostomaisella toiminnalla, liiallisen suunnittelun ja turhan raportoinnin karsimisella sekä selkeällä ja johdonmukaisella viestinnällä päämääristä ja tavoitteista sisäisesti, kansallisesti ja kansainvälisesti. Tämä periaate tunnetaan sotataidossa tehtävätaktiikkana. Johdon viestintä päämääristä ja tavoitteista asettaa kaikkien sukset samaan suuntaan. Vastuiden ja valtuuksien hajauttaminen sinne, missä toiminta tehdään, mahdollistaa paikallistuntemuksen hyödyntämisen, olosuhteiden huomioimisen ja tilanteenmukaisen johtamisen sekä nopean päätöksenteon. Liiallisen suunnittelun välttäminen luo edellytykset yllättävien mahdollisuuksien nopeaan hyödyntämiseen, ja turhan raportoinnin karsimisen ansiosta varsinainen toiminta ei keskeydy eikä huomio kiinnity muualle. Tällaisilla eväillä Puolustusvoimien tutkimustoimintaa tullaan kehittämään nykyistäkin innovoivampaan ja ketterämpään suuntaan ja siten vastaamaan tulevaisuuden haasteisiin.



#### **Kirjoittaja:**

Insinöörieversti Jyri Kosola toimii Puolustusvoimien tutkimuspäällikkönä.

# Päätoimittajalta

Vuoden 2019 Puolustustutkimuksen vuosikirja juhlistaa tänä vuonna 100 vuotta jatkunutta puolustustutkimuksen historiaa. Vuosikirjan julkaisu aloitettiin puolustusvoimauudistuksen osana toteutetun Puolustusvoimien tutkimustoiminnan uudelleen organisoinnin yhteydessä. Nyt käsillä on jo viides vuosikirja, joka vakiintuneeseen tapaansa pyrkii esittelemään tutkimustoimintaa tiiviisti ja helposti omaksuttavassa muodossa.

Perinteisesti kirjan sisällön ovat tuottaneet Puolustusvoimien tutkimus- ja kehittämistoimintaa toteuttavat organisaatiot. Tähän juhluvuoden kirjaan on sisällytetty itseoikeutetusti esimerkki Maanpuolustuksen tieteellisen neuvottelukunnan (MATINE) koko puolustushallinnon ja sen ympärille rakentuvassa korvaamattomassa kansallisessa verkostossa toteutetusta tutkimuksesta. Ovathan myös koko puolustustutkimuksen alkujuuret vuodelta 1919 Puolustusministeriön edeltäjäorganisaatioissa Sotaministeriössä ja sen taisteluvälineosaston kemiallisessa laboratoriossa Harakan saarella Helsingin edustalla. Tämäkin perintö elää ja voi hyvin osana Puolustusvoimien tutkimuslaitosta.

Näen puolustustutkimuksen ja siihen liittyvän kehittämistoiminnan tehtäväksi tuottaa tietoa päätöksenteon tueksi sekä myös esittää omaan asiantuntemukseensa perustuvia mahdollisia ratkaisuja erilaisiin suorituskyvyn suunnittelun, rakentamisen, käytön tai sitä tukevan palvelutoiminnan tarpeisiin. Vuosikirjan artikkelienkin perusteella on nähtävissä tutkimus- ja kehittämistoiminnan laaja kaikki suorituskyvyn osatekijät kattava spektri teknologioista ja teknisistä järjestelmistä toimintatapoihin ja edelleen kaikessa toiminnassa keskeiseen ihmiseen. Toisaalta voidaan nähdä tutkimustoiminnan levittäytyminen kaikille toiminnan tasolle globaalien trendien tutkimuksesta kansainvälisessä yh-

teistyössä omien kriittisten järjestelmien yksityiskohtaiseen optimointiin. Vaikka puolustushallinnon oma tutkimustoiminta onkin kattavaa, on verkostoituminen kansallisiin ja kansainvälisiin kumppaneihin välttämätöntä tietotarpeisiin vastaamiseksi ja tähän valmiuksien luomiseksi. Tästäkin vuosikirjassa on useita esimerkkejä.

Tämä vuosikirja ei pyri olemaan kattava historiankirjoitus puolustustutkimuksesta – toivottavasti tämäkin aikanaan löytää tekijänsä. Sen sijaan kirjassa tarkastellaan puolustushallinnon eri organisaatioiden tutkimus- ja kehittämistoimintaa tiiviiden historiakatsausten ja historian eri vaiheissa syntyneiden menestystarinoiden kautta sekä vuosikirjalle perinteiseen tapaan katsoen nykyisten tutkimustehtävien kautta tulevaisuuteen.

**Kiitän lämpimästi kaikkia kirjan tuottamiseen osallistuneita, toivotan omasta puolestani kaikille puolustustutkimuksen tekijöille ja sen mahdollistajille loistavaa juhluvuotta sekä Sinulle kirjan lukijana antoisia lukuhetkiä!**



**Kirjoittaja:**

Päätoimittaja  
Insinöörieverstiluutnantti Jouni Koivisto

# Sisällys

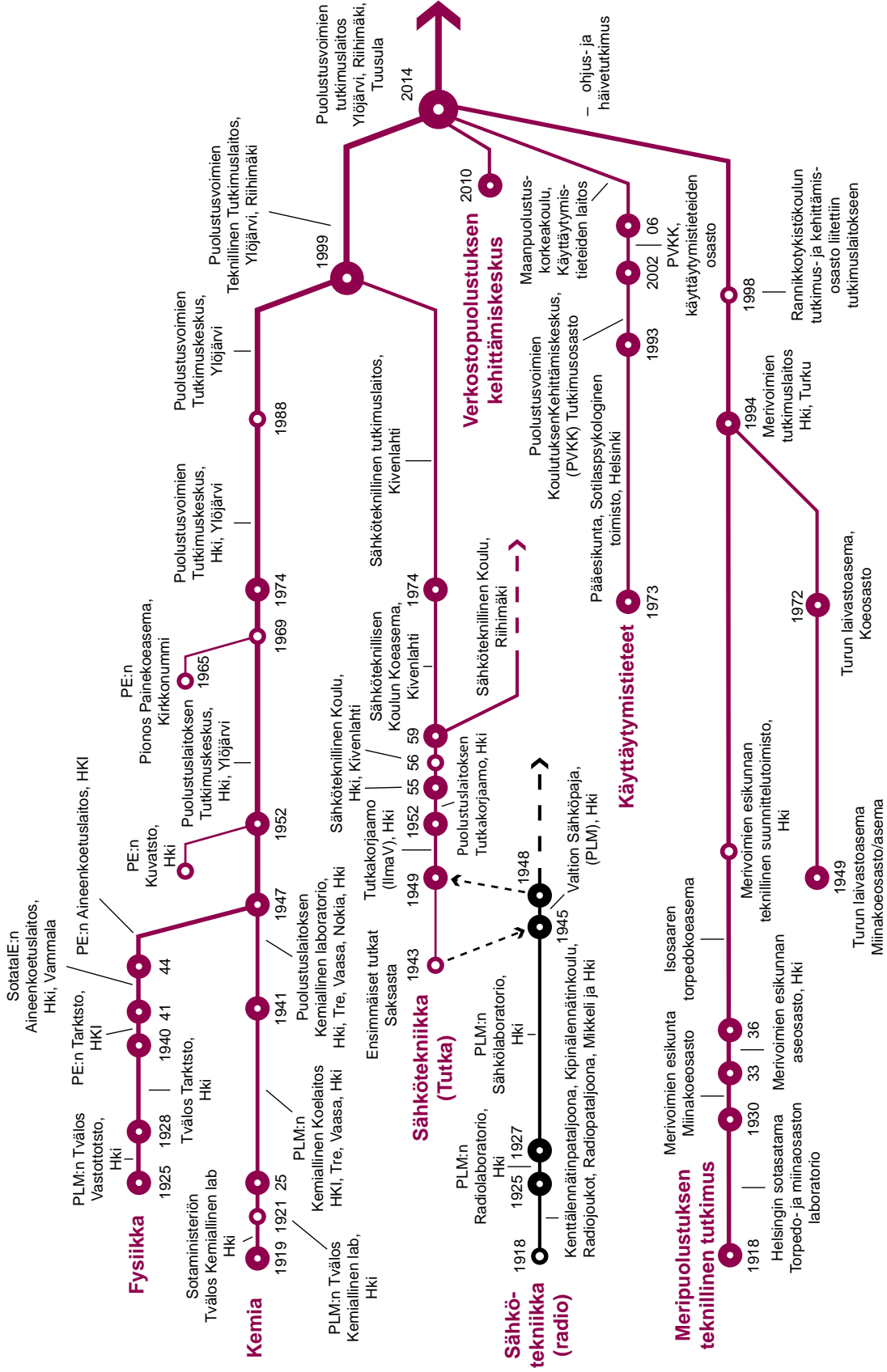
Puolustustutkimus 100 vuotta	3
Puolustustutkimuksen historia, nykypäivä ja tulevaisuus	4
Päätoimittajalta	6
<b>Puolustusvoimien tutkimuslaitos</b>	
Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen historia	11
Menestystarina elektro-optiikan tutkimuksesta	15
Autonomiaa omaavat miehittämättömät järjestelmät tulevat	18
Innovaatio ja adaptaatio puolustusjärjestelmän kehittämisen ajureina	22
Strategisen taustakuvan muodostaminen – GST6	25
Monikansallinen suorituskykyjen kehittämisohjelma kyberpuolustuksen tukena	29
Sotavarusteiden tutkimisesta tiedon hyödyntämiseen	32
CBRN-kenttälaboratorio – prototyypistä menestystarinaksi	34
3D-tulostus osaksi huoltovarmuutta	37
Psykologisen soveltuvuuden arvioinnin historiaa Puolustusvoimissa	40
Psyykkisen toimintakyvyn ylläpito ja palauttaminen taistelukentällä	43
<b>MATINE – Maanpuolustuksen tieteellinen neuvottelukunta</b>	
Infrastruktuurista riippumaton sisätalapaikannus taistelijan tilannetietoisuuden muodostamiseksi	48
<b>Maasotakoulu</b>	
Suomalaisen sotilaan aseistuksen kehitys	54
Simulaattoriavusteisen taistelukoulutuksen tutkimus Maasotakoulussa	57
<b>Merisotakoulu, Meritaistelukeskus</b>	
Meripuolustuksen tutkimustoiminnan 100-vuotinen historia	64
Herätemiinojen kehitystyö Merivoimissa	70
Sotalaivatekniikan tutkimus	74
<b>Ilmavoimat</b>	
Matalalavontatutkan kehitysprojekti 1966-1985 – kansallinen menestystarina	80
Tutkapoikkipinta-alojen käsittely ja visualisointi	85
Spatiaalinen päätösanalyysi suorituskykyjen alueellisten tarkasteluiden ja optimoinnin tukena	89
<b>Puolustusvoimien logistiikkalaitos</b>	
Sotilaslentäjän toimintakyky	92
Puolustusvoimien logistiikkalaitoksen historia	95
<b>Maanpuolustuskorkeakoulu</b>	
Sotatieteellistä tutkimusta Maanpuolustuskorkeakoulussa – Puolustusvoimat 100 vuotta -juhlateos	94
Puheen ja vuorovaikutuksen tutkimuksen merkitys kriisinhallintakoulutuksessa ja kriisinhallinnassa	96
Winland: kokonaisturvallisuuden ennakointia ja yhteiskehittelyä	99
Alueellisten joukkojen taistelusta nopeaan tilannekehitykseen – Taktiikan opinnäytetöiden anti vuonna 2018	102







**Puolustusvoimien tutkimuslaitos**



# Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen sukupuu

Tutkimuslaitoksen historiapolku kertoo määrätietoisesta luonnontieteistä ja sotatieteistä soveltavien alojen yhdistämisestä samassa tahdissa modernin asejärjestelmän kehittämisen kanssa. (Grafiikka: Onni Pernu)

# Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen historia

Puolustusvoimien tutkimuslaitos muodostettiin 1.1.2014. Puolustusvoimien tutkimuslaitokseen siirrettiin tutkimustehtäviä ja -vastuita Puolustusvoimien teknillisestä tutkimuslaitoksesta, Maanpuolustuskorkeakoulun käyttäytymistieteen laitoksesta, Puolustusvoimien Johtamisjärjestelmäkeskuksen verkostopuolustuksen kehittämiskeskuksesta, Merivoimien tutkimuslaitoksesta sekä Puolustusvoimien kansainvälisestä keskuksista. Saman katon alle tulivat doktriinien kehittämiseen ja ihmisen toimintakyvyn tutkimiseen ja kehittämiseen keskittyvät osastot. Näin asiakas saa entistä kokonaisvaltaisempia palveluja.

Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen historia on kuin sukupuu, jossa eri alojen tutkimustoiminta kulkee kohti yhdistymistä saman katon alle.

## Puolustusvoimien teknillinen tutkimuslaitos

Kemian, fysiikan ja sähkötekniikan tutkimustoiminnat alkoivat toisistaan erillisinä. Puolustusvoimien teknillinen tutkimuslaitos tarjosi näiden kolmen alueen kokonaisratkaisuja. Puolustusvoimien teknillinen tutkimuslaitos muodostettiin 1.1.1999 yhdistämällä Puolustusvoimien tutkimuskeskus ja Sähkötekniillinen tutkimuslaitos. Uudessa laitoksessa pystyttiin ensimmäistä kertaa hallitsemaan ase-

järjestelmiä kokonaisuutena; oli luotu kyky arvioida, testata ja kehittää aseet, sensorit ja johtamisjärjestelmä -kokonaisuuden suorituskykyä.

## Kemiallinen tutkimustoiminta

Kemiallisen tutkimustoiminnan voidaan katsoa alkaneen 15.4.1919, jolloin perustettiin Sotaministeriön taisteluvälineosaston Kemiallinen laboratorio. Laboratorion ensimmäisenä työntekijänä ja sittemmin johtajana toimi kemisti Bertil Nybergh vuosina 1919–1923 ja 1925–1936. Laboratoriossa alettiin tutkia ruuteja ja kemiallisia taisteluaineita.

Vuonna 1925 laboratorion nimeksi muutettiin Puolustusministeriön Kemiallinen koelaitos tehtävänänsä tutkia kemiallista sodankäyntiä ja välineitä sekä muita kemian alaan kuuluvia sotatarvikkeita. Vuonna 1941 sen nimeksi muutettiin Puolustuslaitoksen Kemiallinen laboratorio.

## Fysiikan alan tutkimustoiminta

Fysiikan tutkimus käynnistyi 1920-luvulla Puolustusvoimien materiaalihankintoihin liittyvillä vastaanotto- ja tarkastustehtävillä.

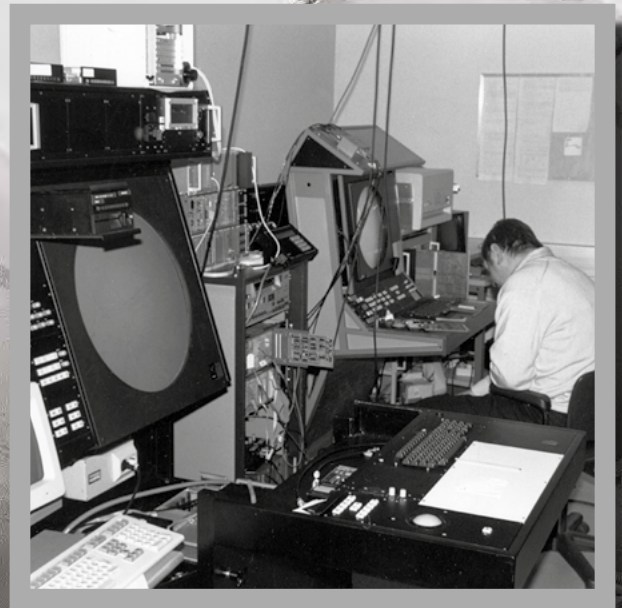


Kuva 1. Näkymä suojelulaboratoriosta Harakassa 1930-luvun alussa. Kuvassa vasemmalla Bertil Nybergh ja Tor Smedslund. (Kuva: PVTUTKL:n kuva-arkisto)

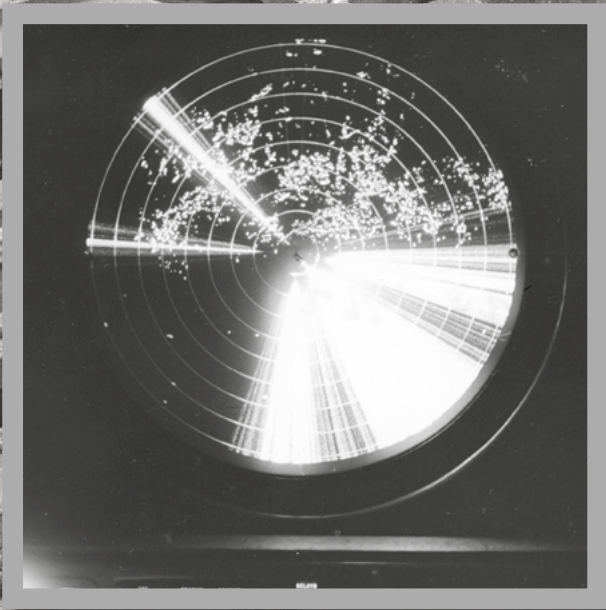




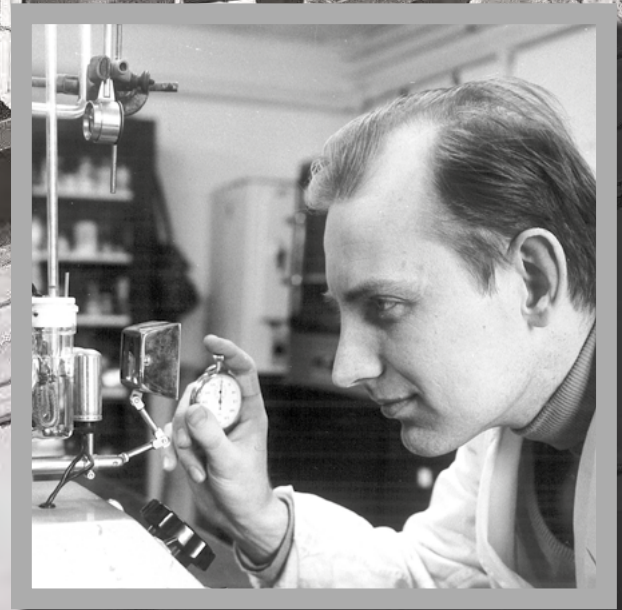
Maisteri Aulanko esikäsittelee näytteitä Harakassa 1972. (Kuva: SA-kuva)



M85 Laboratorio, 1980-luvun lopulla. Arvi Serkola (Kuva: PVTUTKL:n kuva-arkisto)



Tutkahäirintäkokeiluja, 1960-luvun alussa. (Kuva: PVTUTKL:n kuva-arkisto)



Laborantti Raimo Blomqvist mittaa ruudin sulamispistettä Harakassa 1972. (Kuva: SA-kuva)





Kari Kortesoja ja Raimo Gavrilov tekevät valmisteluja Pokan massahävitysleirin mittauksiin 1990. (Kuva: Ilkka Laine / PVTUTKL).



Bertil Nybergh aloitti 15.4.1919 puolustushallinnon ensimmäisenä palkattuna tutkijana Sotaministeriön taisteluvälineosaston kemiallisessa laboratoriossa. (Kuva: PVTUTKL:n kuva-arkisto)



Laborantti Airaksinen ja raudin stabiilitteettihauteet Harakassa 1972. (Kuva: SA-kuva)



Sittemmin fysiikka ja kemia yhdistyivät samaan organisaatioon, kun fysiikan alan tutkimustoiminta yhdistettiin Puolustusvoimien Kemian Laboratorioon vuonna 1947 Aineenkoetuslaitoksen ja vuonna 1969 Painekeoaseman liittäminen myötä. Laboratorioin nimeksi muutettiin vuonna 1952 Puolustuslaitoksen tutkimuskeskus ja vuonna 1974 Puolustusvoimien tutkimuskeskus.

### Sähköteknillinen tutkimustoiminta

Sähköteknillistä tutkimustoimintaa on ollut useissa Puolustusvoimien eri yksiköissä aina itsenäisyyden alkua ajoista asti. Puolustusvoimien teknilliseen tutkimuslaitokseen liitetty haara alkaa ilmavoimien vuonna 1949 perustamasta Tutkatorjaamosta. Siitä muodostettiin 1.3.1955 Sähköteknillinen koulu. Sen koemasesta muodostettiin vuonna 1974 Sähköteknillinen tutkimuslaitos.

Sähkötekniikka kytkeytyi aluksi viestintään ja valvontaan, kuten puhelimiin, radioihin ja tutkiin. Vasta myöhemmin elektroniikan ”syntyessä” sitä sovellettiin muihin puolustusjärjestelmiin, esimerkiksi eri taajuusalueiden sensoreihin, aseisiin ja johtamiseen. Puolustusvoimien sähkötekniikan tutkimustoiminta alkoi Puolustusministeriön sähkölaboratorion ja -pajan perustamisesta 1.5.1927. Elektroniikka-alan tutkimustoiminnan voidaan ajatella alkaneen vuonna 1943 Saksasta hankittujen ensimmäisten tutkien myötä.

### Käyttäytymistieteellinen tutkimus

Vuonna 1947 Pääesikunnan koulutusosaston valistustoimistoon kiinnitettiin sotilaspsykologiseen työhön filosofian maisteri Yrjö A. Lehti. Hänestä tuli Suomen ensimmäinen sotilaspsykologi. Hän osallistui mm. varusmiesten valintoihin ja valintatestien kehittämiseen.

Puolustusministeriön päätöksellä 1.3.1973 Pääesikunnan koulutusosastoon perustettiin Sotilaspsykologian toimisto, jonka päälliköksi nimettiin filosofian maisteri Aimo Huhtala. Toimisto vastasi Puolustusvoimien sotilaspsykologisesta tutkimuksesta sekä soveltuvuusarviointien toteuttamisesta ja kehittamisestä. Vuonna 1981 Sotakorkeakoulun Sotatieteen laitoksella aloitti toimintansa sotilassosiologinen työryhmä. Työryhmässä kehitettiin mm. palkatun henkilöstön, varusmiesten ja reserviläisten henkilöstötutkimuksia.

Käyttäytymistieteellinen tutkimus keskitettiin 1990-luvulla Puolustusvoimien Koulutuksen Kehittämiskeskuksen Tutkimusosastoon (myöhemmin Käyttäytymistieteiden osasto). Psykologian tohtori Juhani Sinivuon johtama osasto keskittyi sotilaspsykologiaan ja -sosiologiaan sekä kasvatustieteisiin ja psykologisiin soveltuvuusarviointeihin. Osasto toteutti Puolustusvoimien tarvitsemat työyhteisö- ja varusmieskyselyt. Vuonna 2006 Käyttäytymistieteiden osasto siirrettiin Maanpuolustuskorkeakoulun ainelaitokseksi.

### Meripuolustuksen teknillinen tutkimus

Helsingin Sotasataman Torpedo- ja miinaosaston alaisuuteen kuuluneen laboratorion toiminta käynnistettiin 11.9.1918. Tästä alkoi Merivoimien ja rannikkotyökistön tutkimus- ja kehittämistoiminta.

Isosaareen valmistui koemasema vuonna 1936. Ammuntoja tehtiin horisontaalisesti liikkuvista torpedoputkista veden päänalla tai veden alla. Aseman ensimmäinen päällikkö oli merijalkaväenluutnantti A. Karsten. Miinanraivaus sotien jälkeen loi pohjan miina-alan tutkimus- ja kehittämistyölle. Miinatoiminta on merivoimissa edelleen aktiivista ja rai-vauskykyäkin ylläpidetään.

Vuonna 1994 perustettiin Merivoimien tutkimuslaitos, joka vastasi teknisestä ja luonnontieteellisestä tutkimus- ja kehittämistoiminnasta. Laitoksen rungon muodostivat Merivoimien esikunnan teknillinen suunnittelutoimisto ja Turun laivastoaseman Koeosasto. Laitoksen ensimmäinen johtaja oli insinöörikommodori Alpo Tuurnala. Laitoksen asiantuntemus kohdistui erityisesti merellisiin ase- ja sensorijärjestelmiin. Merivoimien ja rannikkotyökistön yhdistyessä vuonna 1998 Rannikkotyökistökoulun tutkimus- ja kehittämisosasto liitettiin Merivoimien tutkimuslaitokseen.

#### Kirjoittaja:

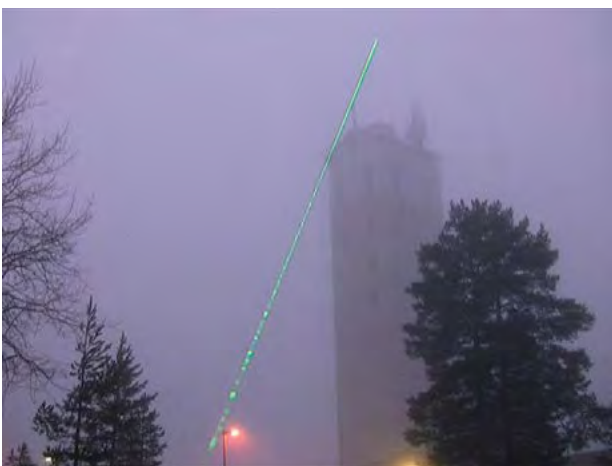
Tutkimuslaitoksen historian eri lähteistä on koonnut yhteiskuntatieteiden maisteri Sirpa Korpela. Sirpa Korpela toimii informaattikkona Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen esikunnan tieto- ja viestintäsektorissa.

# Menestystarina elektro-optiikan tutkimuksesta

Älykkäät ampumarivikkeet nousivat otsikoihin Persianlahden sodan aikana vuonna 1991. Television uutislähetyksissä nähtiin hämärä tähtiinukuva, jossa ohjus lensi täsmälleen rakennuksen kattoikkunasta sisään ja romahdutti räjähdyksellään koko rakennuksen. Eräässä pakinnassa väitettiin älykkään ammuksen jopa etsivän oikean oven, koputtavan ja sitten hakeutuvan juuri siihen pöytälaatikkoon, jossa hyökkäyssuunnitelmat ovat.

Älykkäiden asejärjestelmien esiinmarssi tunnistettiin myös Puolustusvoimissa. Sain kunnian olla silloisen Puolustusvoimien tutkimuskeskuksen (PvTK) ensimmäinen elektro-optiikan eli optroniikan tutkija, kun työsuhde alkoi 1.8.1996. Ensimmäiset työtehtävät olivat maaliin hakeutuvien raskaan kranaatinheittimen ammusten ja panssarintorjuntaohjusten arviointi ja testaus.

Optroniikan tutkimusta aloitettaessa oli usein sellainen tunne, että oli tultu asemalle hieman myöhässä ja yritettiin juosta kiinni vauhtiaan kiihdyttävää teknologiajunaa. Neuvottomat eli Puolustusvoimien tekniset asiantuntijat kysyivät neuvoa toisilta neuvottomilta eli PvTK:n tutkijoilta. Asevalmistajien esitteissä vilisi outoja termejä ja lyhenteitä, joille etsittiin kirjoista selityksiä. Opittiin tuntemaan muun muassa taikasana ”hakupää”, jonka avulla ammus tai ohjus hakeutuu älykkäästi juuri oikeanlaiseen kohteeseen ja hylkää muut.



Kuva 1. Tähtien sodan Darth Vaderillakaan ei ollut näin pitkää lasermiekkää! Tehokkaan laserosoitimen säde siroaa sumusta. (Kuva: Tomi Parviainen)

Optroniikan tutkimukseen koottiin nopeasti muutaman tutkijan ryhmä. Tutkimusalueetta laajennettiin hakupäistä lasereihin ja lasersäteeltä suojautumiseen. Tuohon aikaan Puolustusvoimat oli kiinnostunut silmien ja ilmaisimien lasersuojauksesta, ja kehiteltiin jopa omaa laservaroitinta ja lasersuojalaseja VTT:n kanssa.

Suomessa ei ollut silloinkaan elektro-optisten ilmaisimien valmistusta, joten tutkimuksessa keskityttiin EO-laitteiden ja -järjestelmien suorituskyvyn tutkimiseen ja testaamiseen. Laitevalmistajien puhuessa vastuu siirtyi jo silloin kokonaan kuulijalle! Uusilla tutkijoilla oli paljon opiskeltavaa, koska minkään korkeakoulun koulutusohjelmat eivät opeta sodankäynnissä tarvittavaa teknologiaa. Oppia haettiin ulkomailta seminaareista ja RCMS:n kursseilta Englannista.

Ruotsin puolustusvoimien tutkimuslaitos FOI oli tutkinut optroniikkaa jo kauan, ja sinne saatiin kaksi PvTK:n tutkijaa vuoden ajaksi, toinen perehtymään laser-tutkimukseen ja toinen sähkömagneettisen säteilyn etenemiseen ilmakehässä. Jälkimmäisen tutkijavierailun tuloksena käynnistettiin kaksi vuotta kestänyt oma mittauskampanja Lakialan koekentällä. Tällä ATRAIN-tutkimuksella parannettiin ilmakehän aiheuttaman vaimennuksen laskentamalleja, jotta ne paremmin vastaisivat Suomen sääolosuhteita. VTT rakensi samaan aikaan kenttämittauksiin sopivan IRSI-laitteiston, jolla mitattiin infrapuna-alueen näkyvyys kenttäkokeissa. Niin saatiin vertailupohja eri aikaan tehdyille lämpö tähtäimien ja -tähtäimien testeille. Lasertutkimuskin siirtyi laboratorion kantaan, kun käyttöön hankittiin useita pienikokoisia laserlaitteita. Lasertutkija on asiantuntijana myös laserien käyttöturvallisuusasioissa.

Ilma-alusten omasuojatutkimus tuli luonnollisena jatkeena hakupäätutkimukselle. Puolustusvoimien kuljetushelikoptereille ja -koneille tarvittiin hyväksyntä kansainvälisten yhteisoperaatioiden lentotoimintaan, jossa operatiivisesta käytöstä jo poistuneet vanhat ”olkapääohjukset” ja niiden kopiot ovat edelleen merkittävä uhka. Näihin hyväksymisiin tarvittavat testit vauhdittivat omasuojajärjestelmien tutkimusta.

Omaa tutkimustyötä täydennettiin TTY:lla teetetyllä työllä. Lasertutkimus-projektissa teetettiin v. 2004–06 yhteensä kuusi diplomityötä, joiden tekijöistä kaksi on nyt tutkijoina tutkimuslaitoksen asetekniikkaosastossa.



Kuva 2. ATRAIN-tutkimuksen aikana Lakialan koekentän mittaradalta otettiin ajatetulla kameralla yli 75 000 valokuvaa, kaikkina vuorokauden ja vuodenaikoina. Välillä kuvissa oli epätoivon usvaa, mutta tässä kuvassa siintää vihdoinkin palkinto: sateenkaaren toisessa päässä on ruukullinen kultaa ja toisessa päässä Suomen sääoloissa toimivat vaimennuksen laskentamallit. (Kuva: Timo Kaurila)

Optroniikan tutkimus sisältää myös pimeänäkölaitteet eli perinteiset valonvahvistimet ja uudet lämpötähystimet. Jos valonvahvistimella voitiinkin havaita valmistajan mukaan ”kuusijalkainen mies neljänneskuun valaistuksessa” (6-feet man in  $\frac{1}{4}$  moon illumination), todellisesta suorituskyvystä jäi liian paljon arvattavaa. Niinpä laitteita vertailtiin kenttäkokeissa ja mallinnettiin tietokoneohjelmilla. Optroniikan tietoutta levitettiin Puolustusvoimiin ja puolustusteollisuuteen paitsi opetustilaisuuksilla, myös suosituilla Optroniikkakursseilla ja Optroniikan Uutiset-tiedotuslehdellä.

Vuosien ponnistuksilla luotu optroniikan tutkimusryhmä pääsi lopulta jo vinosti kiitävän teknologiajunan kyytiin, mutta vasta kansainvälisen tutkimusyhteistyön kautta päästiin seuraavalle asemalle odottamaan tulevaa junaa.

Naton NAFAG-organisaatio järjestää suuria testiharjoituksia, joissa osallistujamaiden lentokoneet lentävät testialueen yli ja käyttävät häirintäsoihdunja. Osallistujamaiden mittausryhmät kuvaavat soihdunja lämpökameroilla ja radiometreillä. Käytössä on myös oikeiden ohjusten hakupäitä, joista saadaan ulos tieto, lukittuiko hakupää häirintään vai onnistuiko väistämään sen. Saksassa järjestettyihin harjoituksiin osallistuttiin v. 2015 ja 2017. Harjoitukset kestivät kolme viikkoa, ja niissä mitattiin yli tuhat testilentoa.

Ilma-alusten omasuojajärjestelmissä on tutka-, laser- ja ohjusvaroittimia. Ohjusvaroittimien suorituskyvyn tutkimiseksi mitataan oikeiden ohjusten rakettimoottoreiden herätteitä testiharjoituksissa Ruotsissa, jossa PVTUTKL:n optroniikan tutkimusryhmä oli mukana v. 2014 ja 2018. Suomessa, Niinisalon koalueella järjestettiin kesällä 2016 Trial Kanerva -testi, jossa koepenissä poltettiin ilmatorjuntaohjusten rakettimoottoreita ja mitattiin niiden herätteet. Harjoitukseen osallistui mittausryhmiä yli kymmenestä yhteistyömaasta.

Vastatoimien kehittyessä myös ohjukset kehittyvät, eikä uusia kuvanmuodostavia hakupäitä enää pysty harhauttamaan häirintäsoihduilla, vaan tarvitaan hakupään sokaisemista tai tuhoamista DIRCM-menetelmillä (directed infrared counter measure), kuten tehokkaalla IR-laserilla. Laserhäirinnän tutkimus onkin tärkeä osa optroniikan tutkimusta.

Uuden, kansainvälisesti tunnustetun tutkimuskyvyn luominen vei lähes 20 vuotta. Kansallisilla tutkimuksilla ja testeillä päästiin tietylle, varsin hyvälle tasolle, mutta vasta Nato-yhteistyö testauksessa ja tutkimuksessa nosti PVTUTKL:n asetekniikkaosaston optroniikkatutkimuksen nykyiselle, kansainvälisesti vertailukelpoiselle tasolle. Optroniikan tutkimusryhmää täydennetään varusmies-tutkijoilla ja diplomityöntekijöillä. Mittavassa testautoi-

minnassa saadaan apua myös monilta teknisiltä henkilöiltä, jotka työskentelevät asetekniikkaosaston mittauspalvelussa. Ilman heidän työpanostaan optroniikan laaja testaustoiminta ei olisi mahdollista.

Entä ammusten paljon kehuttu älykkyys? Melko pian selvisi, että älykkyyttä oli suuresti liioiteltu. Lämpöhakuiselle ohjukselle panssarivaunut ja lehmät ovat täsmälleen yhtä hyviä maaleja: molemmat ovat isoja, lämpimiä ja liikkuvat hitaasti.



Kuva 3. Trial Kanervan tutkimusryhmä Niinisolossa vuonna 2016. (Kuva: Henrik Aikio)

- **Hakupää** (engl. seeker) on kohteeseen hakeutuvan ohjuksen ”silmät” eli elektro-optisten ilmaisimien ja maalinseuranta-algoritmien muodostama osa ohjuksen kärjessä.
- **DIRCM: Directed Infra Red Counter Measures**, infrapuna-alueen suunnatut vastatoimet, joilla ohjuksen hakupää sokaistaan tai tuhoetaan.
- **EO: Elektro-optiikka (Electro Optics)**, teknologia joka yhdistää elektroniikan ja optiikan. Käytetään myös nimeä **optroniikka (Optronics)**.
- **FOI: Totalförsvarets Forskningsinstitut** (aik. FOA, Forskningsanstalten), Ruotsin puolustusvoimien tutkimuslaitos. Toimii neljällä paikkakunnalla ja työllistää yli 900 henkilöä.
- **IRSI: Lähi-infrapuna- (NIR, Near Infra Red) ja termisellä infrapuna-alueella (TIR, Thermal Infra Red) toimiva ”näkyvyysmittari”**, jolla mitataan lämpösäteilyn vaimenemista ilmakehässä.
- **Nato: North Atlantic Treaty Organisation**, Pohjois-Atlantin puolustusliitto.
- **NAFAG: Nato Air Force Armaments Group**, vastaa Naton ilma-aseen yhteistoiminnan ja standardoinnin kehittamisestä.
- **PvTK: Puolustusvoimien tutkimuskeskus**, nykyisen Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen (PVTUTKL) edeltäjä.
- **Radiometri: mittalaite**, jolla mitataan valo- tai säteilylähteen spektri eli aallonpituusjakauma.
- **RMCS: Royal Military College of Science**, toimii Cranfield Universityn yhteydessä Shrivenhamissa, Englannissa.
- **SALT-harjoituksissa (Surface to Air Launch Test)** ilmatorjuntaohjuksia laukaistaan kauko-ohjatusti pitkällä testiradalla. Osallistuvat tutkimusryhmät mittaavat ohjusten herätteitä ja osumatarkkuutta eri kohdista testiradalla.
- **TTY: Tampereen teknillinen yliopisto.**
- **VTT: Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus**, v:sta 2010 lähtien Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy.

#### Kirjoittaja:

Filosofian tohtori Paavo Raerinne toimii tutkimusalojohtajana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen asetekniikkaosastossa asejärjestelmät-tutkimusalalla



# Autonomiaa omaavat miehittämättömät järjestelmät tulevat

Puolustusvoimien ensimmäisinä autonomiaa omaavina järjestelminä voidaan pitää ammu ja unohda -tyyppisiä meri- ja ilmatorjuntaohjuksia, kuten P-15 Termit (MTO66, kuva 1) ja Strela-2 (ITO78). Nämä ohjukset kykenivät hakeutumaan maaliin itsenäisesti tutka- ja infrapunaherätteen avulla. Voimakkaimpaan pistemäiseen herätteeseen hakeutumista lukuun ottamatta autonomian taso oli kuitenkin olematon. Uudemmissa ammu ja unohda -ohjuksissa, kuten panssaritorjuntaohjus Spike-MR:ssä ja ilmataisteluojus Sidewinder AIM-9M:ssä on jo kehittyneempiä hahmontunnistus- ja seurantaominaisuuksia.



Kuva 1. P-15 Termit -meritorjunta-ohjuksen (Suomessa MTO66) laukaisu laivalta. (Kuva: <http://www.military-today.com>)

Ensimmäisenä varsinaisena miehittämättömänä järjestelmänä voidaan pitää 1990-luvun lopulla hankittua Ranger-ilma-alusjärjestelmää, joka on suunniteltu prikaatitason tiedustelu-, valvonta- ja maalinosoitustehtäviin. Ranger kykenee lentämään autonomisesti ohjelmoitua reittiä pitkin ja pitämään sensorinsa suunnattuna tiettyyn kohteeseen, mutta esimerkiksi kuva-analyysi jää kokonaan maa-aseman operaattoreiden tehtäväksi.

Merivoimien miehittämättömissä, pinnan alla toimivissa järjestelmissä autonomiset toiminnot on kehitetty pisimmälle. Pääsyynä tähän on äärimmäisen haastava toimintaympäristö tiedonsiirron kannalta. Akustisen tiedonsiirron kaistanleveys (tiedon välityskyky) on äärimmäisen pieni verrattuna normaalisti käytettäviin radiotaajuuksiin. Vain oleellimmat käskyt ja tiedot pystytään välittämään.

Katanpää-luokan miinantorjunta-aluksilla on käytössä Hugin 1000 AUV ja Remus 100 AUV (autonomous underwater vehicle, kuva 2). Molempien AUV:eiden pääasiallinen tehtävä on reittiohjelmoitu miinanetsintä ja pohjan kartoitus erilaisilla sonar-tyyppisillä eli akustisilla sensoreilla. Tehtävävaiheessa niiden toiminta on autonomista.



Kuva 2. Remus 100 AUV tehtäväänsä suorittamassa. (Kuva: <https://www.km.kongsberg.com>)

Puolustusvoimilla ei ole miehittämättömiä maajärjestelmiä operatiivisessa käytössä, ellei räjähteiden raivauksessa käytettäviä etäohjattavia robottilavetteja lasketa tällaisiksi. Näiden autonomiataso on kuitenkin hyvin alhainen, koska raivaukseen sisältyy merkittäviä turvallisuusriskejä, joiden hallinta halutaan pitää operaattorilla. Lisäksi raivaustapahtumat ovat usein ainutkertaisia, mikä vaikeuttaa autonomian soveltamista. Maalla liikkuminen asettaa autonomisille järjestelmille muita toimintaympäristöjä suurempia vaateita, koska maasto-olosuhteet voivat vaihdella huomattavasti pienelläkin alueella. Tämän vuoksi ympäristön tarkka havainnointi ja navigointi ovat kriittisiä kykyjä.

## Tekoäly ja autonomia

Autonomiset toiminnallisuudet edellyttävät tekoälyksi luettavien menetelmien hyödyntämistä. Esimerkiksi autonomiset autot tarvitsevat edistyneitä konenäköalgoritmeja ympäristön havainnointiin ja estimointimenetelmiä oman paikan laskentaan (kuva 3). Tekoälymenetelmien sekä laskentatehon kehityksestä riippuu, milloin robotit ylittävät ihmisen päättely- ja ongelmanratkaisukyvyyn. Ihminen on edelleen ylivoimainen sopeutumisessa yllättäviin, normaalista poikkeaviin tilanteisiin sekä toiminnassa vajavaisin tiedoin. Monissa yksittäisissä, kapean alueen sovelluksissa tekoäly on jo ohittanut ihmisen.



Kuva 3. Suomalainen Sensible4 Oy kehittää Suomen olosuhteissa toimivia autonomisten ajoneuvojen tekniikoita esimerkiksi robottiautoihin ja -busseihin. (Kuva: <http://sensible4.fi/>)

Koneoppimisessa tekoälyjärjestelmä opetetaan antamalla sille opetusdataa. Tällöin algoritmi oppii eli käytännössä säätää sisäiset parametrinsa niin, että se osaa toimia halutulla tavalla. Järjestelmän oppiminen voi olla myös jatkuvaa. Syvien neuroverkkojen (deep neural networks) avulla on saavutettu viime vuosina erittäin merkittäviä ja näyttäviä tuloksia mm. kuvantunnistuksen, puheentunnistuksen ja kielen kääntämisen alueilla.

Keinoälymenetelmiä hyödynnetään jo uusimmissa aseissa, kuten USA:n operatiiviseen käyttöön siirtymässä olevassa LRASM-ohjuksessa. Se osaa esimerkiksi vältellä havaitsemiaan uhkia, valita maalilistaansa kuuluvat alukset sekä optimoida osumispisteensä aluksen mukaan.

### Parveilu

Multirobotijärjestelmät ja varsinkin robottiparvet ovat kasvava tutkimus- ja kehityskohde robotiikassa (kuva 4). Tällaisissa järjestelmissä useat robottialustat suorittavat yhteisvaikutukseen tähtäviä tehtäviä. Alustojen välisen yhteistyön saumattomuus riippuu järjestelmän parviällystä.

Parveilun tavoitteena on saavuttaa mahdollisimman yksinkertaisten ja edullisten alustojen yhteistyöllä yksittäisiä kalliimpia robottialustoja parempi kokonaissuorituskyky. Parvi on myös vähemmän haavoittuva kuin keskitetty järjestelmä, koska se kykenee jatkamaan toimintaansa yksittäisten jäsenten menetysten jälkeenkin.

Tällaisten järjestelmien tulevaisuutta ei kuitenkaan pidä ajatella pelkästään homogeenisinä parvina, jotka suorittavat tehtäviä tietyissä toimintaympäristöissä. Parvet voivat muodostua erilaisista, eri ympäristöissä toimivista alustoista, kuten ohjelmistoroboteista tilanne-, tiedustelu- ja säätietojen syöttäjänä, sekä eri suorituskyvyillä varustetuista, fyysisistä robottialustoista. Parven osana tulee aina olemaan myös ihmistoimijoita, jotka valvovat ja ohjaavat järjestelmän toimintaa.

### Tulevaisuus

Laskentatehon kasvu, tekoälymenetelmien kehittyminen varsinkin koneoppimisessa, laajojen mittausdatojen saatavuus, sensoriteknologian kehitys ja elektroniikan koon pieneneminen sekä lisääntynyt kaupallinen kiinnostus ovat



Kuva 4. Darpa tutkii 64 miljoonan dollarin Gremlins-demonstraattoriohjelmassaan (2016–2019) parvitekniologioita ja –konsepteja. (Kuva: <https://www.darpa.mil/>)

kiihdyttäneet autonomisten robottijärjestelmien kehitystä räjähdysmäisesti viime vuosina. Yhä autonomisempien robottijärjestelmien tutkimus ja kehittäminen on myös asevoimien kiinnostuksen kohde. Tavoitteena on pienentää nykyisten suurelta osin kauko-ohjattavien järjestelmien riippuvuutta helposti häiritävästä komentoyhteydestä. Lisäksi halutaan vähentää operaattoreiden työkuormaa ja määrää.

Miehittämättömät, autonomiaa omaavat robottijärjestelmät yleistyvät jo lähitulevaisuudessa myös sotilaspuolen operatiivisissa tehtävissä. Suuret sotilasmahdit, kuten USA, Kiina ja Venäjä, sijoittavat suuria summia uusien, autonomiaa omaavien järjestelmien kehittämiseen. Käyttöön on tulossa yhä kehittyneempiä järjestelmiä, jotka kykenevät toimimaan itsenäisemmin nykyisten järjestelmien rinnalla. Kehitys myös mahdollistaa vanhempien järjestelmien päivittämisen tai muuttamisen robotisoiduiksi alustoiksi.

Suunnannäyttäjänä toimivat kuitenkin siviilisovellukset, kuten itse ajavat autot ja autonomisesti liikkuvat rahtilaivat. Erään arvion mukaan robotiikkaan, johon miehittämättömät järjestelmät kuuluvat, investoidaan siviilipuolella jopa 20 kertaa enemmän kuin sotilassovelluksiin. Hyvänä esimerkkinä kehittyvistä robotiikkamarkkinoista on MiniSpot-robotikoira (kuva 5).

Puolustusvoimat on myös satsannut viime vuosina yhä enemmän autonomiaa omaavien miehittämättömien järjestelmien ja tekoälyn tutkimiseen. Niukkojen resurssien ja siviilipuolen laajan osaamisen vuoksi työssä turvaututaan voimakkaasti erilaisiin yhteistyöverkostoihin.

Puolustusvoimissa seuraavat miehittämättömät järjestelmät ovat todennäköisesti Rangerin seuraaja sekä strategisiin



Kuva 5. Boston Dynamicsin kehittämä MiniSpot on pieni 25-kiloinen robotti, joka pystyy tarttumaan esineisiin ja kiipeämään portaita. (Kuva: <https://www.bostondynamics.com>)





Kuva 6. Milremin etäohjattulla aseella varustettu miehittämätön Themis-ajoneuvo. (Kuva: [www.mil.ee](http://www.mil.ee))

hankkeisiin Laivue 2020:een ja Hornetin seuraajaan liittyviä ilmassa tai vedessä toimivia järjestelmiä. Tässä yhteydessä ei voi myöskään unohtaa kaupallisten miehittämättömien järjestelmien hyödyntämistä. Esimerkiksi kaupallisia multikoptereita voidaan hyödyntää monin tavoin tutkimus-, tiedustelu- ja valvontatehtävissä. Maalla liikkuvat tulevaisuuden sovelluskohteet löytyvät todennäköisimmin logistiikan tai suojaamisen puolelta.

Tulevaisuudessa korkeimman autonomisuuden robottijärjestelmät tulevat ylittämään nykyisten järjestelmien suorituskyvyt ja pakottavat siksi muuttamaan nykyisiä operointikonsepteja. Yleisenä oletuksena on, että tietyn suorituskyvyn yksikkökustannukset laskevat, kun autonomisuuden taso ja kyky kasvavat. Kauhuskenaariossa kehitys saattaa lopulta johtaa siihen, että ihmispohjaiset asejärjestelmät eivät pysty vastaamaan robottijärjestelmien ylivertaiseen suorituskykyyn.

Osa tulevaisuuden autonomisista järjestelmistä voidaan sijoittaa taistelukentälle jo ennen operaatiota. Ne kykenevät tarkkailemaan jatkuvasti ympäristöä ja ovat tarvittaessa uhrattavissa. Jatkuva läsnäolo mahdollistaa myös lähes loputtoman operaatiotempon ylläpidon. Lisäksi sotilaallisen toiminnan tehokkuus kasvaa, koska pienempi määrä toimijoita voi hallita ja valvoa laajempia alueita sekä suorittaa useampia tehtäviä.

Teknologisten haasteiden lisäksi sotilassovelluksissa nousevat voimakkaasti esiin eettiset näkökulmat ja juridiset vastuukysymykset (kuva 6). Jos autonominen asejärjestelmä tappaa vahingossa väärän henkilön tai aiheuttaa tarpeetonta vahinkoa ympäristölle, kuka on vastuussa: operaattori, omistaja, valmistaja vai ohjelmoija? Tämän vuoksi kaikki maat ovat toistaiseksi ilmoittaneet kannattavansa tiukkaa ihmisen-mukana-vaikuttamisketjussa-periaatetta. Toisaalta tiedetään, että samaan aikaan useat maat kehittävät autonomisia asejärjestelmiä. Tämän vuoksi on tärkeää, että Puolustusvoimat osallistuu autonomisten järjestelmien tutkimisen, kehittämisen ja käytön säätelyyn liittyvään kansainväliseen keskusteluun sekä lainsäädäntötyöhön. Luottamus robottijärjestelmiin on niiden yleistymisen kivijalka.

#### Kirjoittajat:

Filosofian tohtori Timo Kaurila toimii johtavana tutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen asetekniikkaosastossa. Diplomi-insinööri Mikko Miettinen toimii erikoistutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen asetekniikkaosaston asejärjestelmien tutkimusallalla.

# Innovaatio ja adaptaatio puolustusjärjestelmän kehittämisen ajureina



Käsityksemme asioiden käyttökohteista muuttuvat uusien toimintatapojen seurauksena. (Kuva: Puolustusvoimat)

Puolustusjärjestelmän kehittämisen ymmärretään tuovan jonkinasteista muutosta olemassa oleviin päämääriin, organisaation rakenteisiin sekä vallitseviin käsitteisiin sotatieteestä ja -taidosta. Itse muutoksen luonne ja kehitys voidaan kuitenkin ymmärtää eri tavoin sen mukaan, mistä ja miten uusi tieto koostetaan. Tämän artikkelin tavoitteena on herättää kysymyksiä siitä, mikä ohjaa nykyistä puolustusjärjestelmän strategista suunnittelua ja kehittämistä.

## Eriäviä kehityssuuntauksia

Nykyisin puolustusjärjestelmän kehittäminen voidaan jakaa karkeasti ainakin kahteen eri lähestymistapaan, adaptiiviseen ja innovatiiviseen. Adaptiiviselle kehitykselle luonteenomaista on tuottaa hiljattaisia muutoksia muun muassa taktiikkaan, tekniikoihin, rakenteisiin ja kalustoon suorituskykyjen parantamiseksi. Ongelmat pyritään siis ratkaisemaan mahdollisimman tehokkaasti ja loogisesti saatavilla olevan tiedon avulla. Tietoa kerätään myös taistelu- ja sotaharjoituksista, jotka sisältävät teoreettiset viitekehykset ohjesääntöjen päivittämiseksi.

Olemassa olevien rakenteiden ja normien parantamisen sijasta innovatiivinen kehitys kuvastaa niiden ideoiden, viittekehysten tai menetelmien käyttöönottoa, jotka pyrkivät ratkaisemaan ongelmat uudenvälisin keinoin tai vaihtoehtoisesti luomaan kokonaan uusia toiminnan alueita. Radikaalit uudistukset tai muutokset ymmärretäänkin innovaatioina. Käsite usein virheellisesti rinnastetaan keksintöihin, vaikka kyseessä on enemminkin toiminnan kehittäminen tai tehostaminen. Innovatiivinen kehitys ulottuu kuvatus ongelman ulkopuolelle kyseenalaistamalla ongelmaa monesta eri näkökulmasta, kun taas adaptiivinen kehitys pyrkii vastaamaan haasteisiin kuvatus ongelman kautta.

Innovaation ja adaptaation lisäksi puolustusjärjestelmän kehittämisen suunnittelu voi olla myös jäljittelevää, jolloin muutospaineisiin vastataan omaksumalla muiden toimijoiden rakenteita, käytäntöjä tai kehitysmalleja. Tämä on erityisesti pienten valtioiden ja toimijoiden hyödyntämä lähestymistapa, sillä sen nähdään usein vaativan toimijoilta suhteessa vähemmän resursseja. Sotien jälkeisessä suunnittelussa on vallinnut vahva uhkalähtöinen asetelma, jossa pyrkimyksenä on reaktiivisesti vastata uusiin haasteisiin suorituskykyjen kehittämiseksi. Innovatiivisuus osittain väärin



ymmärrettynä on nähty teknologiakeskusten johtamana alana, jota puolustusjärjestelmän kehitys seuraa adaptiivisesti jälkijunassa.

Määritelmän mukaisesti sotilaalliset innovaatiot muuttavat huomattavasti sotilasorganisaatioiden toimintaa kentällä ja parantavat operatiivista tehokkuutta. Kyseinen käsitys korostaa sotilaallisten innovaatioiden muutoskeskeisyyttä mutta samalla vahvaa sidonnaisuutta käytäntöön. Vastavasti sotilaallisessa kontekstissa keskeistä on proaktiivinen toiminta, sillä se pakottaa muut reaktiiviseen asemaan. Perinteisesti disruptiiviset sotilaalliset innovaatiot kategorisoidaan teknologisten, organisaationaalisten ja makrososiaalisten ulottuvuuksien kautta. Teknologian merkitystä korostetaan, vaikka organisaationaaliset ja makrososiaaliset tekijät saattavat lopulta ilmetä tärkeämmiksi osa-alueiksi silloin, kun kuvataan kehittyneitä sotilaallista toimintakykyä. Teknologia itsessään ei siis ole riittävä sotilaallisten haasteiden kohtaamiseksi. Usein innovaatioiden keskiössä ovat uudet toimintatavat, vaikka niitä usein mahdollistetaan teknologian avulla. Ilman uusia toimintatapoja on haastavaa väittää uudistusten olevan luonteeltaan innovatiivisia.

## Muutoshasteita

Sotilaallisessa kontekstissa virheisiin liittyvät inhimilliset ja poliittiset kustannukset tuottavat ymmärrettävästi varovaisuutta innovoinnissa. Yleisimpiä selityksiä siitä, miksi sotilaalliset organisaatiot tuottavat innovaatioita hitaasti, ovat esimerkiksi organisaatiokulttuuri ja institutionaaliset luonteenpiirteet. Haasteena on, kuinka sovittaa yhteen innovaation vaatimia olosuhteita ja sotilaallisen ympäristön erityispiirteitä. Prosessina innovaatio perustuu vahvasti erilaisten näkökulmien väliseen yhteistyöhön ja avoimeen keskusteluun, joka on usein haaste hierarkkisissa yhteisöissä.

Liika innovatiivisuus voi yhteistoimintaan perustuvassa toiminnassa koitua jopa haitalliseksi, mikäli se tuottaa suorituskykykuiluja toimijoiden välille. Yhteistoimintakyky on keskeinen tekijä esimerkiksi kansainvälisissä operaatioissa. Merkityksen korostuminen voi johtaa tilanteisiin, joissa toimijat tietoisesti valitsevat olla uudistumatta säilyttääkseen tämän kyvyn. Näin ollen puolustusjärjestelmän suunnitelmallinen kehittäminen saattaa ajautua mielenkiintoiseen tilanteeseen, jossa tavoitteena on proaktiivinen toiminta, mutta sotilaallisen kontekstin erityispiirteet ajavat puoltamaan reaktiivisuutta. Huomiota tulisi kiinnittää adaptiivisen kehityksen rooliin osana kansainvälistä turvallisuuspolitiikan valtasuhdepeliä, mikäli innovatiiviset ja proaktiiviset muutokset ohjaavat kehityksen suuntaa ja tahtia.

## Taktista keinovalikoimaa

Vaikka Suomen turvallisuuspolitiikka noudattaa neutraalin aseman säilyttämiseksi nimettyjä periaatteita, voidaan

innovaatiosta hyötyä myös puhtaasti puolustuksellisuutta puoltavassa kehittämisessä. Esimerkiksi talvisotaa edeltänyt Suomen sotastrategia rakentui pääasiassa kahden ammatillisesti laaditun puolustus suunnitelman varaan. Hyökkäyksellisen suunnitelman VK1 strategisena päämääränä oli mahdollisimman aikainen vastahyökkäys ja venäläisten joukkojen pysäytys sekä 'lyöminen' Karjalan kannaksella. Sen sijaan puolustuksellinen VK2, jonka päämääränä oli torjua neuvostojoukkojen hyökkäys kantalinnoitetussa pääasemassa, sai voimasuhteisiin ja tilannearvioihin perustuen enemmän painoarvoa 1930-luvun yleisesikunnassa. Talvisodan syttyessä 30. marraskuuta vuonna 1939 myös keskeneräiseksi jäänyt "VK Karjalan kannas" otettiin käyttöön improvisoiden kahden edellä mainitun suunnitelman lisäksi.

Talvisotaa edeltävänä ajanjaksona voimasuhteita tulkitsemalla todettiin W. H. Halstin sanoin, että "suomalaiset parhaassakin tapauksessa voivat kestää vain tietyn ajan". Käännettiinkö tämä tietoisuus omasta ajallisesta haavoittuvaisuudesta lopulta voitoksi tiedostamalla myös vastustajaa koskeva sama haavoittuvuus talviolosuhteissa?

Sotahistorian dosentti Pasi Tuunaisen mukaan suomalaisen sotataidon tavaramerkkinä tunnettu mottitaktiikka on erinomainen esimerkki eräänlaisesta taktisesta innovaatiosta, jolla talvisodan aikaan kyettiin tasoittamaan voimasuhteita. Kyseisessä toimintamallissa ratkaisevaa ei ollut uusi teknologia tai kalusto, vaan keskeisimpänä elementtinä olivat uudet toimintatavat.

## Yksinoikeudet ainutlaatuisuuteen

Arkiajattelussa usein ymmärrettävästi korostetaan innovaation merkitystä. Kun puhutaan jostakin asiasta uutena tai innovatiivisena, tarkoituksena on ilmaista sen olevan jotakin parempaa kuin aiemmat. Tämä on omalla tavallaan näkyvisä myös puolustusjärjestelmän kehittämisessä. Kun tarkoituksena on vakuuttaa päättäjii ideoiden tarpeellisuudesta, niitä markkinoidaan parhaina tai ainoina vaihtoehtoina eri haasteisiin ja mahdollisuuksiin. Huomiota tulee kiinnittää siihen, että kaupalliset ja poliittiset intressit kuuluvat osaksi sotilaallisten innovaatioiden kenttää, jolloin niitä voidaan tarkoituksellisesti pyrkiä 'myymään' muille toimijoille.

Lisäksi innovaatiot harvoin, jos koskaan, säilyvät oivaltajansa yksinoikeutena. Sotilaallisilla innovaatioilla on erityinen taipumus levitä muiden toimijoiden käyttöön ajan saatossa. Tässä korostuu tarve adaptaatiokykyyn, sillä se tarjoaa keinon reaktiivisesti toimia muuttuvien olosuhteiden vaatimusten mukaisesti. Reaktiiviset suorituskyvyt korostuvat erityisesti keskityttäessä puolustuksellisuuteen.

Sotilaallisten innovaatioiden leviäminen perustuu kahden muuttujan keskinäiseen suhteeseen: taloudelliseen intensi-



(Kuva: Puolustusvoimat / Panu Niemi)

teettiin ja organisaationaaliseen haastavuuteen, joista jälkimmäinen usein toimii suurimpana innovaation hidasteena. Yleisesti ottaen korkeat taloudelliset kustannukset ja pieni organisaationaalinen muutos ovat sotilaallisille toimijoille mieluisampi tapa uudistua. Resurssien niukkuus voi kuitenkin pakottaa toimijoita poikkeamaan tästä, kun ne pyrkivät maksimoimaan rajallisista resursseista saatavat hyödyt. Näitä valintoja ohjaavat toimijoiden omat reunaehdot. Tällä tarkoitetaan toimijoiden tietoisesti tai tiedostamatta asettamia rajoja sen suhteen, mitkä käsitetään mahdollisina tai varteenotettavina vaihtoehtoina, sekä niiden välisiä arvosuhteita.

Puolustusjärjestelmän kehittämisessä innovointi tulisi ensisijaisesti ymmärtää sodan ja kehityksen hallinnan mahdollistavana keinona, joka ei kuitenkaan välttämättä ole ainoa tai paras vaihtoehto. Toimijakohtaiset erityispiirteet määrittävät, kuinka ne osaltaan lähestyvät kohdattuja haasteita ja mahdollisuuksia. Tietyissä kansallisessa viitekehityksessä luotu järjestelmä ei välttämättä sovellu sellaisenaan muiden käytettäväksi, jolloin on tärkeää ylläpitää kykyä itsenäiseen kehitystoimintaan. Kokonaisvaltaisessa suunnittelussa tulee tasapainottaa niin tarvetta säilyä nykyaikaisena, kustannustehokkaana, arvojen mukaisena kuin yhteistoimintakykyisenäkin muiden kumppaneiden kanssa. Joskus valinta olla

uudistumatta voi olla paras vaihtoehto. Tämä kuitenkin vaatii ymmärrystä toimijan omista reunaehdoista, mikä ilmenee esimerkiksi suomalaisen sotilastaidon kulmakivissä: oman ympäristön vahvassa tuntemisessa sekä luottamuksessa yksilöllisiin ominaisuuksiin. Strategisen suunnittelun viitekehityksessä olisi muistettava, että taktiikka on taito voittaa sota, siinä missä strategia on taito valita sota.

#### **Kirjoittaja:**

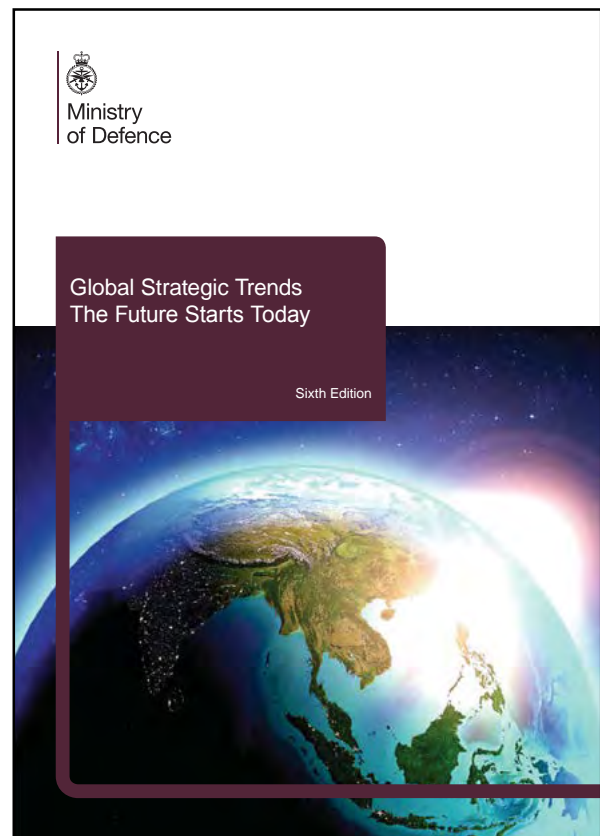
Aleksi Kivimaa on yhteiskuntatieteiden ylioppilas Poliitiikan tutkimuksen tutkinto-ohjelmassa Tampereen yliopiston Johtamisen ja talouden tiedekunnassa. Filosofian maisteri Janina Saarnio työskentelee määräaikaisena suunnittelijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksessa konseptien ja käyttöperiaatteiden tutkimusalalla.

# Strategisen taustakuvan muodostaminen - GST6

Ison-Britannian puolustusministeriö totesi vuonna 1998 laajapohjaisen ja ennakoivan strategisen analyysin tarpeen kansallisen turvallisuusstrategian ja turvallisuus- ja puolustuspoliittisen arvion valmistelussa. Ensimmäinen Global Strategic Trends (GST) julkaistiin vuonna 2003. Tässä esiteltävän kuudennen version (GST6) tuottaminen käynnistyi vuonna 2016, ja versiossa tarkastellaan maailman kehittymistä aina vuoteen 2050 saakka. Taustatyö sisälsi mm. aiempien versioiden analysoinnin, kirjallisuustutkimuksia, joukkoistamisen (online-kysely) ja mittavan aloitusseminaarin. Näiden perusteella muodostui 42 tutkimuslinjaa, joita Ison-Britannian puolustusministeriön alainen tutkimuskeskus Development, Concepts and Doctrine Centre (DCDC) Futures-tiimi alkoi työstää. Tiimiin kuului brittien lisäksi upseereita Australiasta, Ruotsista, Saksasta ja ensimmäistä kertaa myös Suomesta. Työ sisälsi lisää kirjallisuustutkimuksia, haastatteluita ja asiantuntijoiden työpajoja. Yhteensä 42:lta eri instituutiolta tilattiin yli 70 tutkimustyötä. Yhteistyö oli aiempaa laajempaa – työhön osallistui asiantuntijoita eri hallinnonaloilta, akatemiasta ja yritysmaailmasta yli 40 maasta.

Vuonna 2018 tutkimuslinjojen tulokset yhdistettiin. 27 temaattisen alueen ristiintarkastelu nosti esille yhdistäviä muutostekijöitä ja trendejä, joita jalostettiin edelleen DCDC:n sisäisissä tarkasteluissa sekä laajoissa kansainvälisissä työseminaareissa. Loppuraportti on synteesi, jonka tulokset on jäsennelty viiteen temaattiseen lukuun (osa 1) ja 13 maantieteelliseen tarkasteluun (osa 2). Brittiläisen perinteen mukaisesti lähestyminen on journalistinen eli kirjallista ilmaisua painottava, mutta uutena piirteenä GST6:ssa on aiempaa enemmän myös analyttisiä jäsentelyitä, taulukoita ja kaavioita. Täysin uutena piirteenä jokaisen luvun lopussa on aukeaman mittainen yhteenveto. Future Worlds -osassa havaittuja ilmiöitä tietoisesti kärjistetään tarkastelemalla niitä neljässä erilaisessa mahdollisessa tulevaisuuden maailmassa ja johtamalla niistä kullekin maailmalle erityisiä turvallisuusvaikutuksia. Tällä pyrittiin pääsemään irti ennakoinnissa hyvin yleisestä lineaarisesta deterministisyydestä ja tuomaan esille ihmisten päätösten vaikutus kehityskulkuihin. Yhteenvetoaukeaman toinen sivu sisältääkin aina listan erityisesti seurattavia muuttujia ja mahdollisia murroskohtia. Hätäisiä ”so what” -lukijoita varten kunkin aukeaman loppuun on tiivistetty yhdistelmä keskeisimmistä seuraamuksista turvallisuudelle.

Raportin ykkösosan temaattiset luvut on rakennettu ”kehyksestä ytimeen” -periaatteella. Ympäristö ja resurssit ku-



Ison-Britannian puolustusministeriön Global Strategic Trends julkaistiin nyt kuudennen kerran. (Kuva: UK MOD DCDC GST6)

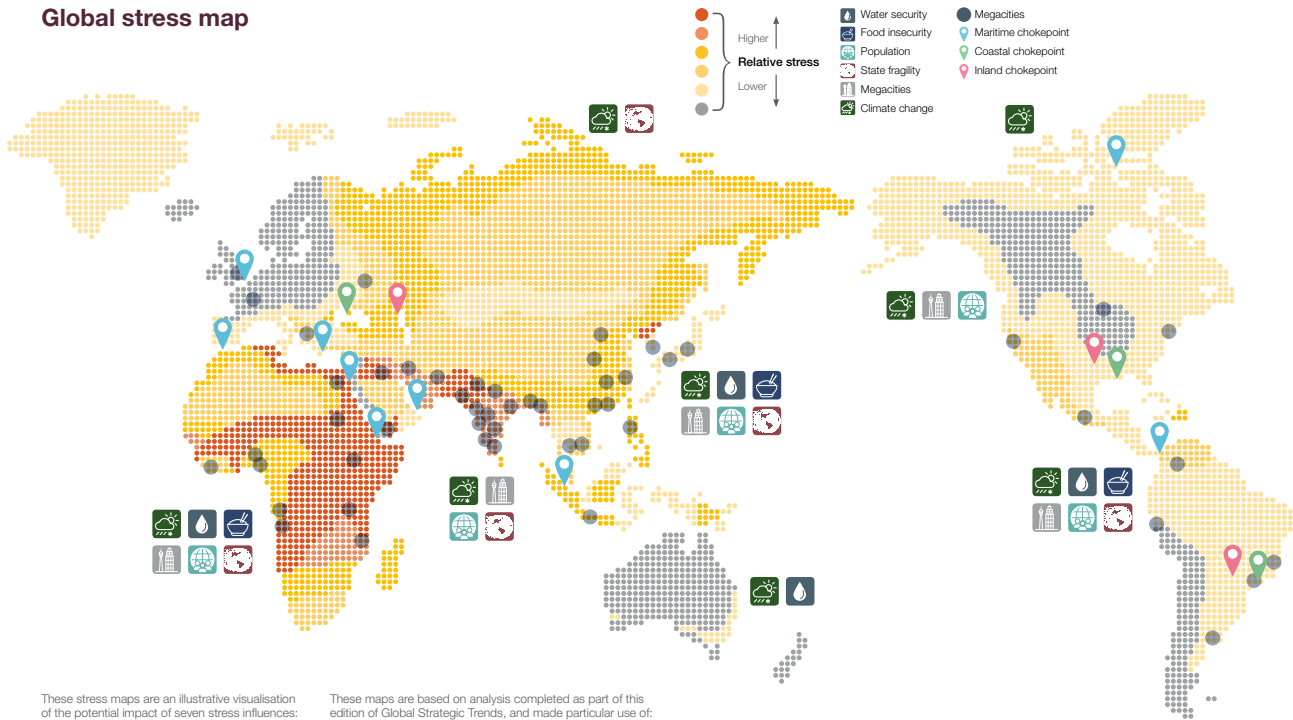
vaa sen, mitä ihmiskunnalla on käytössään ja missä syntyy niukkuutta. Inhimillinen kehitys kertoo siitä, ketä ja missä me olemme ja kuinka me jakaudumme. Talous, teollisuus ja informaatio -luku analysoi sitä, millä tavoin yhteisöt käyttävät resursseja tullakseen toimeen. Hallinto ja laki tarkastelee ihmisyyhteisöjen luomia yhteistyön ja kilpailun tuki- ja hallintamekanismeja. Lopulta Konfliktit ja turvallisuus arvioi sitä, miksi, missä ja miten tuo kilpailu saattaa johtaa vastakkainasetteluun ja millaisia konflikteja ja turvallisuutta hakevia ratkaisuja voi muodostua.

Raportin kakkososassa on 13 alueellista tarkastelua arktisesta Antarktikaan. Maanosia on pilkottu pienempiin osakokonaisuuksiin alueellisten erityispiirteiden esille tuomiseksi. Usean maanosan alueelle levittäytyvä Venäjä on tarkasteltu poikkeuksellisesti omana kokonaisuutenaan.

Yhdistelmä GST6:n keskeisistä johtopäätöksistä on koottu raportin alkuun. Siinä esitetään 16 painopistealuetta, jois-



## Global stress map



These stress maps are an illustrative visualisation of the potential impact of seven stress influences: water security, food insecurity, population, state fragility, impact of climate change, megacities and choke points.

The maps illustrate expected impacts on people and their activities rather than physical attributes in 2050.

These maps are based on analysis completed as part of this edition of Global Strategic Trends, and made particular use of:

- Human Dynamics of Climate Change, Met Office;
- Global City Populations, UNDP;
- City Population 2050, University of Ontario;
- 2018 Fragile States Index, Fund for Peace; and
- Chokepoints and Vulnerabilities in Global Food Trade, Chatham House, 2017.

**GST6 Global Stress Map 2050 kertoo, kuinka stressitekijöiden alueellinen kumuloituminen luo erityistä konfliktipotentiaalia alueille, joiden kautta maailman kauppavirrat kulkevat. (Kuva: UK MOD DCDC GST6)**

sa on tulevaisuudessa erityinen mahdollisuus merkittäviin muutoksiin. Niistä on johdettu raportin synteettinen pihvi: 40 strategista seuraamusta, joihin on otettava jotenkin kantaa strategisessa suunnittelussa. Raportin lopussa turvallisuutta haastavat tekijät on yhdistetty mahdollista epävakautta kuvastavaksi globaaliksi stressikartaksi.

## 16 keskeistä muutosaluetta ja niihin liittyvät strategiset seuraukset tarkastelujaksolla – 2050

**Ilmastonmuutoksen kärjistyminen ja kasvavat kustannukset haastavat kv-yhteisön ja hallitukset.** Ilmastonmuutoksen seuraukset ylittävät tarkastelujaksolla väijäämättömästi suuren yleisön kipukynnyksen, ja vaatimukset pakottavat hallitukset huomioimaan ilmastonmuutoksen geopolittisissa ratkaisuisaan ja liittymään laajoihin kansainvälisiin ympäristöä tasapainottaviin massiivisiin hankkeisiin. Ilmastonmuutos vaikuttaa sotilaalliseen toimintaympäristöön suoraan (tukeutuminen, yhteydet, logistiikka, fyysiset olosuhteet) ja epäsuorasti (kamppailu elinkelpoisista alueista aiheuttaa sotia ja pakolaisvirtoja ja muuttaa liittoutumia).

**Resurssien kysyntä ja kilpailu niistä kasvaa.** Teknologisesta kehityksestä huolimatta luonnonvaroista ja muista resursseista syntyy pulaa ja ne jakautuvat epätasaisesti. Tämä johtaa sosiaalisiin levottomuuksiin, epäjärjestykseen ja väki-

valtaan sekä kasvavaan eri alueiden sekä valtioiden väliseen kilpailuun ja konflikteihin. Sotilaallisen toimintakyvyn turvaaminen edellyttää kansallisen ja kansainvälisen toimitusketjun resilienssin tietoista kehittämistä.

**Väestörakenteen muutosten hallinta haastaa hallitukset kaikkialla.** Kehittyvissä maissa väestönkasvu on paikoin räjähdysmäistä, ylittää paikallisesti kantokyvyn ja pakottaa ihmiset liikkumaan hallitsemattomasti kasvaviin urbaaneihin kasvukeskuksiin ja toisiin valtioihin. Euroopassa ja Itä-Aasiassa väestön vanheneminen tekee nykyisestä työnteon, sosiaaliturvan ja terveydenhuollon ratkaisuihin kestävämpiä. Asevoimien kyky operoida tehokkaasti kompleksisessa rakennetussa ympäristössä edellyttää viranomaisyhteistyötä, materiaalin kehittämistä ja uusia konsepteja.

**Automaatio monimuotoistaa työn ja työvoiman.** Kehittyneissä maissa automaatio helpottaa väestön ikääntymisestä johtuvaa työvoimapulaa, mutta koulutusjärjestelmällä ja erityisesti nykyisellä keski-ikäisellä työväestöllä saattaa olla aluksi vaikeuksia sopeutua muuttuviin osaamisvaatimuksiin. Työnantajien (myös asevoimien) on kehitettävä rekrytointimalleja, organisaatorakenteita ja työn tekemisen käytäntöjä. Automaatio läpäisee tarkastelujaksolla myös sodankäynnin ja sotilaan roolin muutos taistelulentäällä on teknologisesti mahdollista. Automatisoinnin laajuus ml. kysymys autono-

miasta ja ihmisen asemasta voimankäyttöpäätöksissä onkin ensisijassa poliittinen ja doktrinäärinen periaatekysymys. Osa toimijoista pyrkii hyödyntämään autonomian mahdollisuuksia häikäilemättömästi kilpailuedukseen.

**Yhteiskunnat sirpaloituvat ja sosiaalinen yhteenkuuluvuus laskee.** Globaalisti yhteiskuntien välinen tasa-arvo kehittyi parempaan suuntaan. Yhteiskuntien sisällä eriarvoisuus kasvaa myös kehittyneissä maissa, ja seuraukset saattavat olla nopeasti kehittyviä ja vaikeasti hallittavia. Sosiaalinen yhteenkuuluvuus on perusedellytys laajan maanpuolustustahdon ylläpitämiseksi.

**Ääriliikkeet ja järjestäytynyt rikollisuus ovat kasvava uhka.** Valtioiden vakaudella, järjestäytyneellä rikollisuudella, korruptiolla, ekstremismillä ja väkivallalla on selvä korrelaatio. Järjestäytyneen rikollisuuden verkostot ruokkivat konflikteja ja levittävät niiden seurauksia globaalisti. Ääriliikkeet ja järjestäytynyt rikollisuus hyödyntävät toisiaan, ja niitä voidaan käyttää myös välikappaleena valtioiden välisissä konflikteissa. Niiden hillitsemiseksi ns. hallinnattomat tilat (sekä perinteiset fyysiset että uudet virtuaaliset) on minimoitava ja viranomaisyhteistoimintaa on kehitettävä, yli rajojen.

**Valtion rooli toimijana muuttuu.** Kansallisvaltio tulee säilymään tarkastelujaksolla keskeisenä yhteiskunnallisena ja kansainvälisenä toimijana. Valtiovalta ja viranomaiset joutuvat kuitenkin kasvavien haasteiden eteen, kun yhteiskunnalliset perusrakenteet, palvelutarpeet ja palvelutarjonta muuttuvat niin kansallisesti kuin kansainvälisestikin (vrt. aiemmat muutostekijät). Viranomaisten kyky täyttää tehtävänsä edellyttää uudenlaista muutostarpeiden ennakointia, rohkeampia strategisia päätöksiä ja uudenlaisia kumppanuusratkaisuja. Ketterimmät, toimintaympäristön muutokseen itse vaikuttavat valtiot saavat itselleen merkittävän kansainvälisen kilpailuedun suhteessa vain reagoimaan kykeneviin.

**Informaatioympäristö laajenee edelleen ja on vaikeasti säänneltävä.** Informaatioympäristö kehittyi teknisesti ja toiminnallisesti ennakoimattomasti ja yleisesti yhteiskunnan sääntelyä nopeammin. Informaatioulottuvuuden hallinta aiheuttaa yhteiskunnallisia, organisatorisia ja yksilökohtaisia haasteita, joita muut toimijat käyttävät hyväkseen. Perinteiset sektorikohtaiset defensiiviset ja reagoivat turvallisuusratkaisut eivät enää ole riittäviä. Informaatioyhteiskunnan aloitteellisen suojaamisen reunaehtona on laajasti koko yhteiskuntaa koskeva ja kansainvälisesti verkottunut kokonais-turvallisuus, jonka työkaluihin kuuluu kattavasti sekä resilienssi että puolustuselliset ja myös hyökkäykselliset keinot. Tämä saattaa edellyttää alueellisten tai valtiollisten rajojen määrittämistä myös kyberympäristössä.

**Teknologisen muutoksen hallinta on kulttuurinen kysymys.** Toisin sanoen teknologisessa kilpailukyvyssä on kyse yhteisön kyvystä hyödyntää ja tahdossa haluta teknologista muutosta. Tarkastelujaksolla eri alojen teknologiset kehityskaaret tulevat liittymään ennalta arvaamattomasti toisiinsa. Kaupalliset toimijat ohjaavat teknologista tutkimusta ja valitsevat laajan kuluttajakäynnän perusteella ne alueet, joihin paras tutkimus ja tuoteistus ensisijaisesti kohdistuu. Asevoimien tutkimus- ja kehittämistoiminnan tulee toimia syvenevässä yhteistyössä teollisuuden ja kumppanimaiden kanssa kilpailuedun ja yhteentoimivuuden takaamiseksi. Teknologisen etumatkan saavuttaminen, sen todentaminen ja erityisesti sen ylläpitäminen on vaikeaa. Eksperimentoinnin ja nopeiden luopumis- ja investointipäätösten merkitys korostuu.

**Teknologia muuttaa perusolettamuksia ihmisen toimintakyvyn rajoista.** Human enhancement -teknologian mahdollisuudet tulevat tarkastelujaksolla perustavanlaatuisesti muuttamaan ihmisen fyysisen ja kognitiivisen suorituskäynnän rajoja. Yksittäisen sotilaan suorituskäynnän parantelu ja erityisesti sotilaiden ja koneiden tiimiyttäminen sodankäynnissä sisältävät mahdollisuuksia ja rajoitteita, joita ei vielä riittävästi ymmärretä. Tällä alueella on mahdollisuus merkittävän kilpailuedun saavuttamiseen, ja osa toimijoista pyrkii hyödyntämään mahdollisuuksia häikäilemättömästi. Lisätutkimus on käynnistettävä nopeasti riskien ja mahdollisuuksien ymmärtämiseksi.

**Tekoälyn hyödyntäminen on keskeinen kilpailutekijä – myös sotilaallisesti.** Datan kerääminen laajenee ja datan analysointi nopeutuu ja mahdollistaa siten koneoppimisen nopeuttamisen ja lopulta laajan tekoälyn kehittämisen. Lopulta kone oppii ennakoimaan, järjelemään, ratkomaan ongelmia, oppimaan ja suunnittelemaan. Tämä taas mahdollistaa datan käsittelyn tavalla, jonka vaikutukset muuttavat perusolettamuksia työstä ja ihmisen tarkoituksista. Tekoälyn hyödyntämisessä käydään kilpailu, jossa kulttuuri, poliittiset linjaukset ja yksityissektorin osaaminen ovat keskeisessä asemassa. Hallitusten tulee kilpailussa pärjätäkseen ylläpitää kansalaisten luottamusta muutokseen ja siksi ennakoivasti kehittää ratkaisuja tekoälymurroksen disruptiivisten seurannaisvaikutusten hallitsemiseksi ylimenokaudella. Tekoälyn laajan hyödyntämisen kannalta välttämättömien teknisten, lainsäädännöllisten ja eettisten perusrakenteiden kehittäminen on mahdollista vain kansainvälisessä yhteistyössä. Kuuluminen tekoälyteknologiaa yhdessä kehittävään ryhmään saattaa olla ratkaisevaa sotilaallisen suorituskäynnän kehittämisessä. Epäonnistuminen tekoälyn hyödyntämisessä saattaa luoda vakavia haavoittuvuuksia ja antaa kilpailijoille etulyöntiaseman.

**Taloudelliset mahdollisuudet teknologisen muutoksen hallitsemiseksi ovat rajallisia.** Arvioiden mukaan taloudellinen kasvu saattaa (länsimaissa) hidastua ja prioriteetit muuttua, mm. ikääntymisen vuoksi. Teknologisesti kehittyvillä alueilla (kuten puolustus) tapahtuu yllättäviä uhkan muutoksia ja suorituskyvyn vanhenemisiä sellaisilla tavoilla, jotka eivät taloudellisesti tai teknisesti mahdollista suorituskyvyn korvaamista perinteisillä toimintatavoilla. Sotilaallisesti relevantin ja uskottavan suorituskyvyn kehittäminen edellyttää tutkimus- ja kehittämistoimintaa, joka antaa organisaatiolle mahdollisuuden ketterästi uudistaa teknologista ja sotataidollista (yleensä asymmetristä) etulyöntiasemaa. Taisteluketään läpinäkyvyyden ja iskukyvyn kehittymisen takia on välttämätöntä luoda omaan järjestelmään resilienssiä massaa luomalla – se on onneksi tarkastelujaksolla mahdollista useilla tavoilla.

**Sääntöperustaisen kansainvälisen järjestelmän on huomioitava valtasuhteiden muutos.** Valtasuhteiden muuttuessa nousevat valtiot kyseenalaistavat vallitsevia epäreiluiksi kokemiaan kansainvälisiä normeja ja instituutioita. Kansainvälinen järjestelmä tulee muuttumaan – enää on kyse tavasta, jolla se tapahtuu. Huonoimmassa tapauksessa nykyiset instituutiot eivät kykene huomioimaan nousevien valtojen intressejä ja niiden merkitys laskee. Tällä olisi suuri merkitys pienille valtioille, joiden turvallisuuspolitiikka nojaa vahvaan ja vakaaseen kv-järjestelmään.

**Kilpailu yhteisissä toimintaympäristöissä kiihtyy.** Elin tärkeät toiminnot nojaavat yhä laajemmin globaalien yhteiskäyttöisten toimintaympäristöjen (kybertila, avaruus, meret, napa-alueet) vapaaseen käytettävyyteen. Niiden hallinnasta käydään kasvavaa kilpailua, ja kilpailu saattaa kärjistyä konfliktiksi, joiden heijastusvaikutukset ovat yllättäviä. Toisaalta erityisesti avaruuden ja kybertilan merkitys saattaa muodostaa valtioiden välille kohtalonyhteyden, joka pakottaa kilpailijatkin yhteistyöhön.

**Kansainvälinen kilpailu koskettaa yhä laajempia alueita ja toimintoja.** Valtasuhteiden muutoksen myötä vanhat ja uudet toimijat kilpailevat vakavasti asetelmistaan sekä yksin että erityisesti uusien kumppanuuksien avulla. Konfliktien mahdollisuus kasvaa alueilla, joissa erot ovat suurimpia, muutoksia on viivytetty ja valta jaetaan uudelleen. Valtioiden sisäisten ja ei-valtiollisten konfliktien määrä jatkaa kasvua. Raja sodan ja rauhan välillä hämärtyy edelleen toimijoiden hyödyntäessä ja yhdistellessä yhä laajempia kohde- ja keinovalikoimia, jotka mahdollistavat vahingollisen vaikuttamisen avointa sotaa alemmalla tasolla käytävässä kilpailussa. Avaruuden, kybertilan, vedenalaisen ja jatkossa myös virtuaalisen tilan merkitys operaatioympäristönä kasvaa. Toimijat, jotka kykenevät näissä ympäristöissä kehittämään ja käyttämään disruptiivisia teknologioita, saavat merkittävän etulyöntiaselman. Valtioiden on varauduttava kilpailun laajenemiseen valtioiden väliseksi konfliktiksi,

joita voidaan hallita vain kollektiivisilla puolustusratkaisuilta, kokonaisvaltaisella turvallisuusajattelulla ja resilienssiä systemaattisesti kasvattamalla.

**Joukkovaikutusaseiden merkitys ja sääntelyn tarve korostuu.** Perinteisten ABC-joukkotuhoaseiden merkitys omistajavaltioiden strategioissa säilyy ja saattaa jopa korostua. Niiden lisäksi uudenlaiset kemialliset, biologiset ja radiologiset asejärjestelmät ovat mahdollisia ja myös uusien toimijoiden ulottuvilla. Informaatiovaikuttamisen mahdollisuudet kasvavat mahdollisesti disruptiivisilla tavoilla, joita on vaikea ennakoita ja jotka ovat keinoina hyvinkin pienten ryhmien saavutettavissa.

## Loppupohdinta

GST:n kaltaiset projektit toimivat yhtenä osayötteenä kansallisessa strategisessa ennakoinnissa. Yleisille trendeille annetaan kansallisessa jatkoanalyysissä painoarvoja meidän toimintaympäristömme mukaan ja muodostuvista asetelmista tehdään kansallisia johtopäätöksiä. Jo tässä vaiheessa voidaan todeta, että suomalainen yhteiskunta ja Puolustusvoimat sen osana tulee lähivuosikymmeninä olemaan suurien muutospaineiden mutta myös mahdollisuuksien kohteena. **Brittityön keskeisin havainto on se, että muutosten tahti ja epävarmuuksien hallinta saattavat ylittää nykyisten käytäntöjen ja rakenteiden rajat.** Uhkaa uskottavasti vastaavan, karkisuorituskyvyiltään riittävän tehokkaan, lukumäärältään ja rakenteiltaan taistelunkestävän sekä samaan aikaan ylläpidoltaan hallittavan puolustusjärjestelmän ylläpitäminen saattaa olla pienille valtioille jatkossa mahdotonta – ainakaan kansallisilla ratkaisuilla. Sama muutoksen hallinnan ja mahdollisuuksien hyödyntämisen haaste koskee koko suomalaista yhteiskuntaa – mm. digitalisaatio ja tekoälyn kehittäminen ja hyödyntäminen edellyttävät laajaa kansainvälistä yhteistyötä. Juuri näillä ”mahdollisuuksien ydinalueilla” suomalaisen yhteiskunnan ml. Puolustusvoimien tulisi päästä jollakin keinolla mukaan kansainvälisen yhteistyönsisäkehille. Olemme merkittävien strategisten periaatevalintojen edessä – tavalla tai toisella.

*<https://www.gov.uk/government/publications/global-strategic-trends>*

### Kirjoittaja:

Everstiluutnantti Mikko Lappalainen toimi 2017–2018 ensimmäisenä UK MOD DCDC:n sijoitettuna suomalaisena upseerina. Nykyään hän toimii Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen doktriiniosastossa, sekondeerattuna Hybridiosaamiskeskukseen.



# Monikansallinen suorituskykyjen kehittämishjelma kyberpuolustuksen tukena

## Johdanto

Tasavallan presidentti ja valtioneuvoston ulko- ja turvallisuuspoliittinen ministerivaliokunta päättivät 8. maaliskuuta 2011 pidetyssä yhteisistunnossaan käynnistää kansallisen kyberturvallisuusstrategian laatimisen. Vuonna 2013 julkaistun strategian mukaan Puolustusvoimat luo kokonaisvaltaisen kyberpuolustuskyvyn lakisäätöisissä tehtävissään.

Sotilaallinen kyberpuolustuskyky muodostuu tiedustelun, vaikuttamisen ja suojautumisen suorituskyvyistä. Ilmaus on sikäli osuva, että Puolustusvoimat oli jo strategian kirjoittamisen aikaan osallisena Yhdysvaltain johtamassa monikansallisessa suorituskykyjen kehittämishjelmassa. Kehittämishjelman tutkimus-, kokeilu- ja kehittämistehtävien kohteena eivät ole materiaaliset kyvykkyydet vaan korostusti käyttöperiaatteet ja toimintatavat.

Strategian kirjoittamisen aikaan ohjelmasta käytettiin nimitystä Multinational Experiment MNE, ja tuolloin oli käynnissä ohjelman seitsemäs kaksivuotinen toimikausi MNE-7. Ohjelman rakenteita ja käytänteitä on sittemmin päivitetty ja nykyään ohjelmasta käytetäänkin nimeä Multinational Capability Development Campaign – MCDC. Tässä artikkelissa tarkastelemme erityisesti kampanjan eri kampanjajaksojen aikana tehtyä kyberpuolustusta tukevaa tutkimus- ja kehittämistoimintaa.

Kullakin kaksivuotisella kampanjajaksolla on yleisesti ohjautuva pääteema, jonka ympärille muodostetaan useampia tutkimusaiheita (objective, focus area). Vuodesta 2011 lukien yksi näistä aiheista on säännöllisesti liittynyt kyberpuolustukseen. Tutkimusaihe muodostetaan ja vahvistetaan, jos jokin osallistuvista maista suostuu ottamaan sen johdettavakseen ja aiheeseen liittyy muita maita osallistujina. Tyypillisesti tutkimusaihe toteutetaan monikansallisena ryhmätyönä, johon liittyy 2–4 fyysistä tapaamista tai työpajaa vuodessa sekä omia, itsenäisiä tutkimus- ja kirjoitustehtäviä kokousten väliaikoina. Kampanjajakson loppupuolella tuotettuja vaihtoehtoja tai toimintatapamallia tyypillisesti testataan tai koetetaan lopputuotteen laadukkuuden varmistamiseksi; tästä käytetään muun muassa nimityksiä eksperimentti tai rajattu koetoimintatapahtuma (limited objective experiment).

Vaikka osallistuminen itse tuotantovaiheeseen voidaan usein toteuttaa yhden-kahden asiantuntijan toimin, koetoiminta tapahtuman järjestämiseksi ja etenkin lopputuotteen kokeilijoiksi tarvitaan usein lopputuotteen kohderyhmäksi suunnitellun henkilöstön edustajia.

## MNE-7 – Outcome 3 Cyber Domain

Vuosina 2011–2012 toteutetun MNE-7-jakson tarkastelu-kohteena oli monikansallisten liittoumien kyky turvata pääsy ja käytettävyys yhteiskäyttöisiin toimintaympäristöihin; tämän tarkastelun kannalta ensimmäistä kertaa mukana oli myös kybertoimintaympäristö. Tutkittavien käyttö- ja toimintaperiaatteiden kohteina olivat kansainvälinen lainsäädäntö ja kybertoimintaympäristön käytäntö, uhkan ja haavoittuvuuksien arviointi, tilannetietoisuus sekä tapahtumatietojen vaihto.

Puolustusvoimien osallistuminen kampanjajakson kyberhaaraan toteutettiin Pääesikunnan johtamisjärjestelmäosaston ohjauksessa ja Verkostopuolustuksen kehittämiskeskukseen johdossa. Asiantuntijoita sekä työpanostaan kybertutkimusaiheeseen asettivat myös Puolustusministeriö, Puolustusvoimien Johtamisjärjestelmäkeskus sekä Puolustusvoimien silloinen Teknillinen tutkimuslaitos.

Tämän kampanjan kybertutkimusaihe oli tähänastisista kampanjajaksoista laajin, ja Britannian johtamassa tutkimusaiheesta oli viisi alateemaa (objectives), joista Norjan, Ruotsin, Britannian ja Italian ohella Puolustusvoimilla oli osavastuunaan tutkimusaihe kyberteknologiat yhteisen kybertilannetietoisuuden tukena.

Tässä työhaarassa tuotettiin vakioidut toimintatapamallit (Standard Operating Procedures, SOP) kyberoperaatiokeskukselle mukaan luettuna tilannekuvajärjestelyn tekniset ja toiminnalliset perusteet, jotka myös koestettiin Suomessa 6.–8.2.2012 järjestetyssä rajatussa koetoimintatapahtumassa.

## MCDC1314 CICOA (Cyber Implications for Combined Operational Access)

Kampanjajakson 2013–2014 pääteemana oli monikansallinen operatiivinen käytettävyys. Monikansallisen operaation suunnittelu edellyttää myös kybertoimintaympäristön tuntemista. Erityisesti monikansallisissa operaatioissa haasteena on se, että jaetun monikansallisen kybertoimintaympäristön tilanneymmärrys puuttuu eikä kybertoimintaympäristön huomioon ottavia prosesseja ollut tuolloin vielä käytettävissä.

Kampanjan kyberaiheisena tutkimustehtävänä oli Italian johdossa tunnistaa työkalut kybertoimintaympäristön tiedustelemiseksi sekä Norjan johdossa muodostaa ohjeistus kybertoimintojen huomioon ottamiseksi operatiivisessa suunnitteluprosessissa (Naton COPD-prosessi). Kybertutkimustehtävään osallistuivat tällä jaksolla Puolustusministeriö, Pääesikunnan johtamisjärjestelmäosasto, Puolustusvoimien johtamisjärjestelmäkeskus sekä Puolustusvoimien tutkimuslaitos.

Tutkimustehtävän huipentumana voidaan pitää elokuussa 2014 Espanjan johdolla järjestettyä mittavaa ”esikuntaharjoitusta” (92 osallistujaa), jossa kaksi operaatioesikunnan ydintä (joint operational planning group, JOPG) käyttivät laadittua kyberoperaatiosuunnittelun käsikirjaa oman suunnitteluprosessinsa tukena. Harjoituskuvaus pohjautui Euroopan unionin sotilasesikunnan omaan aikaisempaan harjoitukseen, joka Euroopan puolustusviraston, EDAn, tukemana oli sovitettu kyberoperaatiosuunnittelun tarpeita tukevaksi. Esimerkkinä nostettakoon lukijoillemme EU-johtoisen operaation skenaario, jossa sotilaallisen

kriisinhallintaoperaation päätavoite ja tehtävä oli turvata kuvitteellisen kriisikohteen siirtyminen demokraattiseen hallintoon. Tällöin kriisikohteen julkiset tiedotusvälineet, väestötietojärjestelmät sekä sähköinen vaalijärjestelmä muodostuvat operaation komentajalle ja operatiolle keskeisiksi suojattaviksi kohteiksi – eikä tämä toteudu pelkästään kiinteisiin sotilaallisiin keinoin.

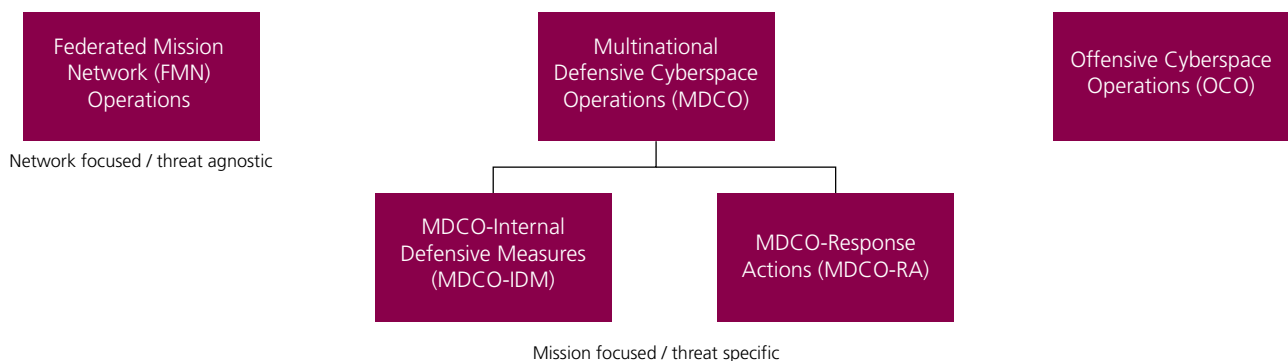
## MCDC1516 MDCO (Multinational Defensive Cyberspace Operations)

Monikansallisissa operaatioissa eri osallistuvilla mailla on hyvinkin erilaiset kansalliset rajoitteet osallistumiselle kyberoperaatioihin. Samalla osallistuvien maiden tekniset kyvykkyydet sekä joukkokokoonpanot ja osallistuvan henkilöstön osaaminen on hyvinkin erilaista. Näiden vuoksi operaatioon sisältyvien puolustuksellisten kyberoperaatioiden suunnittelu, johtaminen ja toimeenpano on hyvinkin haasteellista ja altista virheille.

Kampanjajakson 2015–2016 kyberaiheena oli täydentää ja syventää edellisellä jaksolla laaditun kyberoperaatiosuunnittelun ohjetta. ”Monikansallinen puolustuksellisten kyberoperaatioiden suunnitteluohje” kokoaa, mitä seikkoja operaatiosuunnittelussa tulee ottaa huomioon osana esikunnan suunnitteluprosessia valmiine lomakkeineen ja tehtävä- ja tarkistuslistoineen.

Tutkimustehtävän johti ensimmäistä kertaa Yhdysvallat, ja Puolustusvoimista osallistui tällä kertaa Puolustusvoimien tutkimuslaitos ja Puolustusvoimien johtamisjärjestelmäkeskus.

### Cyberspace Operations



Kuva 1. Monikansallisten puolustuksellisten kyberoperaatioiden suunnitteluohjeessa käytetyt keskeiset käsitteet. (Kuva: Multinational Defensive Cyberspace Operations -ohje)

## MCDC1718 ICOPC (International Cyberspace Operations Planning Curricula)

Kansainväliseen operaatioon osallistuvilta mailta puuttuvat kattavat, vakioidut ja yhteensopivat koulutusjärjestelyt, jotta kyberoperaatiosuunnittelun ripeä käynnistäminen ja tehokas toteuttaminen on mahdollista monikansallisissa operaatioesikunnissa. Kampanjajaksolle 2017–2018 kehittämisen kohteeksi valikoitui kansainvälinen kyberoperaation suunnittelun standardoitu opetusohjelma. Tavoitetilassa käytössä olisivat turvaluokittelemattomat, vakioidut ja yhteensopivat koulutukselliset tavoitteet, moduulit ja kurssit sekä yhteinen ymmärrys keskeisistä oppisisällöistä kyberoperaatiosuunnittelijoiden koulutuksen toteuttamiseksi kansallisesti.

Myös tämän kampanjan johtovastuu on ollut Yhdysvalloilla, mutta mielenkiintoista kylläkin, keskeinen pedagoginen ja opetussuunnitteluun liittyvä osaaminen saatiin sekä Kanadalta että Tanskalta. Suomesta tämän kampanjajakson tähän tutkimusaiheeseen osallistuivat Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen lisäksi Pääesikunnan johtamisjärjestelmäosasto, Maanpuolustuskorkeakoulu sekä Jyväskylän yliopisto. Luonnosteltua opetusohjelmaa testattiin Euroopan puolustusviraston ja Itävallan yhteisesti toimeenpanemassa Cyber Phalax 2018 -koetointitapahtumassa toukokuussa 2018 sekä kansallisesti Maanpuolustuskorkeakoulun toimeenpanemassa kansallisessa kyberoperaatiosuunnitte-



Kuva 2. MCDC1718 ICOPC Critical Review -seminaarin osallistajat 19.9.2018 Jyväskylän yliopistolla.  
(Kuva: Jasmin Suikki / Jyväskylän yliopisto)

lun opetustapahtumassa elokuussa 2018. Opetusohjelman viimeistelemiseksi ja laadukkuuden toteuttamiseksi toteutettiin viimeinen ns. Critical Review -seminaari Jyväskylän yliopistolla syyskuussa 2018.

## Pohdinta

Osallistumalla monikansallisiin suorituskykyjen kehittämiskampanjan tutkimusaiheisiin Puolustusvoimat on saanut edullisin panostuksin laadukkaita ja oikea-aikaisia suorituskykyjen kehittämistä tukevia tuotteita käyttöön. Toisaalta kehitys kyberpuolustussektorilla on viimeisen seitsemän vuoden ajan ollut ripeää. Onkin ilmeistä, että MNE-7-kampanjan aikana laaditut tuotteet ovat osin jo vanhentuneet. Kyberoperaatioiden kansainvälisoikeudellisen analyysikehikon on korvannut Naton kyberpuolustuksen erikoisosaamiskeskuksen CCDCOE:n toimittamat Tallinn Manual -käsikirjat (osat 1 ja 2). Tilannekuvajärjestelyjä saa tänä päivänä hankittua kaupallisesti niin palveluina kuin tuotteinakin. Sen sijaan kyberoperaatiosuunnittelun käsikirja (MCDC1314) ja sitä täydentävä puolustuksellisten kyberoperaatioiden ohjekin (MCDC1516) ovat ajankohtaisia ja käyttökelpoisia. Tätä kirjoitettaessa valmistumassa oleva opetusohjelma (MCDC1718) tukee edellisten viemistä käytäntöön Maanpuolustuskorkeakoulun opetustyön kautta. Näin tutkittu tieto saadaan siirrettyä Puolustusvoimien kokonaisvaltaisen kyberpuolustuskyvyn osaksi.

### Kirjoittaja:

Yleisesikuntakomentaja Topi Tuukkanen toimii tutkimusalaohjohtajana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen informaatiotekniikkaosastossa tietoverkkosodankäynnin tutkimusalalla.



# Sotavarusteiden tutkimisesta tiedon hyödyntämiseen

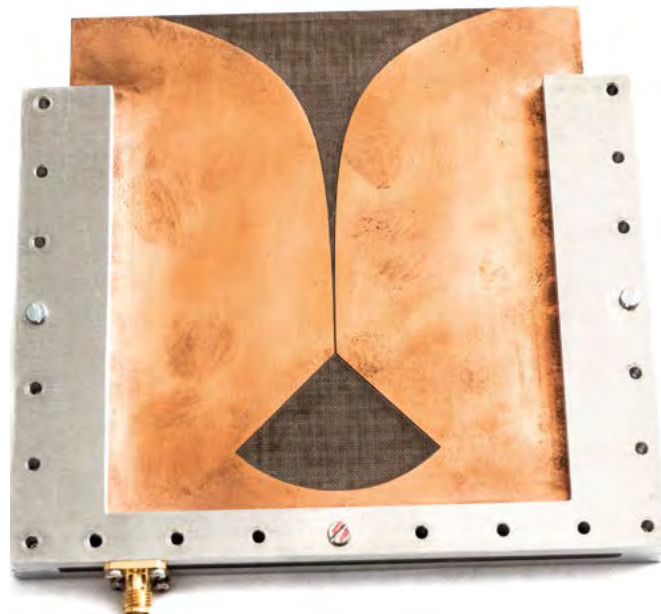
Puolustusvoimien teknillisen tutkimuslaitoksen elektroniikka- ja informaatiotekniikka aloitti toimintansa Riihimäellä heinäkuun alussa 1999. Osaston edeltäjä sähköteknillinen tutkimuslaitos oli toiminut Espoon Kivenlahdessa. Historiallisesti osastossa oli vahva tuotekehitysosaaminen, jota muutoksessa tuli suunnata tutkimuksellisempaan suuntaan. Alkuvuosina tutkimus keskittyi hyvinkin yksityiskohtaisten asioiden tarkasteluun aina elektroniikan komponenttitalolta alkaen. 2000-luvun alussa osastossa suunnattiin myös paljon voimavaroja asioiden tutkimiseen mallintamalla, ja tästä tuli mitausorientoituneeseen tutkimusyhteisöön tarpeellinen ja tutkimuskenttää monipuolistava työkalu.

Tutkimuskentän jäsenyessä osastossa suunnattiin tutkimusresurssia ja osaamisen kehittämistä systemaattiseen sotavarusteiden tutkimiseen ja testaamiseen osaston vahvuusalueilla. Vuosien varrella tutkimusaloja kehitettiin, uusia perustettiin ja välillä taas olemassa olevia yhdistettiin. Vuoden 2014 alussa oli taas suuri muutos, kun Puolustusvoimien tutkimuslaitos perustettiin. Muutoksessa osaston nimestä jäi elektroniikka pois ja osaston nimeksi tuli

lyhyesti informaatiotekniikkaosasto. Kuten jo nimikin antaa ymmärtää, tieto eli informaatio nostettiin tässä vaiheessa keskiöön ja vuosien aikana kertyneelle tiedolle ja osaamiselle tuli entistä laajempaa hyödyntämispotentiaalia.

Tutkimuksellisesti nämä historian käännteet ovat tarkoittaneet kehityspolkua, jossa tutkimuksen kohteet ovat muuttuneet koko ajan laajemmiksi ja toisaalta abstraktion taso on lisääntynyt. Osaamista ja laajaa tietoa onkin pystytty hyödyntämään monipuolisesti asiantuntijaroleissa sekä yhteistyötutkimuksissa muiden osastojen ja Puolustusvoimien muiden joukkoyksiköiden kanssa. Samalla vaatimukset laajasta asioiden ja tiedon hallinnasta ovat lisääntyneet, jotta tieto on ajantasaista ja käytettävissä. Systemaattisesta tiedonhallinnasta on tullut välttämätöntä.

Kuluneiden vuosien aikana osastossa on niin sanotusti otettu monia uusia ja ajankohtaisia ilmiöitä osaamismielessä haltuun. Ilmiöiden ennakoiva tunnistaminen, omaksuminen ja ymmärryksen hyödyntäminen vaatii merkittävää, mieluiten useamman henkilön resurssia. Uusia asiakokonaisuuksia ja tietotarpeita on vuosien varrella ilmaantunut useita, ja



Kuva 1. 2000-luvun alkupuolella osastossa suunniteltu Vivaldi-antenni. (Kuva: Joonas Repo)

muutokset ovat heijastuneet tutkimusten tietosisältöihin ja korostaneet aiemman tiedon merkitystä pohjana uusien ilmiöiden omaksumiselle. Ilmiöiden ymmärtämiseksi on aina tunnistettu tarve ymmärtää ilmiön peruselementit, olivatpa ne sitten komponentteja ja niiden ominaisuuksia ja käyttäytymistä, algoritmeja tai fysikaalisia mekanismeja. Kun nämä asiat on sisäistetty, on mahdollista siirtyä tiedon hyödyntämiseen järjestelmiä tutkittaessa tai laajemmin osana isompaa kokonaisuutta.

2000-luvun alussa osastossa suunnattiin paljon voimavaroja systemaattiseen sotavarusteiden elso-testaukseen monelta näkökannalta tarkasteltuna. Tässä työssä kertynyt osaaminen ja tietopääoma hyödyttävät ja taustoittavat monia uusia tietotarpeita. Työn myötä laajempi ymmärrys puolustuksen kokonaisuudesta ja tiedon hyödynnettävyys eri osa-alueilla ovat lisääntyneet. Tietoa on tuotettu ja jalostettu aina yksityiskohdistaan laajojen järjestelmien toimimisen ymmärtämiseen.

Tutkijan näkökulmasta on tarpeen tuoda esille se näkökulma, että systemaattisen päämäärätietoinen työ tuottaa tuloksia paitsi tarkastelun kohteena olevassa tutkimuksessa, myös osaamisen kehittymisenä seuraavien tietotarpeiden täyttämiseksi ja tiedon hyödyntämiseksi. Sotavarusteita ei voi testata, ellei osata tehdä oikeanlaisia koejärjestelyjä ja ymmärretä aina komponenttasolta asti tuloksia ja syitä, miksi ne ovat juuri havaitunlaisia.

Hyödynnettävää uutta tietoa ja ymmärrystä ei synny ilman tutkimus- ja testaustoimintaa.

Tietoa ei voi täysimääräisesti hyödyntää, ellei tunne tiedon tuottamismekanismeja. Tiedon hyödynnettävyys on riippuvainen tutkimusten dokumentoinnista, ja tämän myötä tieto on saatavilla ja tarvittaessa tiedon tuottajia konsultoimalla laajemmin käytettävissä uusiin kysymyksiin vastaamiseen ja tietotarpeiden täyttämiseen.

Kun tutkitaan perusteita ja luodaan ymmärrystä ilmiöistä, merkittävä osa tutkimusaineistosta ja tutkimustuloksista käsittelee asioita verraten yleisellä tasolla. Tällöin tutkimuksista voidaan laatia myös tieteellisiä julkaisuja, joiden kautta tieto on laajasti saatavilla. Tieteellinen julkaisutoiminta lisää tutkimuksen tunnettavuutta, vaikuttavuutta ja mahdollistaa myös tutkijan ammatillisen osaamisen ylläpidon ja tunnettavuuden laajemmin tutkijayhteisössä. Kuvassa 2 on esimerkkejä vuosien kuluessa informaatiotekniikkaosastolta julkaistuista tutkimuksista.

Lyhyesti tiedon hyödyntäminen edellyttää hyvin dokumentoitua katkeamatonta prosessia aina tiedon peruselementtien tuottamisesta tiedon sisäistettyyn käyttämiseen annetussa asiayhteydessä. Näin säästetään tulevien tietotarpeiden täyttämisessä paljon vaivaa, kun asioita ei tarvitse tehdä monta kertaa.

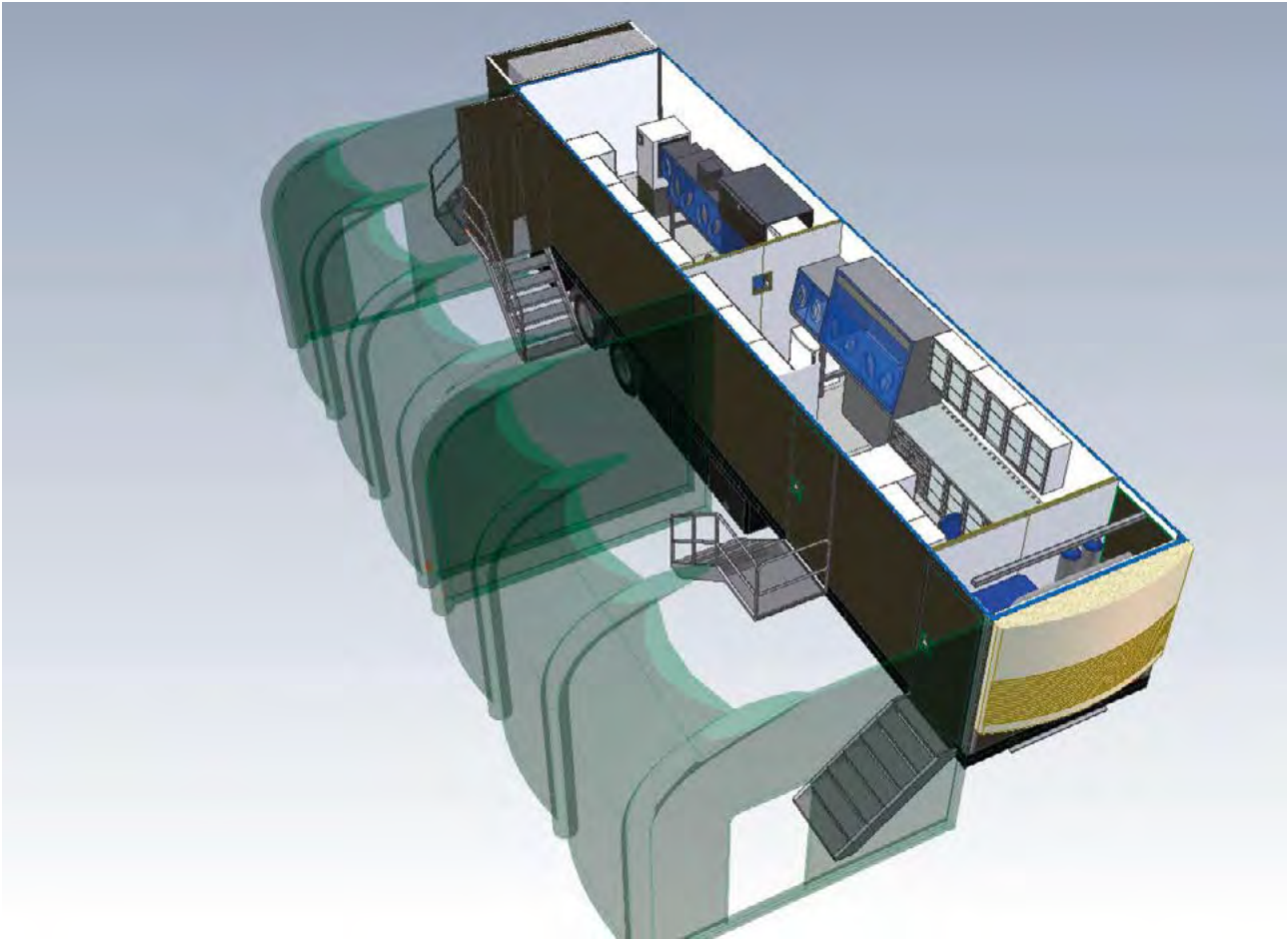


Kuva 2. Esimerkkejä osastossa tuotetuista julkaisuista: PVTJ Julkaisusarja 11 (Lancaster and beyond), 12 (Satelliittipaikannus), ja 23 (4th International Sandis Workshop), PVTUTKL julkaisusarja 8 (Enforcing Role-Based Access) ja 10 (Game Changer). (Kuva: Joonas Repo)

#### Kirjoittaja:

Filosofian tohtori Juhani Hämäläinen toimii johtavana tutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen informaatiotekniikkaosastossa.

# CBRN-kenttälaboratorio – prototyypistä menestystarinaksi



Kuva 1. CBRN-kenttälaboratorion havainnekuva. Oikealla edessä on tekninen tila, jossa ovat NBC-suodattimet ja kaasukeskus. Teknisen tilan jälkeen sijaitsee kemian laboratorio ja sen jälkeen biologian laboratorio. Oikealla viimeisenä on voimakone. Vasemmalla edessä on kemian laboratorion etuteltta, jonne perustetaan säteilylaboratorio, ja vasemmalla takana biologian laboratorion etuteltta, johon perustetaan kenttähygienialaboratorio. (Kuva: M. Vähämaa Oy)

**Hankkeessa luotiin Puolustusvoimien tarpeisiin kenttälaboratorio, jossa tunnistetaan nopeasti ja luotettavasti tavantomaiset kemialliset ja biologiset taisteluaineet, myrkylliset teollisuuskemikaalit ja radioaktiiviset aineet paikan päällä kentällä. Tällä on merkitystä mm. tilannearvion luomiseen, joukkojen suojautumiseen, puhdistamiseen ja lääkinällisiin toimenpiteisiin. Lisäksi kenttälaboratoriojoukkue kykenee toimittamaan oikeustoimikelpoisia näytteitä verifointianalyysia varten.**

Alkususäyksen uudenlaisen CBRN-kenttälaboratorion kehittämiselle antoi puolustusministeri Jan-Erik Enestamin puhe

19.11.2002 Euroopan unionin puolustusministereiden kokouksessa. Puheessaan hän toi esille Suomen halukkuuden osoittaa EU:n käyttöön erityisosaamista suojelun alalta, kun sitä erikseen pyydetään. Puolen vuoden kuluttua puheesta Suomi tarjosi EU:n käyttöön Suojeluosastoa, jonka ytimen muodostaisi rakennettava CB-kenttälaboratorio.

Pääesikunnan Maavoimaosaston ”suunnitteluperusteena oli, että ei luoda määrällistä lisävoimaa, vaan sellaista erikoiskykyä, josta on puutetta”. Taustalla vaikutti myös samanaikaisesti kotimaan puolustuksen tarpeisiin vastaava ”erikoissuojelutiedustelupartion” kehitystyö Keuruun Pioneerij- ja suojelukoululla.



## Kenttälaboratorio kehitty sotavarusteeksi

Uuden sukupolven CBRN-kenttälaboratorion kehittämisen lähtökohtana oli laboratorion käyttö tavanomaisten CBRN-aineiden ja myrkyllisten teollisuuskemikaalien oikeudellisesti pätevään näytteiden ottamiseen ja kentällä tapahtuvaan varmennettuun tunnistamiseen. Laboratorion suunnittelussa huomioitiin Naton standardit, sillä laboratorion oli kyettävä toimimaan osana monikansallista joukkoa kriisinhallintatehtävissä kotimaan tehtävien lisäksi. Uutta ajattelutapaa edusti se, että myös joukon suorituskyky rakennettiin tukemaan CBRN-kenttälaboratorion käyttöä.

Tutkimuslaitoksella oli kokonaisvastuu kehittamisestä, mutta merkittävän panoksen antoivat myös Sotilaslääketieteen keskus, silloiset Pioneer- ja suojelukoulu sekä Materiaalilaitoksen suoja- ja liikkuvuusosasto. Viranomaisyhteistyötahoista kehittämisessä mukana olivat Kemiällisen aseiden kielto sopimuksen instituutti, silloinen Kansanterveyslaitos (nykyinen THL), Säteilysuojelukeskus ja Työterveyslaitos. Lisäksi mukana oli useita alan yrityksiä.

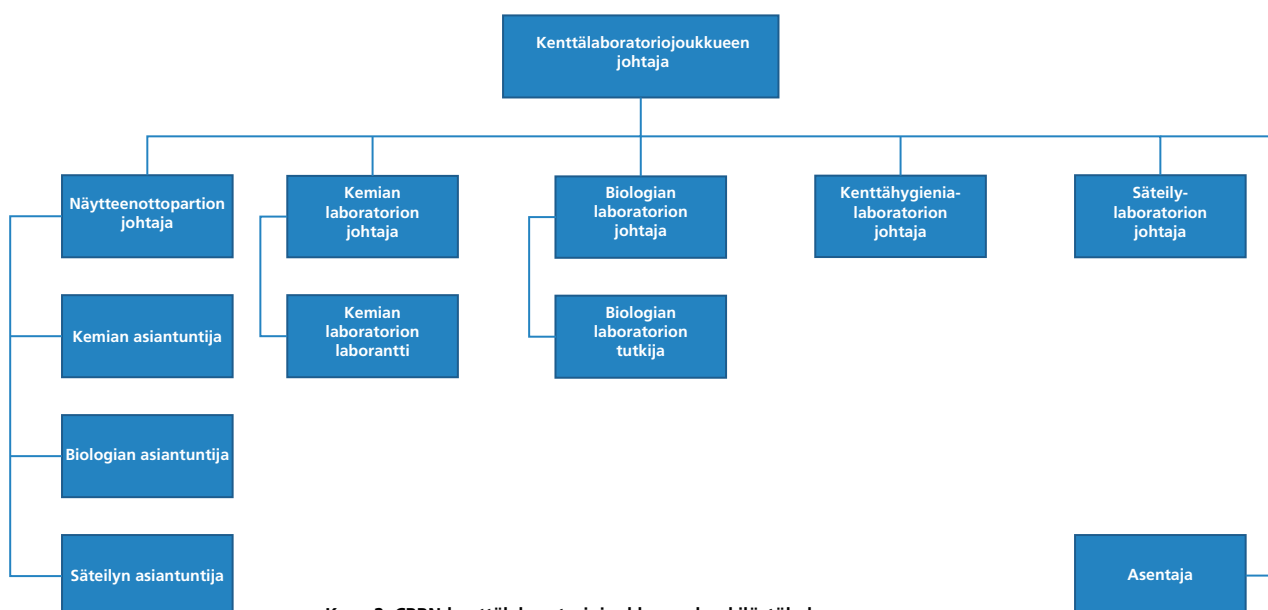
CB-kenttälaboratorion kehittäminen sisältyi Maavoimien Suojelun Proto-hankkeeseen (SLUPROTO 2004–2006), joka oli osa Maavoimien joukkojen kehittäminen hanketta. Hankkeen tarkoituksena oli luoda valmiudet vanhentuneiden suojeluyksiköiden tiedustelu-, valvonta-, suoje- ja puhdistusjärjestelmien korvaamiseksi.

CBRN-kenttälaboratorion kehitystyö jakaantui kahteen vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa vuosina 2003–2007 suunniteltiin ja rakennettiin kemian ja biologian (CB)-kenttälaboratoriot, joissa oli turvalliset näytteenkäsittelytilat ja nykyaikaiset laboratoriolaitteet. Laboratorioiden edustat varustettiin etu-

toilla. Ne toimivat varastotilana tukikohdassa, ja ne pystyttiin nostamaan puoliperävaunun katolle kuljetuksen ajaksi. Laboratoriot oli varustettu voimakoneella, ja ne olivat siten itsenäisiä sähkönsaannin suhteen. Ne olivat NBC-suojatut, mutta niitä ei suojattu ballistisesti, sillä ajatuksena oli sijoittaa laboratorio suojatason 1 tiloihin. Lisäksi laadittiin toiminnallinen ohjeistus, jossa huomioitiin näytteiden hallintaketjun katkeamattomuus ja näytteiden jäljitettävyys sekä koulutettiin henkilöstöä (yksi tehtävää kohden). Oikeustoimikelpoinen CBRN-näytteenotto ja siihen koulutettu näytteenottopartio olivat oleellinen osa laboratoriojoukkuetta. Joukkueen vahvuus oli kymmenen, ja siihen sisältyi B- ja C-laboratoriohenkilöstöä (2 + 2), näytteenottopartio (1 + 3), tekniikan huolloista vastaava asentaja ja joukkueen johtaja.

Toisessa vaiheessa kehittäminen koostui Kansainvälisen suoje- luosaston evaluointien ja toiminnan aikana havaittujen puutteiden täydentämisestä, ja kenttälaboratoriota täydennettiin kenttähygieni- ja säteilylaboratorioilla. Nämä perustettiin kemian ja biologian laboratorioiden etutelttoihin (kollektiivisuoje- latteltoja, kuva 1).

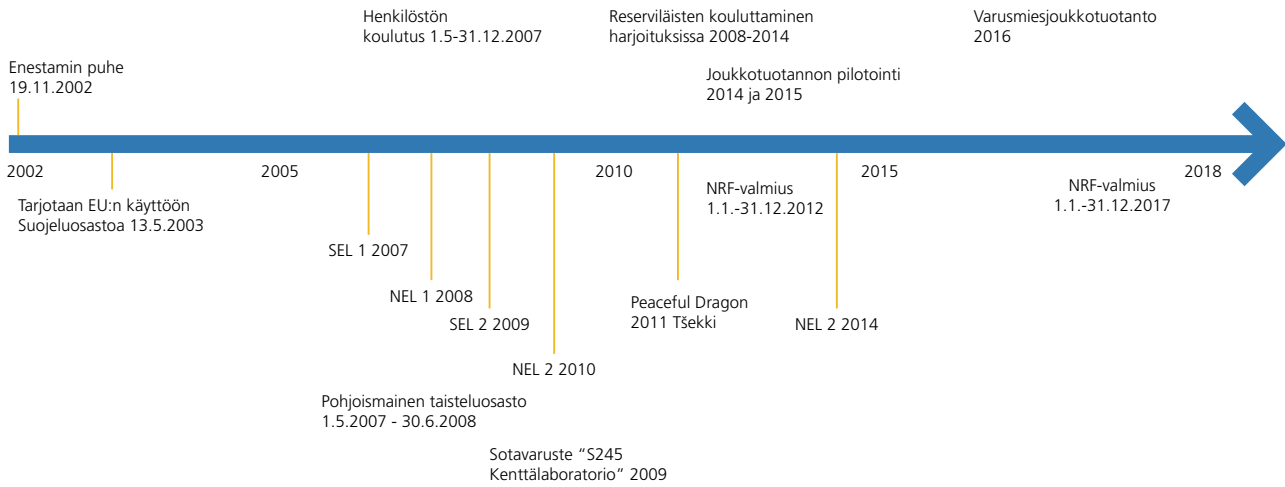
Laboratorion suorituskyky laajeni erityisesti juomaveden ja elintarvikkeiden käyttökelpoisuuteen ja ympäristöhygieniaan liittyvillä mittauskyvyillä. Lisäksi radioaktiivisten aineiden tunnistamista vahvistettiin ja laboratorion sekanäytteiden ja uusien uhka-aineiden analyysivalmiutta parannettiin. Laboratorioryh- män henkilöstökokoonpano määritettiin uudelleen vastaamaan muuttuneita suorituskykyvaatimuksia. Myös henkilöstön tehtävänkuvaukset ja koulutussuunnitelmat päivitettiin vastaa- maan muuttuneita vaatimuksia. Tällöin laboratorioryhmän vahvuudeksi tuli kuusi henkilöä, ilman joukkueenjohtajaa ja tekniikan huolloista vastaavaa asentajaa (kuva 2).



Kuva 2. CBRN-kenttälaboratoriojoukkueen henkilöstökokoonpano. Joukkueen vahvuus on 12 henkilöä.

CB-kenttälaboratorion suunnittelu, rakentaminen ja toiminnan ohjeistus 2003 - 2007

Päivittäminen CBRN-kenttälaboratorioksi, henkilöstökokoonpanon päivitys, varasto-, huolto- ja ilmastointikontit 2008 - 2012



Kuva 4. Aikajana CBRN-kenttälaboratorion kehittämisestä. SEL 1 (Self Evaluation Level 1), NEL 1 (Nato Evaluation Level 1), SEL 2 ja NEL 2 muodostavat Naton neliportaisen valmiuden ja yhteensopivuuden arviointiprosessin. (Kuva: Paula Maatela)

Lisäksi materiaalin säilyttämiseen ja omavaraisuuden pidentämiseen suunniteltiin ja hankittiin huolto- ja varastokontit sekä etutelttojen (kenttähygieni- ja säteilylaboratorioiden) ilmastointiin ja NBC-suojaimiseen ilmastointikontti. Kenttälaboratorio varustettiin myös maastouttamisjärjestelmällä. Tämän katsottiin pienentävän merkittävästi kenttälaboratorion saamaa lämpökuormaa erityisesti kriisinhallintatehtävissä.

Kenttälaboratoriojärjestelmän rakentamisen kokonaisbudjetti oli noin 3 miljoonaa euroa, ja sen kehittämiseen oli tutkimuslaitos käyttänyt noin 11 henkilötyövuotta. CB-kenttälaboratorio hyväksyttiin sotavarusteeksi tammikuussa 2009 sotavarustekoodilla "S245 Kenttälaboratorio" ja puolustus- ja turvallisuusstrategian mukaisesti sen teollisuusoikeudet luovutettiin vuoden 2009 aikana yritykselle.

## Henkilöstön koulutus

Ensimmäisen kerran kenttälaboratoriojoukkueen tehtäviin koulutettiin koko henkilöstö Pohjoismaisen taisteluosaston rakentamisen yhteydessä vuonna 2007 kahdeksan kuukauden mittaisella koulutuksella ja toisen kerran varusmiesjoukkotuotantona vuonna 2016. Peruskoulutusvaatimuksena molemmilla koulutuserroilla oli soveltuva luonnontieteellinen pohjakoulutus. Lisäksi luonnontieteellisen peruskoulutuksen omaavia reserviläisiä on harjaannutettu tehtäviin eri harjoitusten yhteydessä ja kenttälaboratoriotoiminnan koulutusta on pilotoitu varusmiehille pienimuotoisesti vuosina 2014 ja 2015.

## Todennettua suorituskykyä

Vuosina 2007–2014 testattiin kenttälaboratorion operatiivinen käytettävyys ja kansainvälinen yhteensopivuus EU:n taisteluosastossa ja viidessä Nato-evaluoinnissa. Kenttälaboratorio osana Suojelun erikoisosastoa oli ensimmäinen Maavoimien joukko, joka läpäisi NEL 2 -arviointin (vuoden 2010 Nato-evaluointi, CREVAL eli Combat Readiness Evaluation). Lisäksi

sen lento- ja merikuljetuskelpoisuus tuli todennettua Pohjoismaisen taisteluosaston aikana Ruotsissa pidetyissä harjoituksissa ja Tšekin tasavallassa pidetyssä Peaceful Dragon -harjoituksessa vuonna 2011 (kuva 3). Kenttälaboratorion laboratorioanalytiikkaa on evaluoitu menestyksekkäästi myös kansainvälisissä laboratorioanalytiikan suorituskykytestauksissa.

## Valmiusjaksot

Kenttälaboratorio kuului Kansainväliseen suojeluosastoon ja oli Pohjoismaisen taisteluosaston EUBG-valmiudessa 1.1–30.6.2008. NRF-valmiudessa kenttälaboratorio oli vuosina 2012 ja 2017 osana Suojelun erikoisosastoa. Vuonna 2012 oli ensimmäinen kerta, kun Puolustusvoimien joukko osallistui Naton nopean toiminnan joukkojen reservijoukkopooliin.

## Tulevaisuus näyttää valoisalta

Uusien CBRN-kenttälaboratorioiden suunnittelu on käynnistynyt, ja laboratoriot toteutetaan vuosina 2023–2025. 2020-luvun alkupuolelle on odotettavissa myös kenttälaboratorion henkilöstön joukkotuotanto varusmieskoulutuksena, NRF-valmiusvuoro ja mahdollinen kansainvälisen kriisinhallinnan tehtäviin osallistuminen.

Projektin onnistumiselle oli ensisijaisen tärkeää tutkimuslaitoksen henkilöstön ammattitaito, innostuneisuus ja vahva sitoutuneisuus asiaan sekä onnistunut yhteistyö!

### Kirjoittaja:

Filosofian tohtori Paula Maatela toimii erikoistutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen räjähd- ja suojelutekniikkaosastossa CBRN-teknologioiden tutkimusalalla.

# 3D-tulostus osaksi huoltovarmuutta



Kuva 1. Metallien 3D-tulostuslaitteisto.  
(Kuva: Mervi Hokkanen)

**Materiaalia lisäävässä valmistuksessa (Additive Manufacturing, AM) eli 3D-tulostuksessa tuotetaan kappaleita 3D-mallitiedon pohjalta materiaaleja yhteen liittämällä, tyypillisesti kerros kerrokselta -periaatteella, toisin kuin perinteisissä materiaalia poistavissa ja muovaavissa menetelmissä. Alkujaan 3D-tulostusta käytettiin pääosin prototyyppien valmistukseen, mutta nykyisin 3D-tulostuksella voidaan tuottaa suorituskykyisiä kappaleita, joten menetelmä soveltuu erittäin hyvin sekä yksittäisten kappaleiden että piensarjojen valmistamiseen. Kun varaosat digitalisoidaan, voidaan sekä itse varaosat (3D-mallit) että niihin liittyvä valmistustieto säilyttää ja siirtää digitaalisessa muodossa. Tällöin varaosan 3D-tulostus voidaan toteuttaa nopeasti, tarpeen mukaan ja lähellä käyttökohdetta.**

3D-tulostuksen sanotaan olevan yksi avainteknologioista eurooppalaisen teollisuuden kilpailukyvyä parantamisessa. Suo-

nessa 3D-tulostuslaitteikanta ja -teknologian käyttö erilaisten osien valmistustekniikkana on kasvussa. Myös alan koulutus ja tutkimus on lisääntynyt voimakkaasti. Teknologian kehittymisen ja yleistymisen myötä myös Puolustusvoimissa on herännyt kiinnostus 3D-tulostuksen soveltuvuudesta mm. varaosien valmistukseen. Puolustusvoimien tutkimuslaitoksessa aloitettiin syksyllä 2016 projekti, jossa tutkittiin materiaalia lisäävää valmistusta ja sen vaikutuksia puolustuslogistiikkaan. Metallien 3D-tulostuksen katsotaan voivan tarjota aivan uuden näkökulman Puolustusvoimien varaosatoimitusten huoltovarmuuden turvaamiseksi erityisesti poikkeusoloissa.

Tämän tutkimuksen päämääränä oli selvittää nykyisten 3D-tulostustekniikoiden soveltuvuutta kriisiajan varaosien huoltovarmuustuotantoon sekä tuottaa arvio teknologian tämänhetkisestä suorituskyvystä, sen kehittymisestä tulevaisuudessa ja siitä, millaista teollisuutta (sovellusalueet, raaka-aineet) ja investointeja alalla tulee olemaan. Tutkimuksessa



syntyy myös näkemys tulostusprosessin osa-alueista, kuten kappaleiden valmistettavuudesta, mallinnuksen vaatimuksista ja toimimisesta tulostusyriytysten kanssa. Tutkimuksessa keskityttiin metallikappaleiden valmistamiseen jauhepetisulatusmenetelmällä. Suomessa olevat kaupalliset metallien 3D-tulostuslaitteet ovat juuri jauhepetisulatuslaitteita.

Maa- ja merivoimilta saatujen ehdotusten pohjalta tutkimuksiin valittiin kuusi metallista alkuperäisvaraosaa mallinnettavaksi ja 3D-tulostettavaksi. Valintaperusteina oli varaosan materiaali, koko ja muoto. Osien valinnassa ei huomioitu osan vaurioherkkyyttä, kriittisyyttä tai sitä, onko osan valmistaminen 3D-tulostamalla taloudellisesti tai teknologisesti kannattavaa. Varaosien lisäksi tulostettiin koesauvoja lujuus- ja rakennetutkimuksiin. Laboratoriotutkimuksissa tutkittiin tulostettujen kappaleiden lisäksi varaosien valmistuksessa käytettyjä raaka-aineita. Muutamalle varaosalle tehtiin myös kenttätestaus asentamalla ne käyttökohteeseensa ja seuraamalla osien kuntoa kuuden kuukauden ajan. Kenttätettiin valittujen osien vaatimuksena oli, että hajotessaan ne eivät saaneet aiheuttaa henkilövahinkoja eivätkä osan menettämistä suurempia taloudellisia tappioita.

Alkuperäisvaraosien mallinnus tehtiin 3D-skannaamalla (reverse engineering), jonka jälkeen mallit viimeisteltiin

3D-suunnitteluohjelmistolla. Tutkimuksessa havaittiin, että skannatun mallin mittojen huolellinen tarkastaminen alkuperäisosaan vertaamalla on kriittinen osa prosessia, sillä mallin mittavirhettä on mahdotonta havaita valmistuksen seuraavissa vaiheissa. Pahimmassa tapauksessa mittavirhe voi johtaa osan sopimattomuuteen käyttökohteessa. Mittapiirustukset ja työstövarat tulee huomioida osana mallinnusta ja mallien dokumentointia.

Varaosien valmistuksessa käytetyt metallijauheet vastasivat koostumukseltaan ja rakenteeltaan raaka-ainevalmistajien antamia sertifioituja arvoja. Myös raaka-aineista valmistettujen koesauvojen koostumukset olivat näiden sertifikaattien mukaisia. Koesauvoista mitattiin 3D-tulostettujen metalliseosten lujuusarvot sekä tutkittiin niiden mikrorakenteita. Mitatut lujuusarvot vastasivat kirjallisuuden vertailutietoja. Materiaaleissa oli huokosia, osassa runsaasti. Mikrorakenteet olivat hienojakoisia, ja niillä on mahdollista saavuttaa muokattuja seoksia vastaavia mekaanisia ominaisuuksia.

3D-tulostetuille kappaleille tehty kenttätestaus oikeassa käyttöympäristössä oli lyhyt ja kappaleisiin kohdistuneet rasitukset melko pieniä, mutta testi osoitti, että 3D-tulostamalla voidaan tuottaa toimivia ja kestäviä varaosia. Sujuvan asennuksen kannalta havaittiin mittapiirustusten, dokumentaati-



Kuva 2. 3D-tulostetut kappaleet valmiina irrotettavaksi tulostusalustalta. (Kuva: Mervi Hokkanen)



Kuva 3. 3D-tulostettuja varaosia.  
(Kuva: Mervi Hokkanen)

on ja jatkuvan laadunvarmistuksen välttämättömyys, etenkin jos valmistusprosessissa on useita toimijoita.

Tutkimuksessa tulostettujen varaosien ja koesauvojen avulla saatiin hyvä kuva jauhepeticulatustekniikan mahdollisuuksista ja haasteista. 3D-tulostus antaa enemmän vapauksia osien suunnitteluun ja muotoiluun kuin perinteiset valmistusmenetelmät, joten 3D-tulostamalla osista voidaan esimerkiksi tehdä kevyempiä tai niihin voidaan luoda uusia toiminnallisuksia sisäisten rakenteiden avulla. Jauhepeticulatustekniikan kaupallinen raaka-ainevalikoima on vielä tällä hetkellä melko suppea. Lisäksi valmistusprosessissa on useita vaiheita ja säädettäviä parametreja, jotka tulee hallita hyvin, jotta saadaan laadukkaita kappaleita toistettavasti.

Tutkimus selkeytti kuvaa tulostusteknologian tilasta sekä Suomessa että ulkomailla. Muualla maailmalla ollaan pidemmällä 3D-tulostuksen käytössä lopputuotteiden valmistustekniikana. Meillä alan vahvin osaaminen on tällä hetkellä yliopistoissa ja tutkimuslaitoksissa. Lähivuosina metallien 3D-tulostuksen osuutta lopputuotteiden valmistusmenetelmänä perinteisten tuotantomenetelmien rinnalla myös Suomessa kasvattavat kotimaisten kaupallisten yritysten lisääntyminen ja niiden metallitulostuskokemuksen kasvaminen sekä alan koulutus ja tutkimus.

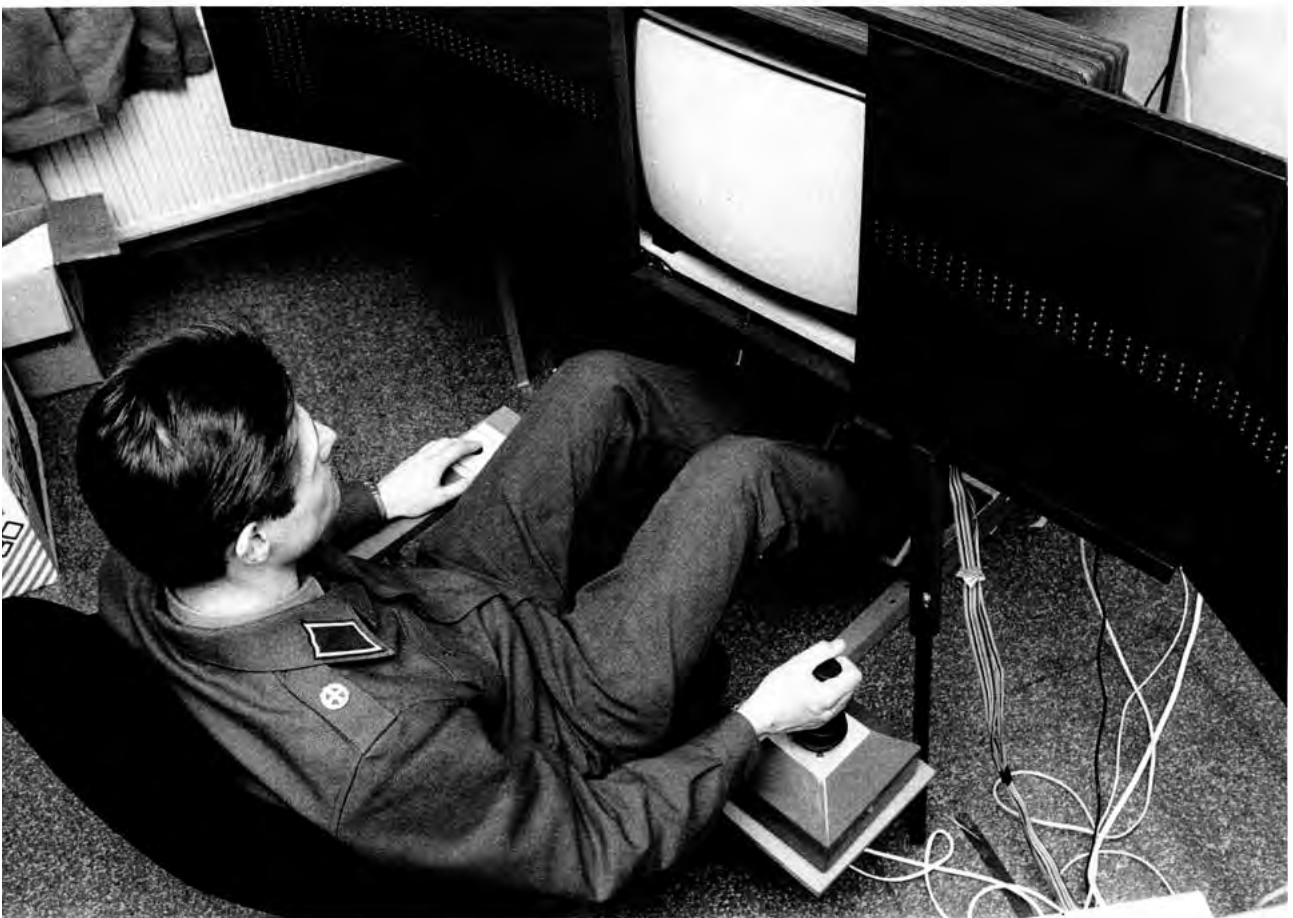
3D-tulostus ja varaosien digitalisointi tuovat uusia mahdollisuuksia kehittää ja parantaa varaosien saatavuutta kriisiaikana. Varaosia voidaan helposti räätälöidä tarpeiden mukaan paremmiksi. 3D-tulostamalla voidaan valmistaa vaikka tilapäisvaraosa, joka kestää kriittisen hetken yli, kunnes saadaan varsinainen varaosa kohteeseen. Aina ei tarvitse valmistaa kokonaan uutta varaosaa, vaan voidaan korvata vain vaurioitunut tai kulunut kohta osasta 3D-tulostamalla. Varaosien valmistus saadaan lähelle asiakkaita (operoivia joukkoja) liikutettavilla 3D-tulostuskonteilla tai perustamalla 3D-tulostusyksikkö esimerkiksi laivaan.

Tutkimus toimi hyvänä perustana tammikuussa 2018 alkaneelle 3D-tulostusteknologiat logistiikassa -tutkimukselle, jossa tavoitteena on syvemmin selvittää Puolustusvoimien logistiikkajärjestelmän mahdollisuuksia hyödyntää 3D-tulostusta kenttähuollon tukena. Tutkimuksella kartoitetaan 3D-tulostuksen merkitystä ja mahdollisuuksia kriisiajan varaosatuotannossa, vauriokorjauksessa, lääkintähuollossa sekä energettisten materiaalien tuotannossa.

#### Kirjoittaja:

Insinööri (AMK) Mervi Hokkanen toimii laboratorioinsinöörinä Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen räjähd- ja suojelutekniikkaosaston keskuslaboratoriossa.

# Psykologisen soveltuvuuden arvioinnin historiaa Puolustusvoimissa



Kuva 1. MCAT (Multicoordination and Attention Test); otettu käyttöön vuonna 1985. (Kuva: Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen kuva-arkisto)

## Alkuvaiheet

Katajanokan upseerikerhon psykologinen harrastuspiiri laati vuonna 1946 Puolustusvoimien johdolle esityksen psykologian sovellutusten järjestämisestä armeijassa. Esitys vaikutti siihen, että sotilaspsykologiseen tutkimustyöhön pääesikunnan koulutusosaston valistustoimistoon kiinnitettiin vuonna 1947 ensimmäinen sotilaspsykologi. 1950-luvulla pääesikunnan koulutusosastossa työskenteli jo kolme psykologia. Heidän päätehtäviään olivat soveltuvuusarvioinnin kehittämisen ja toteuttamisen ohessa psykologian opetustyö mm. johtamis- ja kouluttamistaidossa. Psykologien apuna toimi varusmiespalvelustaan upseerikokelaina tai ryhmänjohtajina suorittavia psykologeja.

1950-luvulla kehitettiin ensimmäinen **peruskoe**, jonka avulla arvioitiin varusmiesten kehitys- ja koulutuskelpoisuutta. Testin suunnittelu alkoi vuonna 1951, ja monien kokeilujen ja kehittelyjen jälkeen se otettiin käyttöön vuoden 1955 alusta lähtien. Joukko-osastot olivat peruskokeeseen tyytyväisiä mutta toivoivat, että koe suoritettaisiin jo kutsunnoissa varusmiesaineksen jaottelemiseksi tarkoituksenmukaisella tavalla ennen palvelukseen astumista.

Vuosikymmenen loppuun tultaessa soveltuvuustutkimusten pääpaino kohdistui erityisesti tehtäviin, jotka sisälsivät suurehkoja inhimillisiä tai aineellisia riskejä koulutuksen, onnettomuuksien tai kalustovaurioiden muodossa. Testejä käytettiin ilmavoimien ohjaajaoppilaiden ja monien teknisten



tehtävien valinnoissa, esimerkiksi teknillisen huoltohenkilöstön, lentokone-, sähkö-, tutka- ja viestiapumekaanikkojen, radiosähköttäjien, tutka- ja kaikumittaajien valinnoissa. Soveltuvuusarviointeja käytettiin myös merivoimien ja rannikkotyökistön upseerivalinnoissa sekä YK-komppanian miehistöjen valinnoissa.

Alkuvaiheessa soveltuvuusarvioinnit keskittyivät kognitiivisten valmiuksien testaamiseen. Persoonallisuustestit otettiin käyttöön 1960-luvun lopulla. Esimerkiksi ohjaajavalinnoissa pääpaino asetettiin aluksi lentokoulutuskelpoisuuteen. Vuoden 1969 jälkeen myös johtajaominaisuudet tulivat niissä tärkeiksi valinnan perusteiksi.

### Sotilaspsykologian tutkimuslaitos suunnitelmissa

Vuonna 1963 valtioneuvoston nimittämä henkisen maanpuolustuksen komitea esitti perustettavaksi pääesikunnan yhteyteen Sotilaspsykologian tutkimuslaitoksen, jossa tehtäisiin alan tutkimustyötä ja sovellettaisiin sitä käytäntöön. Minimivahvuudeksi komitea esitti 16:ta henkilöä, joista seitsemän olisi käyttäytymistieteilijöitä. Puolustusneuvosto tekikin vuonna 1964 yksimielisen periaatepäätöksen Sotilaspsykologian tutkimuslaitoksen perustamisesta.

Laitos ei kuitenkaan toteutunut budjettivaikkeuksien vuoksi. Päinvastoin, vuonna 1964 Puolustusvoimissa työskenteli vain yksi psykologi ja Pääesikunnan koulutustoimisto harkitsi koko sotilaspsykologisen työn lopettamista, koska jäljellä oli vain ilmavoimien ohjaajien psykologiset soveltuvuustutkimukset ja kaikki muu työ oli lähes täysin pysähdyksissä.

### Sotilaspsykologian elpyminen

Toiminnan elpymiseen vaikutti olennaisesti entinen upseeri ja psykologi **Aimo Huhtala**. Hän oli eronnut vuonna 1947 upseerin virasta opiskellakseen psykologiaa, joka oli alkanut kiinnostaa häntä sodan aikana tarkkaillaan sotilaiden käyttäytymistä psyykkisessä painetilanteessa. Huhtala palkattiin vuonna 1964 johtamaan sotilaspsykologista ryhmää, ja tätä työtä hän tekikin seuraavat 14 vuotta. Huhtala kehitti toimintaa voimakkaasti ja sai myös hankittua lisää virkoja. 1960-luvun lopulla ryhmässä työskenteli kahdeksan henkilöä, joista neljä oli psykologeja.

Soveltuvuustutkimuksia tehtiin jälleen samoille ryhmille kuin aikaisemmin, erityisesti teknisesti vaativaan varusmieskoulutukseen hakijoille. Erikoisjoukkovalintojen soveltuvuusarvioinnit aloitettiin vuonna 1968 laskuvarjojääkärikouluun hakijoille ja vuonna 1972 sukeltajakoulutukseen hakijoille. Kantahenkilökunnan testaus alkoi v. 1967 aliupseeri- ja 1968 kadettikoulun osalta.

Soveltuvuusarviointeja kehitettiin mm. laatimalla eri aselajien erikoishenkilöstön valintaa varten uusia lahjakkuustestejä.

Kaikille testeille tehtiin luotettavuus- ja ennustavuustutkimukset. 1960- ja -70-luvun vaihteessa testikehittelyn painopiste siirtyi persoonallisuustesteihin.

### Sotilaspsykologian toimisto

Sotilaspsykologian työryhmän nimi muutettiin 1.3.1973 sotilaspsykologian toimistoksi. Korkeimmillaan sotilaspsykologian toimistossa työskenteli toimistopäällikön lisäksi seitsemän psykologia. Yksi näistä oli **Juhani Sinivuo**, joka nimitettiin Huhtalan seuraajaksi v. 1979. Siitä eteenpäin Sinivuo johti sotilaspsykologista toimintaa Puolustusvoimissa 25 vuotta.

### Tutkimustoimintaa, testauksia ja hallittua kaaosta 1970- ja -80-luvuilla

Soveltuvuustutkimusta arvostettiin, mikä näkyi toiminnan laajentumisena. Samalla kasvoi tieteellisen tutkimuksen tarve. Vuosina 1973–82 tutkimuslustoista julkaistiin kaikkiaan 35 kpl. Tutkimuksien aiheita olivat mm. lentoturvallisuus, stressi, sotilaan ja joukon taistelukäyttäytyminen ja psyykinen huolto, ryhmän vuorovaikutussuhteet ja yksikön päällikön ongelmat. Lisäksi tehtiin testauksiin liittyviä tehtäväänalyysia, seuranta- ja ennustavuustutkimuksia.

Vuosikymmenen lopulla soveltuvuustutkimuksia oli kuitenkin niin paljon, ettei tieteellisille tutkimuksille jäänyt enää aikaa. Testattujen henkilöiden määrä oli kasvanut noin 3 000:sta 4 500:aan ja kohderyhmien 14:stä 22:een. Se johti tilanteeseen, jota kutsuttiin ryhmässä "hallituksi kaaokseksi". Suhteessa resursseihin soveltuvuustutkimustoiminta oli ylimitoitettu. Testauksia haluttiin silti lisätä entisestään.

1980-luvun puolivälissä tilanne muodostui kestävämmäksi. Palvelujen tason säilyttämiseksi ja kehittämistyön jatkamiseksi tiettyjen erikoisryhmien soveltuvuustutkimukset lopetettiin eikä uusia soveltuvuustutkimustehtäviä otettu enää vastaan. Lisäksi psykologien tekemää työtä ulkoistettiin joukko-osastoihin – kun aiemmin erikoisvalintojen testauksista ja haastatteluista olivat vastanneet psykologit, nyt ne siirrettiin joukko-osastojen hoidettaviksi psykologien antamien ohjeiden mukaan.

### Maksullinen palvelutoiminta

Puolustusvoimien ulkopuoliset testaukset aloitettiin 1970-luvulla. Testaukset keskittyivät ilmailualalle, jossa sotilaspsykologeilla oli asiantuntemusta ja käytössään edistynyt välineistö. Testaukset alkoivat lennonjohtajien testauksilla ja laajenivat lennonopettajiin 1980-luvulla ja myöhemmin Finnairin ja Suomen ilmailuopiston lentäjiin. Maksullisella palvelutoiminnalla rahoitettiin kehittämistoimintaa ja laitehankintoja.





Kuva 2. Testaustilanne vuonna 1958.  
(Kuva: Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen kuva-arkisto)

## Testaus kutsunnoissa

Syksyllä 1970 aloitettiin uuden testin kokeilu, jolla haluttiin selvittää, onko mahdollista kutsuntavaiheessa ottaa yhdeksi jaotteluperusteeksi joitakin psyykkisiä piirteitä ja onko sotilastehtävät ryhmiteltävissä näiden piirteiden mukaan. Kokeilun perusteella joukkotestauksen toteuttamisen kutsunnoissa todettiin olevan mahdollista. Testauksen tuloksia ei voitu kuitenkaan käyttää hyödyksi, koska eri koulutushaaroille määritetyt vaatimukset ja niiden mukana testitulosten luokitus puuttuivat.

Paljon myöhemmin vuosina 1996–1998 peruskoe 2 tehtiin kutsunnoissa. Tuloksia ei kuitenkaan saatu käyttöön riittävän nopeasti sijoittelua varten, kuten oli tarkoitus. Lisäksi testauksen järjestelyissä ja tietojen siirtämisessä sotilaspsykologian toimistoon oli ongelmia. Niinpä testaus siirrettiin takaisin joukko-osastoihin peruskoulutuskaudella tehtäväksi.

## Peruskokeiden uudistaminen vuosina 1981–82

1950-luvulla kehitetyn peruskoe 1:n uusi versio otettiin käyttöön vuonna 1981. Testin kehittäminen kesti noin kuusi vuotta. Helmikuussa 1982 otettiin käyttöön täysin uusi paineensietoa ja johtajaominaisuuksia mittaava peruskoe 2. Ennen käyttöönottoa johtajaominaisuuden testiä oli kehitelty noin seitsemän vuotta. Kummankin peruskokeen kehittämisen kestoon vaikuttivat mm. useat ennustavuustutkimukset, jotka kestävät kauan seurantatiedon saamisen viiveen vuoksi.

## Ensimmäinen tietokoneavusteinen testi ja testausjärjestelmä

Vuonna 1985 kehitettiin ensimmäinen mikrotietokoneavusteinen testi, jolla mitattiin ohjaajien jäsenien koordinaatiota ja havainnon laaja-alaisuutta. Seuraavaksi vuonna 1988 otettiin käyttöön ensimmäinen Puolustusvoimien mikrotietokoneavusteinen testausjärjestelmä. Järjestelmän runkona toimi 16 Nokian MikroMikka. Järjestelmä osoittautui onnistuneeksi, sillä se nopeutti ja helpotti monin tavoin henkilöstön työtä.

## Soveltuvuustutkimuksen nykytilanne Puolustusvoimissa

Sotilaspsykologian toimiston perintö näkyy nykyisessä soveltuvuuden arviointityössä mm. työn organisoinnin ja testattavien kohderyhmien arvioinnissa. Myös historiassa esillä olleet kehittämisteemat ovat nykyisinkin ajankohtaisia.

Soveltuvuusarviointien määrä on nykyisin vuosittain noin 2 000, ja niiden hoitamiseen on varattu noin neljä henkilötyövuotta, jotka jakautuvat neljälle psykologille, kahdelle tutkimussihteerille ja osastoupseerille. Suurimmat kohderyhmät ovat entiseen tapaan Ilmavoimien ohjaajat, kadettikoulu, erikoisjoukot ja teknisten aselajien koulutusvalinnat. Uudempia suuria kohderyhmiä ovat palkattuun henkilökuntaan (siviilit, aliupseerit ja erikoisupseerit) ja yleisesikuntaupseerin koulutukseen hakijat.

Maksullisesta palvelutoiminnasta luovuttiin soveltuvuustestauksen siirtyessä Puolustusvoimien tutkimuslaitokseen. Syynä oli tarve keskittää kaikki liikenevät psykologiresurssit tutkimukseen.

Soveltuvuudenarvioinnit on organisoitu siten, että lähes kaikki varsinainen testaus tapahtuu joukko-osastoissa. Osassa testauksista ovat psykologit mukana observoimassa ja haastattelemassa. Testauksen sisällöstä ja testien tulkinnasta vastaavat psykologit. Vain vaativiin siviilitehtäviin hakijat ja laajaa kognitiivista testausta edellyttävien tehtävien hakijoiden soveltuvuusarvioinnit tehdään toimintakykyosaston tiloissa.

Suurin osa testauksista tehdään nykyään suoraan tietokoneille. Toimintakykyosastolla on käytössään 20 henkilön kognitiivista erityistestistöä sisältävä testiluokka sekä 60 kannettavan tietokoneen siirrettävä testijärjestelmä.

Aiemmin esillä ollut toive psykologisen testauksen tekemisestä ennen palvelukseen astumista on nykyisissä suunnitelmissa. Eri joukkoihin sijoittelua varten tarvittavat perusteet on määritelty, ja niiden perusteella on kehitteillä testi, jonka avulla luokittelu kyetään tekemään. Toisin sanoen peruskoetta ollaan jälleen uudistamassa.

Toimintakykyosastolla ja sen soveltuvuuden arviointisektorilla ei voi sanoa olevan tällä hetkellä 1970–80-luvun hallittua kaaosta, mutta tekemisen meininkiä riittää, sillä käyttäytymistieteellisellä tutkimuksella ja oikeiden henkilöiden valitsemisella tehtäviin on edelleen jatkuva tarve Puolustusvoimissa.

### Kirjoittajat:

Psykologian maisteri Kai Nyman toimii tutkimusalojohtajana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen toimintakykyosastossa psykososiaalisen toimintakyvyn tutkimusallalla.  
Professori, psykologian tohtori Juhani Sinivuori.

# Psyykkisen toimintakyvyn ylläpito ja palauttaminen taistelukentällä



(Kuva: Puolustusvoimat / Matti Kaltokari)

Pääesikunnan koulutusosasto on tilannut Puolustusvoimien tutkimuslaitokselta tutkimuksen Psyykkisen toimintakyvyn ylläpito taistelukentällä sekä Lepola-toiminta poikkeusoloissa. Tutkimus tehdään vuosina 2017–2019. Tässä artikkelissa kuvataan tämänhetkisten tulosten kautta niitä toimenpiteitä, joilla joukko itse tai joukon ulkopuoliset ammattilaiset voivat tukea sotilaiden psyykkistä toimintakykyä taistelukentällä ja sen välittömässä läheisyydessä. Artikkelissa on mukana myös hoitomenetelmiä Logistiikkakoululla työskentelevän hoitaja-opettaja Tii Vieruahon opinnäytetyöstä, jota on tehty tiiviisti tämän tutkimuksen rinnalla. Näitä hoitomenetelmiä testataan Taistelijan mieli -kokonaisuudessa osana Koulutus 2020 -ohjelmaa. (Vieruaho, 2018)

## Aiheen taustaa

Viimeisten vuosikymmenten ajalta on edelleen runsaasti havaintoja siitä, että sotivissa länsimaisissa armeijoissa esiintyy mittavasti psyykkisistä syistä johtuvaa poistumaa. Tämä

poistuma voi olla hetkellisesti jopa suurempi kuin muut tappiolajit. Mm. Yhdysvallat ja Iso-Britannia ovat kehittäneet Irakin sotien kokemusten perusteella toimintatavan, jossa sotivaa joukkoa seuraa psyykkisiin ”haavakoihin” erikoistunut hoito-organisaatio.

Suomessa oli jatkosodassa käytössä 15. armeijakunnassa sekä 6. divisioonassa Lepola-toiminta, jossa hoidettiin yleensä 3–5 vuorokauden jaksolla psyykkisen toimintakykynsä menettäneitä sotilaita eikä heitä enää rangaistu kurittomuudesta, kuten monesti talvisodassa tehtiin. Toinen toimintamalli oli se, että Lepolaan tuotiin kokonainen taistelusta irrotettu joukko palautumaan taisteluista. Huolimatta sodan aikana havaitusta hyödystä Lepola-toiminta ei jäänyt viralliseksi toimintatavaksi sodan jälkeen eikä siihen luotu mitään pysyvää organisaatiota.

## Tutkitut hoitomenetelmäkokonaisuudet

Tässä kuvatussa tutkimuksessa keskityttiin yhtenä kokonaisuutena reserviläisten omiin toimenpiteisiin toimintakyvyn ylläpidossa ja palauttamisessa ryhmätasolla. Tämä osuus sisältää pääosin ryhmänjohtajan toteuttamia menetelmiä mutta myös jokaiselle sotilaille kuuluvia osuuksia. Toinen osuus muodostui Vieruahon (2018) opinnäytetyössä käsitellyistä hoitomenetelmistä, joita käytetään joukkoyksikkötasolla (pataljoona/patteristo) psykososiaalisen tuen ryhmässä. Kolmantena osuutena kokeiltiin ammattilaisten käyttämiä hoitomenetelmiä Lepolassa. Kokeiltaviksi hoitomenetelmiksi eri osakokonaisuuksissa valittiin sellaisia, jotka ovat riittävän yksinkertaisia koulutettaviksi joko varusmiesaikana tai kertausharjoituksissa, soveltuvat nuorille aikuisille ja ovat kokeiltuina ja käytössä muuallakin.

Lepola-toiminnan mahdollinen organisointi suhteessa lääkintähuoltoon on tätä kirjoitettaessa vielä auki. Organisointi päätettäneen suuntaviivoiltaan vuoden 2019 alkupuolella, jotta uuden organisaation saaminen sodan ajan joukkoihin olisi mahdollista jo vuodeksi 2021. Samalla päätetään myös tarvittavien Lepola-ryhmien kokonaismäärä.

## Psyykinen tuki ryhmätasolla

Yhdeksän hengen jääkäriyhmässä tai muussa vastaavassa aselajiryhmässä voidaan tehdä merkittävä osuus kaikesta psyykkisen toimintakyvyn tuesta yksittäiselle sotilaille. Sotilaiden toisilleen tarjoama vertaistuki on ensimmäinen, tärkeä taso esimerkiksi taistelustressin ja moraalisen stressin sekä niistä johtuvien psyykkisten ongelmien purkamisessa. Ryhmässä tulee vallita tunteiden jakamisen salliva ilmapiiri, jossa myös johtaja voi näyttää olevansa vain ihminen.

Taisteluun valmistauduttaessa ryhmä kuulee aina käskyn tehtävästä määräaikoineen ja muine määritelmineen. Tämän käskyn jälkeen tullaan Puolustusvoimissa jatkossa käyttämään ryhmänjohtajan vetämää tehtävään valmistautumiskeskustelua. Siinä on kaksi osiota: mitä tapahtumia ryhmä tulee todennäköisesti kohtaamaan tulevaa tehtäväänsä suorittaessa ja mitä ryhmän jäsenet tulevat todennäköisesti yksilötasolla kokemaan tehtävän aikana. Valmistautumiskeskustelulla tavoitellaan samoin kahta asiaa: ryhmän suorituksen tekninen paraneminen sekä taistelustressin ennaltaehkäisy. Valmistautumiskeskustelua voi verrata kilpaurheilijan mentaalivalmistautumiseen ennen suoritustaan.

Ennen taistelua viretilaa voidaan nostaa myös musiikin avulla. Musiikin valinnassa on tärkeää, että kukaan kuulijoista ei kokisi valittua musiikkia itselleen vastenmielisenä. Tarvittaessa ja välineiden mahdollistaessa voi jokainen valita oman soittolistansa tähän vaiheeseen, kunhan se on vireystilaa nostavaa eli noin 120 lyöntiä minuutissa sisältävää musiikkia. Ryhmänjohtaja joko toistattaa ryhmän ”omia kappaleita” tai

muistuttaa alaisiaan virittävän musiikin kuuntelusta ennen taisteluun lähtöä.

Tulevaisuudessa sotilaat opetetaan käyttämään taktista hengitystä taistelun aikana. Tällä korostetun rauhallisella, syvällä hengityksellä voidaan laskea stressin takia kohonnutta sykettä ja siten parantaa havainnointikykyä sekä silmä-käsikoordinaatiota (mm. ampumatarkkuutta) ennen jotain vaativaa taisteluteknistä suoritusta. Myös vaukkoontuneen sotilaan rauhoittaminen saattaa onnistua ja nopeutua vaikkapa olkapäistä kiinni pitäen, silmiin katsoen ja tätä hengitystekniikkaa käyttäen. Hengitystyymistä on käytössä hieman eri versioita kontekstin mukaan, joogassa tai poliisilla vähän erilaiset. Puolustusvoimissa on tarkoitus ottaa käyttöön helposti opetettava muistisääntö, jossa lasketaan neljään sisäänhengityksessä, pidätyksessä, uloshengityksessä ja taas pidätyksessä kussakin.

Taistelun jälkeen ryhmänjohtaja vetää tilanteen salliessa purkukeskustelun (defusing). Siinä käydään läpi tapahtuneet tosiasiat ja annetaan jokaiselle mahdollisuus kertoa kokemuksistaan. Keskustelu päättyy ryhmänjohtajan antamiin jatko-ohjeisiin tulevan toiminnan suuntaamiseksi. Purkukeskustelun tarkoituksena on lievittää kertynyttä taistelustressiä. Taistelustressi ei toki poistu yhdellä keskustelulla mutta vähentää sitä. Rauhoittavan musiikin johdettu kuuntelu kuuluu yhtenä stressiä vähentävänä hoitokeinona taistelun jälkeiseen toimintakyvyn palauttamiseen. Kappaleiden valintaan pätevät samat säännöt kuin vireystilaa kohottavissakin kappaleissa.

## Tuki sotilaille joukkoyksikön psykososiaalisen tuen ryhmässä

Operatiivisen ohjeistuksen mukaisesti jokaiseen sodan ajan joukkoyksikköön tulee muodostaa psykososiaalisen tuen ryhmä. Mikäli joukon kokoonpanossa on pappi, hän johtaa ryhmän toimintaa. Jos psyykkisen tuen toimet omassa ryhmässä eivät ole riittäneet, voidaan psyykkisen toimintakyvyn menettänyt sotilas lähettää yksiköstään lääkintähuollon ketjua pitkin joukkoyksikön ensihoitoasemalle, johon pappikin on usein sijoitettu. Tutkimuksessa ja opinnäytetyössä päädyttiin valitsemaan hoitomuodoiksi purkukeskustelut, mindfulness-meditaatio ja TRE (Trauma Release Exercise) (Vieruaho, 2018). Nämä hoitomuodot ovat koulutettavissa tarvittaessa maallikoille kertausharjoituksissa. Joukon perustamisen jälkeen pappi voi opettaa menetelmät muutamalle ryhmään valitulle jäsenelle. On hyvä, jos joukkoyksikön kokoonpanossa ryhmään voidaan nimetä terapia- tai terveydenhoidon koulutusta saaneita henkilöitä.

## Sotilaiden hoito Lepolassa

Perustetun joukon toiminta-alueen läheisyydessä saattaa toimia tulevaisuudessa Lepola-ryhmiä. Tähän hoitopaikkaan



voivat joukkoyksikön lääkärit käskää psyykkisen toimintakykynsä menettäneen sotilaan. Toimintamalliksi voi tulevaisuudessa tulla kokonaisten joukkojen tai niiden osien tuominen Lepolaan toimintakykyä palauttavaan hoitoon sekä tukihenkilöstön lähettäminen taistelevaan joukkoon lähitueksi. Lepola-hoitoa tulee olla niin lähellä omaa joukkoa, että tykistön äänet kuuluvat edelleen. Hoito kestää tarpeen mukaan 3–5 vuorokautta. Tällöin sotilas ei ”vieraannu” taistelumuodistaan. Jos sotilas evakuoidaan tukialueelle satojen kilometrien päähän taistelualueestaan, paluunnuste romahtaa noin viiteen prosenttiin.

Lepola-hoidon aikana sotilaan vireystilaa ensin lasketaan unen ja hoitojen mahdollistamiseksi ja hoidon loppupuolella taas nostetaan joukkoon palaamista varten. Tutkimuksen perusteella hoitomuodoiksi on valittu

- henkilökohtainen tulohaastattelu
- ammattilaisen vetämä purkukeskustelu (defusing)
- rentoutusharjoitus
- mindfulness-meditaatio
- traumasensitiivinen jooga
- ohjattu liikunta
- eri vaiheisiin sopivan musiikin käyttö mielentilan hallinnassa
- taistelun tilannekatsaukset
- elokuvien katsominen
- valmiin lämpimän ruoan nauttiminen, saunominen ja nukkuminen lämpimissä sisätiloissa.

Lepola-ryhmää on suunniteltu johtavan psykiatri, jolloin ryhmään saadaan mielenterveystyön ammattilainen tekemään arvio mahdollista psykiatrasta jatkohoitoa tarvitsevista potilaista. Hänen kauttaan ”työkälypakettiin” saadaan myös lääkkeiden käyttö hoidon tukena. Hänen apunaan on suunnitelmien mukaan yhteensä noin 20 henkeä, mm. psykiatrinen sairaanhoitaja, psykologi, erilaisia terapeutteja, liikunnanohjaajia sekä sotilaspoliisialiupseereita. Lepola-ryhmän kokoonpanoa kokeiltiin tutkimuksen kenttäkokeessa, ja siihen ovat vaikuttaneet myös kansainväliset kokemukset ja muiden maiden käyttämät organisaatiot.

## Lopuksi

Johdettu ja koulutettu sotilaiden psyykkisen toimintakyvyn tuki on lopulta yksinkertainen ja halpa tapa parantaa joukosta ja sen asejärjestelmistä saatavaa tehoa. Mikäli kuolemanpelosta ja tappamisesta aiheutuvaa taistelustressiä ei hoideta, saattaa joukosta poistua merkittävä osa sotilaista ja jäljelle jäävienkin taisteluteho heikkenee ajan kuluessa. Sodan aikana tehdyt hoito- ja tukitoimet todennäköisesti myös vähentävät sodan jälkeisiä oireita.



(Kuva: Puolustusvoimat / Matti Kaltokari)

### Kirjoittajat:

Everstiluutnantti Jari Harala toimii Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen toimintakykyosastossa Taistelija sodassa -tutkimusryhmän johtajana.

Valtiotieteiden tohtori Liisa Eränen toimii Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen toimintakykyosastossa Taistelija sodassa -tutkimusryhmässä tutkijana.







**MATINE - Maanpuolustuksen  
tieteellinen neuvottelukunta**

# Infrastruktuurista riippumaton sisätilapaikannus taistelijan tilannetietoisuuden muodostamiseksi

## Sisätilapaikannuksen nykytila

Satelliitinavigointijärjestelmien, kuten GPS-järjestelmän, avulla on navigoitu ulkotiloissa jo vuosikymmeniä. Yhdellä pienellä laitteella on voitu määrittellä sijainti melko tarkasti ja luotettavasti kaikkialla maailmassa. Satelliitinavigointijärjestelmät on kuitenkin suunniteltu käytettäväksi avarissa ulkotiloissa. Satelliittisignaalien avulla laskettavan sijaintitiedon tarkkuus ja saatavuus heikkenee huomattavasti siirryttäessä paikkoihin, joissa signaalien kulku vastaanottimeen on estynyt tai ympäristön rakenteet aiheuttavat signaalien heijastumista. Tällaisia tilanteita syntyy esimerkiksi metsissä puiden lehdistön vaikutuksesta tai kaupunkien keskustoissa korkeiden rakennusten estäessä suoran näköyhteyden vastaanottimesta satelliitteihin. Sisätiloissa satelliittipaikannuksen käytettävyys on vielä huonompi. Signaalit vaimentuvat merkittävästi läpäistessään rakenteita, ja tästä syystä ainakaan toistaiseksi satelliittipaikannusta ei voida käyttää sisätilapaikannukseen.

Turvallisuuteen ja puolustukseen liittyvät operaatiot vaativat luotettavaa tilannetietoa, ja yksi sen tärkeimmistä tekijöistä on tarkka sijaintitieto. Operaatiot eivät rajoitu vain avariin ulkotiloihin, vaan tarkkaa ja luotettavaa paikannusta tarvitaan kaikissa ympäristöissä. Sisätilanavigointiin on kulluttajille olemassa jo hyviä, kaupallisestikin saatavilla olevia ratkaisuja. Nämä ratkaisut perustuvat pääasiassa radiosignaalien käyttöön ja vaativat tilassa olevan infrastruktuurin lisäksi paikannusmenetelmän etukäteisvalmistelua navigointia varten. Useissa kauppakeskuksissa ja lentokentillä on jo käytössä langattoman lähiverkon (WLAN) tukiasemista saataviin radiosignaaleihin tai Bluetooth-signaaleja lähettäviin beaconeihin perustuvia paikannusjärjestelmiä. Näiden avulla voidaan määrittää käyttäjän sijainti kyseisellä alueella satelliittipaikannukseen verrattavalla tasolla eli noin kahden metrin tarkkuudella hyvissä olosuhteissa. Suomi on teknologiankehityksen edelläkävijöiden joukossa myös sisätilapaikannuksessa, ja useat yritykset, kuten mm. Quuppa, HERE (oli osa vanhaa Nokiana) ja IndoorAtlas, ovat luoneet siitä merkittävää liiketoimintaa.

WLANiin tai Bluetoothiin perustuvan paikannuksen edellyttämää infrastruktuuria ei pelastus- tai puolustusoperaatioissa voida olettaa olevan käytettävissä. Lisäksi on usein mahdotonta valmistella ympäristöä etukäteen, mikä on vaa-



Kuva 1. Infrastruktuurista riippumattomassa paikannuksessa käytettävät anturit kiinnitettynä taistelijan varusteisiin. (Kuva: Martti Kirkko-Jaakkola)

timus, jotta kyseisiin radiosignaaleihin perustuvalla paikannuksella voidaan tuottaa tarkkaa paikkatietoa. Tarvitaan siis menetelmä, joka tuottaa tarkkaa ja luotettavaa paikkatietoa ja joka käyttää hyväkseen vain taistelijan mukanaan kantamia välineitä ja on toimintavalmis heti tuntemattomaankin tilaan saavuttaessa. Toistaiseksi ainoa vaatimukset täyttävä menetelmä on useiden erilaisten liikettä tai ympäristöä havainnoivien anturien mittausten yhdistäminen.

### **Infrastruktuurista riippumaton taistelijan tilannetietoisuus (Infrastructure-free tactical situational awareness INTACT)**

Maanpuolustuksen tieteellinen neuvottelukunta MATINE rahoitti vuosina 2015–2017 hanketta nimeltä Infrastruktuurista riippumaton taistelijan tilannetietoisuus (INTACT). INTACT-hankkeessa tutkittiin menetelmiä, joiden avulla voidaan tuottaa taistelijan tilannetietoisuutta sellaisissa tilanteissa, joissa rakennuksesta tai sen infrastruktuurista ei ole mitään ennakkotietoa ja on edettävä nopeasti. Tällaisessa tilanteessa taistelijan on saatava luotettavaa tietoa siitä, missä hän parhaillaan on ja miten pääsee turvallisesti ja nopeasti seuraavaan kohteeseen. Komentokeskuksen on tiedettävä kokonaistilanne: missä joukot sijaitsevat ja mitä ne tekevät parhaillaan. Tällaisen tilannetietoisuuden saavuttamiseksi tarvitaan tarkkaa ja luotettavaa sisätalapaikannusta. Lisäksi tilasta on muodostettava jonkintasoinen kartta tai kuva sekä parantamaan sisätalapaikannuksen tarkkuutta että kokonaiskuvan muodostamista varten.

Tilannetietoa voidaan muodostaa käyttämällä vain pieniä, edullisia antureita ja kehittyneitä laskentamenetelmiä. Inertia-anturit (ts. kiihtyvyydanturit ja gyroskoopit eli kulmanopeusanturit) ovat toimintaympäristöstä riippumattomia sekä satelliittipaikannuksen estävälle tahalliseksi radiohäirinnälle immuuneja, ja siten ne ovat ihanteellisia vaihtelevissa olosuhteissa ja ympäristöissä tapahtuvaan taistelijan paikannukseen. Modernit mikroelektromekaaniset (microelectromechanical system, MEMS) anturit ovat kooltaan pieniä, hinnaltaan edullisia ja rakenteeltaan fyysistä rasiitusta kestäviä, joten niitä voidaan liittää taistelijan varustukseen ilman, että ne haittaavat operaatiota.

Antureiden avulla saadaan laskettua taistelijan suuntaa ja nopeutta. Tämän tiedon avulla voidaan selvittää taistelijan paikka jatkuvasti suhteessa lähtöpaikkaan ja -suuntaan. Menetelmä kärsii kuitenkin mittausvirheistä, jotka kasautuvat ajan myötä ja siten aiheuttavat paikannustarkkuuden jatkuvaa heikkenemistä. Tämä on ongelma erityisesti edellä mainittuja MEMS-antureita käytettäessä. Kun inertia-anturit kiinnitetään taistelijan jalkaan, voidaan käyttää niin sanottua nolllanopeuspäivitystä (Zero Velocity Update, ZUPT). Tämä perustuu siihen, että jokaisella askeleella jalka on pienen hetken paikallaan osuessaan maahan. Tämä paikallaanolo voidaan havaita mittauksesta ja käyttää anturin sys-

temaattisten virheiden korjaamiseen jatkuvasti. Tämän avulla voidaan tuottaa tarkkaa sijaintitietoa hieman pidemmäksi aikaa, mutta menetelmä ei kuitenkaan korjaa tilannetta kokonaan.

Anturien käyttö vaatii ajoittaista virheiden korjaamista muualta saadun informaation perusteella. Esimerkiksi pohjakartan käyttö paikannuksen rajoitusehtona lieventää mittausvirheiden vaikutusta sijainnin tarkkuuteen ja vähentää vaadittavien korjausten tarvetta. Tällä hetkellä useat kansainväliset toimijat muodostavat julkisista tärkeimmistä rakennuksista sisätalokarttoja. Valitettavasti sotilasoperaatiot eivät rajoitu vain näihin kartoitettuihin rakennuksiin, ja näin ollen valmiiden pohjakarttojen käyttö ei tuo aina tilanteeseen apua. Ainoa toimiva keino tuottaa tarkkaa sijaintitietoa tällaisessa tilanteessa pidemmäksi aikaa on yhdistellä useiden erilaisten anturien mittauksia. Anturit kärsivät erilaisista virhelähteistä, ja siksi mittausten älykäs yhdistäminen on toimiva keino tarkan sijaintitiedon määrittämiseen. Taistelijan varusteisiin kiinnitetty kamera on yksi parasta paikannustulosta tuottavista antureista yhdistettynä inertia-antureihin. Kuljettu matka ja kulkusuunta voidaan laskea kahdesta peräkkäisestä valokuvasta niissä esiintyvien hahmojen siirtymistä tarkkailemalla.

Tilannetietoisuuden saavuttamiseen tarvitaan paikannustuloksen lisäksi hahmotelma ympäristöstä, mieluiten pohjapiirrosmainen kartta. Navigoinnin aktiivisena tutkimusalueena on tekniikka, jossa navigoija sisätiloissa muodostaa ympäristöstä karttaa samalla, kun paikantaa itseään. Vastavasti muodostettava kartta parantaa paikannusta jatkuvasti. Tekniikkaa kutsutaan nimellä Simultaneous Localization and Mapping (SLAM). Perinteisesti SLAM-tekniikassa on muodostettu kartta siten, että mitataan etäisyyttä ympäristössä oleviin kohteisiin käyttäen stereokameroita sekä erilaisia aktiivisia sensoreita, kuten laseretäisyydmittaria. Kun stereokameraa käyttävät jalan kulkevat taistelijat, sen koko ei voi olla kovin suuri. Toisaalta stereokameran kameraparin kameroiden välinen etäisyys on merkittävä saadun paikannuksen ja kartoituksen tarkkuuden kannalta, joten laitteen pieni koko huonontaa saatua paikannustarkkuutta. Tästä syystä taistelijan SLAM-tekniikassa on käytettävä yhtä, esimerkiksi kypärään tai muihin varusteisiin, kiinnitettyä kameraa. Yhden kameran käytössä paikannuksessa on kuitenkin omat haasteensa, joista merkittävin on kuvattavien kohteiden ja kameran välinen etäisyys, jota ei tuntemattomassa ympäristössä tiedetä. INTACT-projektissa on kehitetty ongelmaan ratkaisu ja saatu tuotettua tarkkaa ja luotettavaa horisontaalista sijaintitietoa yhdistämällä inertia-anturit ja kamera.

Pelastus- ja puolustusoperaatioissa on tärkeää tietää horisontaalisijainnin lisäksi myös henkilön korkeustieto. Barometri mittaa ilmanpaineen vaihtelua, ja sen avulla voidaan määrittää taistelijan sijainnin korkeus. Barometri on kuitenkin





Kuva 2. Utin testeissä varusmiehet muun muassa kiipesivät puolapuita ja liikkuivat niitä pitkin sivuttain. (Kuva: Martti Kirkko-Jaakkola)

hyvin herkkä tilan lämpötilan ja esimerkiksi ilmastointilaitteista johtuvalle ilmanpaineen vaihtelulle. Tässäkin tilanteessa anturien yhdistämisestä on apua. Kun barometrin mittaukset yhdistetään esimerkiksi ultraäänilaitteen etäisyysmittauksiin, saadaan luotettavampaa korkeustietoa ympäristössä tapahtuvista muutoksista huolimatta.

Anturimittauksia yhdistettäessä koko navigointijärjestelmän tärkein osa on huolella suunniteltu estimointiin perustuva fuusiointialgoritmi sekä eri antureiden mittausvirheiden tilastollinen mallinnus. Lisäksi navigoijan liikkumisen mallinnusta (juoksee, ryömii, kävelee, jne.) voidaan tehdä samoja anturimittauksia käyttäen koneoppimisen menetelmillä. Kun taistelijan liikkumistieto otetaan huomioon fuusiointialgoritmissa, voidaan paikannustulosta parantaa edelleen.

Kun aiemmin esiteltyjen, infrastruktuuria tarvitsevien, paikannusmenetelmien tapauksessa voitiin puhua absoluuttisesta sijaintitarkkuudesta, on antureihin perustuvassa suhteellisessa sijainninmäärityksessä puhuttava navigointiaikaan, tai oikeastaan kuljettuun matkaan, suhteutetusta tarkkuudesta. Erittäin hyvänä tarkkuutena pidetään sitä,

jos sijainnin virhe on yhden prosentin kuljetusta matkasta, kuten esimerkiksi 10 metriä kilometrin kulkemisen jälkeen. Tällä hetkellä tuo 1 % tuntuu olevan paras tulos, mihin infrastruktuurittomassa navigoinnissa on päästy, ja nämäkin tulokset on kirjallisuudessa usein saavutettu hyvin kontrolloituissa olosuhteissa testeissä, jotka on yleensä tehty kävelen suoraa linjaa.

Intact-projektissa kehitettiin yllä kuvailtuja estimointi-, virheenmallinnus- ja koneoppimismenetelmiä taistelijan navigointijärjestelmän anturimittauksia yhdistämään. Taistelijan varusteissa kypärään, vartaloon ja jalkaan kiinnitettiin inertia-anturit, kamera rintaan, barometri kypärään ja ultraäänianturi liiviin selkäpuolelle (kuva 1). Kehitettyä menetelmää testattiin Utin varuskunta-alueen harjoitushallissa. Halli sisälsi sisätilanavigoinnille haastavia tiloja: avaria halleja, kapeita käytäviä sekä pieniä huoneita. Kaksi varusmiestä suoritti testin, jonka aikana he kävelivät, juoksivat, hyppivät, kiipesivät puolapuita ylös ja alas sekä kulkivat puolapuita pitkin sivuttain. Projektissa kehitetyn infrastruktuurista riippumattoman, vain anturimittauksia yhdistelevän menetelmän avulla lasketun navigointiratkaisun tarkkuus oli 1 %, tarkemmin sanottuna sijainnin virhe testin lopussa oli neljä metriä 400 metrin matkalla. Tulos olisi huomattavan hyvä, kun otetaan huomioon haastava ympäristö ja tavallisuudesta poikkeavat liikkumismuodot.

### Sisätilapaikannuksen tarkkuus paranee sijaintitiedon jakamisesta joukon sisällä

Infrastruktuurista riippumattoman sisätilapaikannuksen tarkkuutta voidaan edelleen parantaa käyttämällä niin sanottua verkottunutta paikannusta. Verkottuneessa paikannuksessa taistelijat mittaavat radiosignaalien avulla etäisyyttä ja suuntaa suhteessa toisiinsa. Yleisimmin mittaukseen käytetään Ultra-Wideband (UWB) -signaaleja, mutta tulevaisuudessa 5G-signaalien käytöstä odotetaan olevan menetelmälle paljon hyötyä. Kun verkon yhdellä tai useammalla jäsenellä on tarkka sijaintitieto, tätä tietoa voidaan muuntaa muiden verkon jäsenten sijaintitiedoksi etäisyys- ja suuntatietoa hyödyntäen. Tällainen menetelmä on erittäin hyödyllinen silloin, kun joku verkon jäsenistä on esimerkiksi ulkona ja voi hyödyntää satelliittipaikannusta, mutta se parantaa sijainninmääritystä myös kaikkien taistelijoiden ollessa sisällä infrastruktuurista riippumattoman paikannuksen varassa.

Maanmittauslaitoksen Paikkatietokeskuksen ja norjalaisen tutkimuskeskus SINTEF:n Collaborative Augmented Navigation for Defence Objectives (CANDO) -yhteishankkeessa kehitetään tilannetietoisuutta urbaanissa ympäristössä ja sisätiloissa tapahtuvissa operatioissa. Hankkeessa kehitetään menetelmä, jolla sisätilapaikannuksen tarkkuutta voidaan ennestään parantaa haastavissa olosuhteissa. Päämääränä on, että 30–40 henkilön ryhmä voi navigoida sisätiloissa sijaintivirheen ollessa parin metrin luokkaa vähintään 10 minuutin



Kuva 3. Verkottunut paikannus parantaa sisätilanavigoinnin tarkkuutta merkittävästi. (Kuva: Martti Kirkko-Jaakkola)

ajan. Naton Science for Peace and Securityn rahoittamassa hankkeessa yhdistetään Intact-projektissa kehitetty infrastruktuurista riippumaton paikannusmenetelmä SINTEF:n verkottuneeseen paikannusmenetelmään. Hanke on alkanut vuoden 2018 alkupuolella, ja se kestää vuoden 2019 loppuun saakka. Eli vaikka sisätilanavigoinnin tarkkuus infrastruktuurista riippumattomilla menetelmillä ei vielä ole kaikissa tilanteissa riittävällä tasolla, tutkimus asian parissa on aktiivista ja tulokset paranevat jatkuvasti.

**Kirjoittaja:**

Tekniikan tohtori Laura Ruotsalainen toimii apulaisprofessorina Helsingin yliopiston tietojenkäsittelytieteen osastolla sekä tutkimusprofessorina Maanmittauslaitoksen Paikkatietokeskuksessa.





# Maasotakoulu



# Suomalaisen sotilaan aseistuksen kehitys



Kuva 1. Suujarrulla varustettu Suomi-konepistooli, ”900 KP 31 SJR”.

Kuva 2. Vasemmalta oikealle Suomi-konepistoolin perusmalli M/31 ”900 KP 31” tankolipas kiinnitettynä, suujarrulla varustettu Suomi-konepistooli rumpulipas kiinnitettynä, konepistooli M/44 ilman lipasta ja korsukonepistooli ilman lipasta.

Suomalaisen jalkaväkisotilaan aseenkäyttötaidoilla sekä aseiden suorituskyvyillä on keskeinen merkitys jalkaväen taistelujen onnistumiselle. Jalkaväkitaistelijan suorituskyky on kautta historian nähty ratkaisevana osana maataistelussa, konearmeijoiden rinnalla, sillä jalkaväkitaistelija tekee lopullisen työn taistelukentällä. On erittäin tärkeää varustaa jalkaväkitaistelija tarpeeksi suorituskykyisellä asekalustolla, jotta hän kykenee suoriutumaan tehtävistään. Kirjoitus keskittyy kuvaamaan kiteytetysti suomalaisen sotilaan aseistuksen kehitystä 1900-luvun alusta nykypäivään, ja asekehitystä tarkastellaan jalkaväen kiväärien, konekiväärien ja konepistoolien sekä tarkkuuskiväärien aseteknisen kehityksen kautta.

**Jalkaväkitaistelijan ase 1900-luvulla** on ollut yksinkertainen käyttää ja huoltaa. Jalkaväen kivääri M/91 ”suomalainen” on muutettu alkuperäisestä venäläisestä jalkaväen kivääri m/91 Mosin-Nagantista suomalaisen jalkaväkisotilaan käyttötarkpeita vastaavaksi. Ase on ollut toimintavarma. Jalkaväen kiväärit mallista 91 (7,62 kiv/91) malliin 39 (7,62 kiv/39) ovat puusta ja teräksestä valmistettuja. Aseissa on pieni määrä helposti vaihdettavia osia.

**Aseiden aatelia** on suomalaisen asesuunnittelija Aimo Lahden suunnittelema, avoimelta massasulkuiselta lukolta 9 mm:n Parabellum-patruunaa ampuva Suomi-konepistooli. Aseen suorituskyvyn merkitys sodissamme on kiistaton, sillä aseella on tuotettu runsaasti tappioita vihollisille. Päämajan taistelu-

välineosaston konepistoolitilauksesta 2/1943 lähtien suujarru kuului Tikkakosken tehtaalla Puolustusvoimille valmistettavien Aimo Lahden suunnitteleminen Suomi-konepistoolien vastaanottovaatimuksiin. Suujarrun oli oltava aseessa, koska tammi-kuussa 1941 Armeijakunnan esikunta ilmoitti, että Suomi-konepistoolien piipuissa on todettu olevan huomattavan runsaasti lumen ja vieraiden esineiden aiheuttamia laajentumia, joiden välttämiseksi esitettiin tehtäväksi vaipan päähän samantapainen lisäkappale kuin venäläisessä automaattikiväärissä. Tarkoituksena oli näin suojata aseiden piipunsuuta, vähentää aseiden piipun kohoamista sekä parantaa aseiden hallittavuutta sarjatullella ammuttaessa.

Aseesta valmistettiin eri malleja (Suomi-konepistoolin perusmalli m/31, suujarrulla varustettu versio ”900 KP 31 SJR” sekä korsukonepistooli). Suomalainen, Aimo Lahden suunnittelema konepistooli on ylivertainen koulutetun jalkaväkitaistelijan käsissä aseiden yksinkertaisuuden, tulivoimansa sekä toimintavarmuutensa ansiosta.

**Jalkaväen konekiväärinä** käytettiin 1900-luvun puoleenväliin saakka Maxim-konekivääriä useine eri malleineen, jotka oli modernisoitu ensimmäisen maailmansodan käyttötarkpeita varten. Ase ampuu samaa patruunaa kuin aikalaisensa jalkaväen kiväärit. Konekivääri on vyösyöttöinen ja vesijäähdytteinen.

**Suomalaista asesuunnittelua** tarvittiin korvaamaan jalkaväen aseistusta. Suomessa suunniteltiin Maxim-koneki-

väärin seuraajaa vuodesta 1957 alkaen. Valmetin Tourulan tehtaan insinööri Lauri Oksanen toimi kotimaisen kevyt konekivääri M/62:n pääsuunnittelijana. Vihdoin tarkastaja Erkki Lilja pääsi testaamaan kevyttä konekivääriä M/62 Luonetjärvellä tammikuussa 1964.

**Jalkaväkitaistelijalle suunniteltiin** vuodesta 1956 alkaen omaa rynnäkkökiväärituotantoa Valmetin Tourulan asetehtaan insinööri Lauri Oksasen johdolla. Majuri E. V. Järvilehto määritteli aseiden yleisvaatimukset keväällä 1957, ja mallin nimi oli 7.62 sarja-automaattikivääri m/57. Erinäisten kehitysvaiheiden jälkeen Pääesikunta tilasi 25.8.1961 Valmetin Tourulan tehtaalta kaksi näiden aseiden mallikappaletta. Rynnäkkökivääriin m/62 ensimmäinen tuotantosopimus Sako Oy:n kanssa allekirjoitettiin 8.8.1962 ja myöhemmin joulukuussa 1962 myös Valmet Oy:n kanssa. Kokonaisuudessaan oman rynnäkkökiväärin suunnittelu, valmistus ja asejärjestelmän ylläpito on jalkaväkisotilaan suorituskyvylle välttämättömyys. Oman asetuotannon ylläpidolle ja osaamiselle tämä on menestystarina, joka toivottavasti jatkuu.

**Jalkaväkitaistelijan ase 2020-luvulla** on rynnäkkökivääri, jonka uusin malli on 7.62RK62M. Rynnäkkökivääri ampuu 7.62 x 39 -patruunaa, ja aseella voi ampua itselataavaa kerta- ja sarjatulta. Aseessa perustähtäiminä ovat mekaaniset tähtäimet, ja tämän lisäksi aseeseen voidaan kiinnittää optisia ja elektronisia tähtäimiä. Nykyisin aseita valmistettaessa materiaaleina ovat komposiitti, muovi, alumiini sekä muut kevyet materiaalit. Terästä käytetään aseessa kriittisiin paineenalaisiin osiin sekä hyötykuormaa kantaviin osiin, kuten erilaisiin lisälaitteiden kiinnityskiskoihin. Aseen tehokas käyttöetäisyys on noin 300 metriä.

**Tarkka-ammunta** on keskeinen osa jalkaväen suorituskykyä. Tarkka-ammunnassa on välttämätöntä se, että aseessa on riittävä suorituskyky. Sako Oy on rakentanut 7.62 tarkkuuskivääri 85:n rinnalle uuden ja nykyaikaiset vaatimukset täyttävän tarkkuuskiväärin.

Nykyisin jo vanhojen, kotimaisten kevyiden konekiväärien M/62 poistumisen myötä konekiväärit korvataan pääosin 7.62 konekivääri PKM (7.62 kk PKM) -konekivääreillä, joihin on hankittu nykyaikaisia tähtäinlaitteita nopeaa ja tehokasta tulenkäyttöä varten sekä varmistamaan tulen osuvuus. PKM-konekivääri ampuu patruunamerkinnältään 7.62 x 53R olevaa kiväärinpatruunaa. Ase on vyösyöttöinen (100 ja 200 patruunan vyöt). Aseen tehokas käyttöetäisyys on noin 1 000 metriä. Erikoisjoukkojen käyttöön on hankittu myös ensisijaisesti NH90-helikopterin oviasejärjestelmäksi monipiippuisia konekivääreitä. Dillon M134D-H on sähkökäyttöinen kuusioppiipainen ase, jonka kaliiperi on 7.62 x 51 ja tulinopeus on 3 000 laukausta minuutissa. Patruunasäiliön kapasiteetti on 1500/3000/4400 patruunaa, aseessa on katkeava metallinen M19-vyölinkkiin perustuva vyösyöttö, ja aseiden tehokas käyttöetäisyys on 1 000 metriä. Ase



Kuva 3. Suomalainen 7.62 konekivääri 62 (7.62 kk 62) vyölaukku kiinnitettynä.



Kuva 4. Jalkaväen asekehityksen kulku: yllä jalkaväen kivääri M/91 ja sen alla RK62M.



Kuva 5. Yllä yhä käytössä oleva tarkkuuskivääri M/85 (7.62 tkiv 85), ja sen alla on 8.6 tarkkuuskivääri 2000 (8.6 tkiv 2000).





Kuva 6. Konekiväärien kehityskaari: etualalla on MAXIM-konekivääri, sen yläpuolella PKM-konekivääri ja kuvan ylälaidassa on Dillon M134 kuusipiippuinen konekivääri. Huomaa vyölaukkujen/ patruunakannujen patruunamäärien eroavaisuudet; tämä vaikuttaa suoraan tulituen kestoan.



Kuva 7. Nykyaikaisia konekivääreitä: PKM-konekivääri etualalla ja Dillon M134 -konekivääri taustalla. Molemmat ovat nykyaikaisia, laajassa käytössä maailmalla olevia jalkaväkitaistelijan tulitukiaseita.

on loistava tulitukiase, joka voidaan asentaa maa-, meri- ja ilmalaveteille.

Suomi-konepistoolien suorituskyvyn korvaajiksi sekä erikoisjoukkojen suorituskyvyn takaamiseksi on hankittu saksalaisia Heckler & Koch -aseperheen konepistooleita (esimerkiksi MP5A3, MP5SD). Konepistooleissa tähtäiminä ovat mekaanisten tähtäinlaitteiden rinnalla optiset tähtäimet, maalinosoitukseen soveltuvat laser-osoittimet sekä erilaiset taktiset valaisimet parantamaan aseilla saavutettavaa suorituskykyä. Aseeseen on kiinnitettävissä muun muassa 15 tai 30 patruunan tankolipas. Aseen tehokas käyttöetäisyys on noin 150 metriä.

Varsinaisia menestystarinoita ovat sekä oman rynnäkkökivääriasejärjestelmän saavutukset luotettavan, tarkan ja



Kuva 8. Kuvassa ylhäällä jo aiemmin esitellyt suomalaiset konepistoolit, joiden alapuolella on H&K:n MP5K -konepistooli taittuvaperäisenä. Alinna on H&K:n MP5A5 -konepistooli kiinteällä perällä ja Aimpoint COMPM5 punapistetähtäimellä varustettuna. Konepistoolin etupuolella on äänenvaimennin ja 100 patruunan rumpulipas.



Kuva 9. Lähikuva nykyaikaisten erikoisjoukkojen käytössä olevasta Heckler & Koch -tehtaan konepistooleista aseisiin sopivien lisävarusteiden kera.

toimivan rynnäkkökiväärin muodossa, tarkkuuskiväärien suorituskyvyn ajantasaistaminen, PKM-konekiväärien ja konepistoolien hankinta muilta asevalmistajilta sekä Dillon M134D-H -konekiväärien hankinta ensisijaisesti erikoisjoukkojen käyttöön. Kaikilla näillä asehankinnoilla taataan vaadittava suorituskyky jalkaväkisotilaalle.

#### **Jalkaväkitaistelijan ase lähitulevaisuudessa (2030–2050)**

ampuu tulivoiman kasvattamiseksi kevyttä kiväärinpatruunaa, jonka luodilla on suuri lähtönopeus ja jonka luodin pyyhkäisevän lentoradan ansiosta luodilla on suuri osu- matodennäköisyys. Aseen valmistusmateriaaleina korostuvat komposiitit sekä kevyet teräkset; ase- sen kokonaisuudessa on noin 3,5 kilogrammaa taistelukuntoisena tähtäimeen ja ampumatarvikkeineen. Aseen lippaan kapasiteetti on suuri, ja ase- en tulinopeus on rajoitettu tarkoituksenmu-

kaiselle tasolle. Aseiden kohteina on edelleen pääsääntöisesti elävä voima. Tämän lisäksi aseeseen voidaan kiinnittää erikoisampumatarvikkeita ampuvia ampumalaitteita sekä erilaisia maalinosoittimia ja tähtäimiä. Aseen tähtäimissä tulee korostumaan niiden joka sään toimintakyky sekä tähtäinkuvan välittäminen digitaalisesti erilaisiin johtamisjärjestelmiin. Aseeseen voidaan kiinnittää erilaisia valaisuvälineitä. Näiden edellä mainittujen välineiden tuottaman suorituskyvyn kautta jalkaväkitaistelija voi osoittaa maalin jalkaväen

taistelua tukeville asejärjestelmille. Näitä ovat epäsuoran tulen yksiköiden sekä lähitulitukiasejärjestelmien asejärjestelmien käyttämät älykkäät ampumatarvikkeet. Tavoitteena on tehokas tulenkäyttö kaikilla digitaalista taistelukenttää hyödyntävillä asejärjestelmillä. Taisteluissa menestyminen vaatii koordinoitua tulenkäyttöä. Taistelija on tämän logiikan mukaisesti ascensa kera yksi taistelukentän keskeisistä sensoreista.

Ase	Kaliiberi	Massa	Lippaan patruunakapasiteetti	Teoreettinen tulinopeus	Pituus	Huomio
Jalkaväen kivääri M/91	7.62 x 53R	4,3 kg	4 patruunaa	noin 20 ls/min	1 305 mm	pelkkä ase
Suomi-konepistooli m/31	9 x 19	4,72 kg	tankolipas 24, 36, 50 ja rumpulippaat 40 ja 70 patruunaa	900 ls/min	870 mm	pelkkä ase
Rynnäkkökivääri 7.62RK62M	7.62 x 39	3,893 kg	30 patruunaa	700 ls/min	940 mm	pelkkä ase
Konepistooli 9.00 kp 2000	9 x 19	2,93 kg	15 / 30 patruunaa	800 ls/min	533 mm / 692mm	pelkkä ase
Konekivääri Dillon M134D-H	7.62 x 51	24,1 kg	1 500 / 3 000 / 4 400	3 000 ls/min	89,54 cm	pelkkä ase

Taulukko 1. Eräiden jalkaväen aseiden teknisiä tietoja.

#### Kirjoittaja:

Majuri, dosentti (LUT) Tapio Saarelainen toimii tutkijaesupseerina Maavoimien tutkimuskeskuksen tutkimus- ja kehittämisosaston jalkaväen ja tiedustelun sektorilla.

Kuvat: Tapio Saarelainen



# Simulaattoriavusteisen taistelukoulutuksen tutkimus Maasotakoulussa



Kuva 1. (Kuva: Marko Vulli / Maasotakoulu)

Maasotakoulussa toteutetuissa simulaattorialan tutkimuksissa on tutkittu kaksipuolisen taistelusimulaattorin (TASI/KASI) ja sisäämpumasimulaattorin vaikutuksia varusmiesten motivaatioon sekä oppimiseen. Ensimmäiset kaksipuolisen taistelusimulaattorin vaikuttavuutta selvittäneet tutkimukset aloitettiin vuonna 2010. Tutkimuskeskeiseen *Motivoivatko simulaattorit varusmiestä?* on yksiselitteinen vastaus. Simulaattorit motivoivat käyttäjänsä. Tämä on tärkeä tieto kehitettäessä taistelukoulutusta sekä taistelijoiden suorituskykyä nyt ja tulevaisuudessa.

Motivaatio kertoo siitä, minkä varusmies kokee tärkeänä ja voiteltavan arvoisena toimintana. Se kertoo myös siitä intensiteetistä, jolla hän tavoitteeseen pyrkii pääsemään. Motivaatio on yksilöllistä, ja se riippuu osin itsesääteelykyvystä. Tällöin varusmiehen käyttäytymiseen vaikuttaa käsitys omasta kyvystä selviytyä eri tilanteissa. Jos varusmies epäroo omaa kykyään suoriutua tehtävästään, laskee se hänen motivaatiotaan ja voi aiheuttaa jopa tehtävästä luopumisen. Optimaalinen motivaatiotila saavutetaan silloin, kun oppijan omat kyvyt ovat tasapainossa tehtävän haastavuuden kanssa. Tällöin tehtävä ei ole



liian helppo eikä liian vaikea. Liian vaikea tehtävä saa helposti varusmiehen ahdistumaan ja luovuttamaan, kun taas liian helppo tehtävä tylsistyyttä.

### Simulaattoreiden tuottaman tiedon hyödyntäminen

Simulaattoriavusteisessa taistelukoulutuksessa hyödynnetään simulaattoreiden tuottamaa tietoa. Tällöin tulee muistaa, että simulaattorit itsessään eivät tuota analysoitua tietoa. Analysoinnin tekevät kouluttajat ja asiantuntijat yhteistyössä. Simulaattoreiden tuottama tieto sisältää erilaisia tunnuslukuja tietyltä taistelun ajalta. Näitä tunnuslukuja ovat esimerkiksi tappio- ja osumatiedot, jotka koostuvat vaikuttajasta (ampujasta tai aseesta), vaikutettavasta (osuman saajasta, henkilö/ajoneuvo yms.), osumalajista (tappava osuma, osuma, haavoittunut, ohilaukaus), tapahtuma-ajasta ja tapahtumapaikasta (sisältää joukon liikkeen). Näitä tunnuslukuja apuna käyttäen voidaan määrittellä, onko taisteleva joukko kyennyt täyttämään tehtävän ja samalla niiden avulla voidaan karkeasti arvioida joukon suorituskyvyn sekä tilannetietoisuuden tasoa.

Tämän lisäksi on simulaattoreita, jotka eivät suoraan tuota numeerisia tunnuslukuja käydystä taistelusta vaan joita hyödynnetään suuntaa antavina toiminnan kuvaajina (konstruktiiviset simulaattorit, KESI/SITA) tai joiden avulla voidaan havainnollistaa pelat-

tuja taistelutilanteita retrospektiivisesti videoanimaatioiden keinoin (virtuaalisimulaattorit, VBS).

### Palautteella parempaan oppimiseen

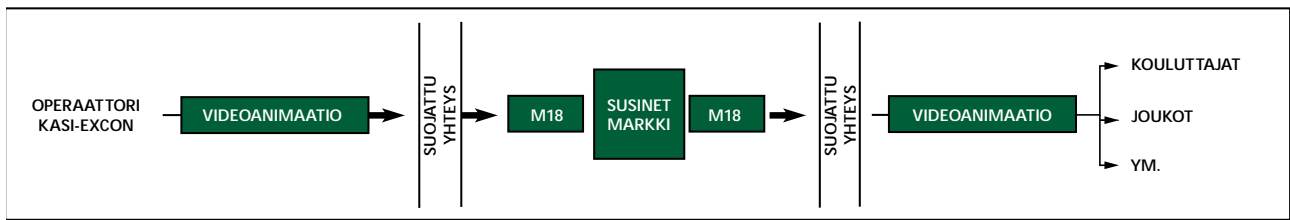
Kaiken kouluttamisen tavoitteena on vaikuttaa taistelujoiden suorituskykyyn. Tämän päivän simulaattoritutkimus on fokuoitetussa siihen, mitä tapahtuu simulaattoriavusteisessa koulutuksessa tai mitä siellä pitäisi

tapahtua. Maasotakoulun toteuttamissa simulaattorialan tutkimuksissa on havaittu, että koulutuksessa annettulla palautteella on tärkeä rooli varusmiesten oppimisessa. Nämä havainnot tukevat Koulutus 2020 -ohjelmaa, jossa simulaattoriavusteisesta taistelukoulutuksesta tulisi tehdä tehokkaampaa, innostavampaa, nopeampaa ja suorituskykyä parantavaa toimintaa.

Palautteen antamista käsitellään usein positiivisen ja negatiivisen palautteen näkökulmista. Useiden tutkimusten mukaan positiivinen palaute on yhteydessä parantuneeseen oppimiseen. Tässä on kuitenkin huomioitava, että myös negatiivisella palautteella voidaan päästä oppimista parantavaan vaikutukseen.

Puolustusvoimissa palautteen antamista käsitellään usein kouluttajan antaman palautteen ja taistelijan motivaation sekä kouluttajan antaman palautteen ja taistelijan taistelusuorituksen välisillä yhteyksillä. Perinteisessä palauttekeskustelussa kouluttajaa pidetään palautetilaisuuden aktiivisena osapuolena, kun taas varusmiestä passiivisena palautteen vastaanottajana. Työelämä tutkimuksissa tämä on todettu siten, että esimies antaa ja alainen joko hyväksyy tai hylkää esimieheltään saamansa palautteen. Tällainen palaute keskittyy vain viestin välittämiseen eikä vuorovaikutukseen. Maasotakoulun simulaattorialan tutkimuksissa on havaittu, että palautteen antamisen lisäksi aktiivinen oppiminen ja kollaboratiivisuus ovat tärkeitä oppimista edistäviä tekijöitä.

Vanha viisaus taistelukoulutuksessa annettavalle palautteelle on, että se kerrottaisiin mahdollisimman nopeasti taisteleville joukoille. Tämä tulisi tehdä ”ennen kuin hiki taistelijan selässä kuivuu”. Tähän suuntaan simulaattoriavusteisen taistelukoulutuksen (KASI) palautteen antamista on tutkimuksen kautta pyritty kehittämään. Palautteen antamisen suuria edistysaskelia puolustusvoimissa oli vuonna 2005 kehitetty liikuteltava opetustila (KASI-EXCON). Tähän tilaan kokoonnuttiin taistelupäivän jälkeen kuuntelemaan palaute (AAR) päivän tapahtumista. KASI-EXCON-konttia käytetään yhä tänä päivänäkin palautteen antamiseen suuremmissa taisteluharjoituksissa. KASI-EXCON-kontin hyviä puolia ovat



Kuva 2. Rauhanajan ja sodanajan järjestelmien synergia simulaattorikoulutuksen tukena.

laajan ja seikkaperäisen palautteen antamisen mahdollisuudet, koska kaikki taistelutapahtumat ovat tallennettuna sen omaan tietokoneeseen. Järjestelmän haasteena on se, että taisteleva joukko ei saa palautettaan nopeasti.

Edellä olevaan haasteeseen ryhdyttiin etsimään ratkaisua vuonna 2014 simulaattorikoulutuksen vaikuttavuustutkimuksella partion, ryhmän ja joukkueen taistelukoulutuksessa. Tutkimuksen yhtenä tavoitteena oli löytää tehokkaampi simulaattoreiden käyttötapa. Tutkimusryhmä päätyi muuttamaan perinteisen ajatusmallin palautteen antamisesta. Perinteisessä mallissa joukko tuodaan palautteen luo, mutta uudessa mallissa palaute tuodaan joukon luo. Tämä oli käänteentekevä muutos simulaattoriavusteiseen taistelukoulutuskulttuuriin. Tänä päivänä tämä muutos näkyy KASI-harjoituksissa joukko-osastoihin hankittuina palauteajoneuvoina. Näiden palauteajoneuvojen avulla palautteet saadaan nopeasti taistelevalle joukolle, ja taisteluharjoitusaikaa säästyy käytettäväksi itse taisteluharjoitukseen siirtymisten sijaan.

Kun KASI-simulaattoreihin liitetyt palauteajoneuvot löytyvät jokaisesta Puolustusvoimien joukko-osastosta, kysymys on silloin hyödyntämään KASI-simulaattoreita parhaalla mahdollisella tavalla? Vastaus tähän on myös yksiselitteinen ei. Maasotakoulussa on alkanut vuonna 2018 Maavoimien käskemä tutkimus, jonka osana tutkitaan rauhanajan ja sodanajan järjestelmien mahdollistamaa synergiaa. Tässä tutkimuksessa KASI-simulaattorin

tuottamaa palautetietoa siirretään sodanajan järjestelmässä (M18) KASI-simulaattorin käyttäjälle. Onnistuessaan tämä toimintatapamalli tulisi tehostamaan simulaattoripalautteen antamista sekä sodanajan järjestelmien käyttämistä.

Kuvassa 2 havainnollistetaan tätä synergiaa. KASI-simulaattorin käyttäjä eli operaattori tekee pääkouluttajan ohjeituksen mukaan videoanimaatioita (palautteita) taistelusta. Operaattori tallentaa nämä videoanimaatiot M18-järjestelmää käyttäen esimerkiksi SUSINETiin, josta toimivat kouluttajat lataavat videoanimaatiot omille päätelaitteilleen ja antavat palautteen omille taistelijoilleen. Videoanimaatioita ei tarvitse kuljettaa palauteajoneuvoilla joukkojen luo, vaan ne jaetaan käyttäen kuituyhteyksiä, MATI2:ta ja RH1:tä.

Kykenemmekö tällä toimintatapamallilla hyödyntämään KASI-simulaattoreita parhaalla mahdollisella tavalla? Vastaus tähän on, että suunta on oikea. Tällä toimintatapamallilla kyetään kehittämään simulaattoriavusteisen taistelukoulutuksen palautteen antamista siten, että se voidaan jakaa useisiin paikkoihin yhtä aikaa. Tällä saavutetaan huomattavaa ajan säästöä verrattuna esimerkiksi palauteajoneuvolla jaettavaan palautteeseen. Palauteajoneuvohan voi olla vain yhdessä paikassa kerrallaan. Samalla rauhanajan simulaattoritietojen liikkuminen M18-järjestelmässä lisää sodanajan järjestelmän käyttöä. Tällöin toteutuu myös vanha totuus taitojen oppimisesta: Taitojen oppiminen vaatii toistoja.

#### Kirjoittaja:

Kasvatustieteen maisteri Timo Härkönen toimii tutkijana Maasotakoulun Simulaattoriosamiskeskuksessa ja tekee simulaattorikoulutukseen liittyvää väitöskirjaa Itä-Suomen yliopistossa.

Simulaattoritutkimuksen työryhmään ovat lisäksi kuuluneet insinöörimajuri Kari Papinniemi, kapteeni Marko Vulli ja kapteeni Timo Valkovirta.









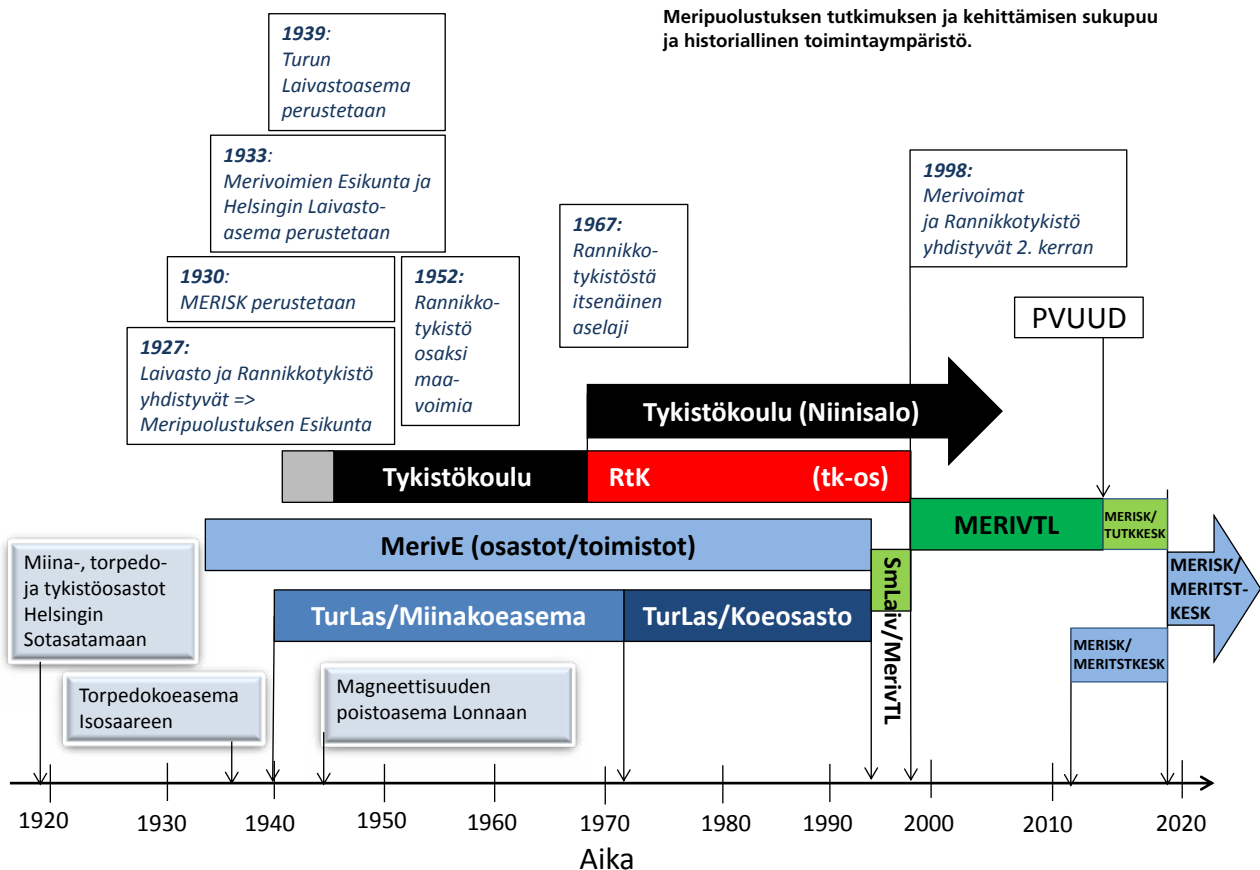
## **Merisotakoulu, Meritaistelukeskus**

# Meripuolustuksen tutkimustoiminnan 100-vuotinen historia

Itsenäisen Suomen Merivoimien ja Rannikkotykistön tutkimuksen ja kehittämisen perinteet alkavat Helsingin Sotasataman perustamisesta Katajanokalle vuonna 1918, jolloin sen ensimmäisen päällikön majuri Georg Höckertin 11.9.1918 antamassa päiväkäskyssä perustettiin Sotasatamaan torpedo-, miina- ja tykistöosastot. Sotasataman organisaatioon kuului myös Melkin saarella sijainnut laboratorio, jonne palkattiin puolustushaaran ensimmäinen tutkija (kemisti) huolehtimaan räjähdysaineiden asianmukaisesta käsittelystä. Rannikkotykistön ja Merivoimien jälleen yhdistyessä vuonna 1998 organisoitiin merivoimallinen tutkimus omaksi joukko-osastokseen, joka sai nimekseen Merivoimien tutkimuslaitos. Sotasataman ensimmäisen päiväkäskyn päivämäärä 11.9. valittiin tuolloin Merivoimien tutkimuslaitoksen vuosipäiväksi. Merivoimien tutkimuslaitos lakkautettiin puolustusvoimauudistuksen yhteydessä vuonna 2013, ja tämän jälkeen on sen entistä vuosipäivää vietetty Merisotakoulussa Merivoimien tutkimuksen perinneypäivänä.

Itsenäisen Suomen Laivaston ensimmäisiä tehtäviä 1920-luvun alussa olivat 1. maailmansodassa Suomenlahteen laskettujen miinojen raivaus ja Suomelle jääneen runsaan venäläisen ja saksalaisen miinakaluston haltuunotto. Tämä tehtävä loi pohjan myös miina-alan tutkimus- ja kehitystyölle, joka on Merivoimissa jatkunut aktiivisena näihin päiviin asti.

Rannikkotykistöllä oli toimintansa alussa samankaltainen tehtävä kuin Laivastollakin eli Venäjän vallan ajalta peräisin olevan, Suomeen jääneen tykkikaluston haltuunotto, johon liittyi huolto- ja koulutustoiminnan aloittaminen. Vuonna 1919 perustettiin Isosaaren tykistökoelasema palvelemaan sekä rannikko- että kenttätykistön koetoimintaa. Siellä otettiin käyttöön monia uusia menetelmiä ja laitteita ensimmäisenä Suomessa. Näistä esimerkkeinä ovat tarkkuuskronografi ammusten lähtönopeuden mittaamiseen ja itse kehitetty painemittauskalusto. Alkuaikoina koetoiminnan johtajana toimi silloinen eversti Vilho Petter Nenonen.



Laivasto ja Rannikkotyökistö yhdistyivät ensimmäisen keran jo vuonna 1927, jolloin muodostettiin Meripuolustuksen Esikunta. Uudessa organisaatiossa asejärjestelmien kehittämisestä vastasi Teknillinen toimisto, jonka ensimmäiseksi päälliköksi määrättiin majuri (myöh. eversti) Juho Rikama. Hänen johdolla toteutettiin uuden tykistödoktriinin mukaiset vaatimukset talvisodan syttymiseen vuonna 1939 mennessä. Doktriinin keskeinen vaatimus oli pyrkimys tykistön tulen massavaikutukseen. Tämä edellytti ammusten kantaman kasvattamista, kaluston modernisointia ja uusia ampumamenetelmiä. Rikaman johdolla kehitettiin 152 mm Canet -tykkikaluston vanhoihin ammuksiin uusi ballistinen kärki, jolla yhdessä muiden pienten parannusten kanssa päästiin n. 30 % suurempaan kantamaan. Rikaman kehittämä oli myös tuon ajan uusi ampumamenetelmä, ns. ”valmistettu ammunta”, joka mahdollisti hajautetun tykkiryhmityksen keskitetyn tulen kaikkiin liikkuviin maaleihin ilmamaalit mukaan luettuna.

### Sotalaivatutkimus alushankintojen tukena

Vuonna 1927 säädetty laivastolaki myönsi nelivuotisen rahoituksen uusien panssarilaivojen, sukellusveneiden ja moottoritorpedoveneiden hankintaan. Uusien alusten ja niiden asejärjestelmien suunnittelutyön alkaminen nosti merivoimallisen tutkimus- ja kehitystoiminnan Suomessa aivan uudelle tasolle. Puolustusministeriössä toimineessa epävirallisessa ”Panssarilaivakomiteassa” oli jäsenenä saksalaisia laivastoasiantuntijoita, jotka olivat osaltaan vaikuttamassa Suomen Laivaston ja Saksan merivoimien yhteistyön tiivistymiseen uusien suorituskykyjen kehittämisessä. Tilattujen alusten rakennusvalvonnasta vastasi puolustusministeriön laivanrakennustoimisto, jonka päällikkönä tuolloin oli komentaja Einar Schwank.

Saksan intressi yhteistyölle oli kiertää Versailles’n rauhansopimuksen sille asettamaa sukellusveneiden rakennuskieltoa kehittämällä uutta sukellusveneteknologiaa maan rajojen ulkopuolella. Tätä varten Saksa oli perustanut Hollantiin (Haag) erillisen insinööritoimiston, NV Ingenieurskantoor voor Sheepsbouw (IvS), joka toimi myös suomalaisten telakoiden (Crichton-Vulcan ja Kone- ja Siltarakennus Oy) suunnittelijana. Merkittävin saksalais-suomalainen kehityshanke oli sukellusvene CV707, joka oli saksalaisen Type II -rannikkosukellusveneen prototyyppi. Saksa tilasi sukellusveneen IvS:n kautta Crichton-Vulkanilta sopimuksella, jossa Suomen valtiolla oli siihen etuosto-oikeus. Saksan merivoimat teki sukellusveneellä salaisista koe- ja koulutustoimintaa Suomen vesialueilla vuosina 1933–34. Eduskunta hyväksyi joulukuussa 1935 lisämenoarvion, jossa myönnettyillä varoilla Puolustusvoimat osti CV707-sukellusveneen itselleen tammikuussa 1936. Uusi sukellusvene kastettiin Vesikoksi, ja se on nykyään museoituna Suomenlinnan Susisaarella.

Sotalaivatutkimus on aina ollut vahvasti sidoksissa Merivoimien alushankkeisiin. Tutkimuskenttä voidaan jakaa kolmeen alueeseen, jotka ovat tuli, liike ja suoja. Liike kattaa vakavuuden, nopeuden, merikelpoisuuden ja ohjailun. Suojaan taas kuuluvat häivetekniikka, vedenalaiset herätteet ja asevaikutus. Nykyaikaisen sotalaivatutkimuksen voidaan katsoa alkaneen Merivoimissa 1980-luvun alussa, jolloin uudelle ohjuskalustolle tarvittiin uusi alustyyppi, jonka keskeisiä vaatimuksia olivat nopeus ja matalakulkuisuus. Nopeuden kasvattaminen edellytti puoliliukuvien runkomuotojen käyttöönottoa, mikä tarkoitti aluksen painon merkittävää vähentämistä. Alumiinin käyttö runkomateriaalina mahdollisti kevyiden alusten rakentamisen. Alumiinin käytölle laivanrakennuksessa ei tuolloin ollut valmiita mitoitusmenetelmiä ja -sääntöjä, joten Merivoimat käynnisti yhdessä VTT:n kanssa monivuotisen tutkimushankkeen aaltokuormien laskentamallin kehittämiseksi ja alumiinin väsymislujuuden määrittämiseksi. Merivoimilla oli tuolloin testialuksena kevyt vartiovene Hurja, jolla saatiin arvokasta mittaustietoa aaltolaskennan perustaksi. Sitä käytettiin myös vesisuihkupropulsioon ensimmäisissä hyvin dokumentoiduissa merikokeissa. Näiden tutkimusten tuloksia hyödyntäen hankittiin Merivoimille alumiinirunkoiset Rauma- ja Hamina-luokan ohjusvenet.

Sotalaivatutkimuksen painopiste siirtyi vuosituhannen vaihteessa taistelunkestävyyteen. Tutkimus loi valmiudet uusien miinantorjunta-alusten (Katanpää-luokka) vastaanottoon liittyvien shokkikokeiden suunnitteluun ja analysointiin. Insinöörikomentaja Jarmo Harras on kirjoittanut tähän kirjaan erillisen artikkelin Merivoimien uuden alusluokan (Laivue 2020) hankintaa valmistelevalta sotalaivatutkimuksesta.

### Miinatutkimuksella pitkät perinteet

Vuoden 1933 organisaatiouudistuksessa Sotasatamasta tuli Helsingin Laivastoasema ja Meripuolustuksen Esikunta muutettiin Merivoimien Esikunnaksi. Vedenalaisen sodankäynnin tutkimus- ja kehitystyötä jatkettiin Merivoimien Esikunnan miina- ja torpedotoimistossa. Toimiston ensimmäiseksi päälliköksi määrättiin komentajakapteeni (myöh. kommodori) Eino Huttunen, jota voidaan pitää suomalaisen miinatutkimuksen perustajana. Hänestä tuli vuonna 1937 Helsingin Laivastoaseman päällikkö ja jatkosodan alusta miina-aseen tarkastaja. Ensimmäinen Suomessa suunniteltu merimiina oli sukellusveneestä laskeutettava sarvimiina S/30, joka kylläkin rakennettiin Ruotsissa. Ensimmäinen kokonaan Suomessa suunniteltu ja valmistettu merimiina oli pallomainen sarvimiina S/40-A. Miina-alan kehitystyö organisoitiin uudelleen talvisodan jälkeen. Turun Laivastoasema oli perustettu 1939, ja sen alaisuuteen siirtyi Helsingistä vuonna 1940 miinakoesasto, jonka nimi muutettiin miinakoesamaksi.



Pohjaan laskettavien herätemiinojen käyttö Itämerellä alkoi yleistyä toisen maailmansodan kestäessä. Sodan loppuvaiheissa etenkin Neuvostoliitto lisäsi voimakkaasti niiden käyttöä pinta-aluksia vastaan. Tämä kasvatti Merivoimissa painetta kehittää herätemiinojen raivauskykyä sekä samalla pienentää omien sota-alusten herätetasoja. Alusten magneettisuuden poistoon liittyvissä toimenpiteissä turvauduttiin Saksan apuun. Saksalaisten asiantuntijoiden avustamana rakennettiin kesällä 1943 Helsingin edustalle Lonnan saareen magneettisuuden poistoasema. Asema saatiin ripeästi operatiiviseen käyttöön, koska Saksan merivoimien esikunnan erikoisyksikkö ”Kommando Entmagnetisierungsgruppe” laati aiheesta suomenkielisen ohjekirjan. Asema oli Merivoimien käytössä 1980-luvulle asti, ja sen jälkeen kaikki alusten vedenalaisiin herätemitauksiin liittyvät toiminnot siirrettiin vähitellen Kemiön varikkoalueelle.

Sodan jälkeen katkesi tutkimus- ja kehitystoiminta Merivoimissa pitkäksi aikaa, ja se alkoi hitaasti elpyä vasta 1950-luvun jälkipuoliskolla. Merkittävin tuolloin käynnistynyt vedenalaisen sodankäynnin kehityshanke oli saaristokäyttöön tarkoitettu sarvimiina S/58. Siitä tuli yksi Merivoimien päämiinatyyppi, joka oli käytössä vielä 2000-luvulla. Sen kehittämiseen liittyvää koetoimintaa tehtiin Ruissalon Kallanpään miinakoeasemalla 1960-luvun alkuvuosina. Miinakoeaseman nimi muuttui vuonna 1972 Koeosastoksi, joka kahta vuotta myöhemmin siirrettiin salmen toiselle puolelle Pansion varuskunta-alueelle. Turun Laivastoaseman Koeosaston ensimmäinen päällikkö oli komentaja Eero Auvinen. Miina-alan kehitystyötä jatkettiin Koeosastolla vuoteen 1994, jolloin sen toiminnot siirrettiin silloisen Saaristomeren Laivaston alle perustettuun Merivoimien tutkimuslaitokseen, josta tuli vuonna 1998 itsenäinen joukko-osasto. Sen vuonna 2013 tapahtuneen lakkauttamisen jälkeen vedenalaisen sodankäynnin tutkimus siirrettiin Merisotakouluun, jossa se jatkuu edelleen osana Merivoimien tutkimus- ja kehitystoimintaa. Insinöörikommentaja Jari Vainio on kirjoittanut tähän kirjaan erillisen artikkelin Merivoimien herätemiinatutkimuksesta.

## Torpedon paluu

Torpedosta oli 1930-luvun alussa, uuden aluskaluston käyttöönoton myötä tullut tärkeä vedenalainen asejärjestelmä, joka oli asennettu uusiin sukellusveneisiin ja moottoritorpedoveneisiin. Uuden asean tehokas käyttö edellytti kuitenkin systemaattista koetoimintaa, jonka avulla opittiin torpedon käyttäytyminen ja sen hallinta erilaisissa käyttöolosuhteissa. Vuoden 1961 torpedopalvelusohjesäännössä määriteltiin koetoiminnan päämäärä seuraavasti: ”Torpedokoeammunnan päämääränä on koekäytön ja tarkastuksen tutkimista ja selvittää kaluston taistelukelpoisuus”. Torpedokoeaseman rakentaminen aloitettiin

Helsingin edustan Isosaarella vuonna 1933, ja se valmistui saaren itälaidalla sijaitsevalle Peninniemelle vuonna 1936. Uusi ajanmukainen maanalainen torpedovarasto valmistui Vallisaareen vuonna 1942.

Merivoimissa käynnistettiin 1960-luvun alussa suomalaisen sähkötorpedon kehittämiseksi projekti, jota johti Merivoimien yli-insinööri, insinöörikommodori Esko Huhta-Koivisto. Tähän liittyvää koetoimintaa tehtiin Isosaarella vielä vuonna 1967, mutta tämän jälkeen kaikki koetoiminta siirtyi vähitellen Upinniemen uudelle torpedokoeasemalle. Ohjusaseen käyttöönotto merivoimissa 1970-luvulta lähtien korvasi vähitellen moottoritykkiveneeltä (Nuoli-luokka) ammuttavan raskaan torpedon roolin kaukaisten pintamaalien torjunnassa. Sähkötorpedoa ei myöskään saatu riittävän toimintavarmaksi, joten projekti lopetettiin 1980-luvun alussa Merivoimien silloisen komentajan päätöksellä.

Melkein 40 vuoden hiljaiselon jälkeen on torpedoaselaji jälleen palaamassa Merivoimien suorituskyvyksi Hamina-luokan ohjusveneen peruskorjauksen ja uuden Laivue 2020 -alusluokan myötä. Uutta kevyttorpedoa (LWT=Light



Torpedopajassa tarkastetaan ja todetaan jokaisen torpedon kunto. Helsingin Laivastoasema, 1942. (SA-kuva / Pauli J. Wiro)



Upinniemen vanha torpedokoeasema. (Kuva: Ari Poikonen)



Pääministeri Mauno Koivisto tutustuu vedenalaiseen valvontaan Turun rannikkotyöstörykmentin alueella 1980-luvun alussa, jolloin oli käytössä Pääesikunnan Sähköteknillisen Tutkimuslaitoksen 1970-luvulla kehittämä vedenalainen valvontalaitteisto.

Weight Torpedo) ei enää ole tarkoitettu torjumaan kaukaisia pintamaaleja, vaan se on selkeästi sukellusveneentorjunnan (SUTO) ase.

### Vedenalaisen valvonnan kehitystyö

Vedenalainen äänimaailma avautui Merivoimille 1930-luvun alussa uusien sukellusveneiden vesikuuntelujärjestelmien myötä. Tuon ajan kehittyneimmät laitteet olivat sukellusveneillä Iku-Turso ja Vesikko. Ensimmäisiä kiinteisiin rannikkokuuntelujärjestelmiin liittyviä kokeita tehtiin jo vuosina 1935–36. Näiden kokeiden tuloksia esitettiin kapteeniluutnantti Kalervo Kijasen Sotakorkeakoulussa vuonna 1937 laatimassa diplomityössä Mitä välineitä ja toimenpiteitä vaatii Venäjän meitä vastaan kohdistamien sukellusvenneiden toiminnan torjumisen. Nykytermein tätä opinnäytettä voisi kutsua Merivoimien ensimmäiseksi vedenalaisen sodankäynnin konseptiksi.

Kotimaisten vedenalaisten valvontajärjestelmien kehitystyö alkoi 1960-luvun lopulla, jolloin Merivoimien Esikunnan Laboratorio kehitti rannikkokuuntelulaitteen RKL-67. Se oli 5-kanavainen vesikuuntelujärjestelmä, jossa hydrofonisignaalit voitiin tallentaa järjestelmään integroidulle kevyelle kelanauhurille. Samalla analogiatekniikalla toteutettiin kevyt 2-kanavainen vesikuuntelulaite VKL-71, joka mahdollisti liikkuvan vedenalaisen valvonnan. Valvontajärjestelmien kehitystyö siirtyi 1970-luvulla Pääesikunnan Sähköteknilliselle Tutkimuslaitokselle Espoon Kivenlahteen. Uusina ominaisuuksina mukaan tulivat järjestelmän digitaalinen ohjaus ja hydrofonien ryhmitys pareiksi, mikä mahdollisti äänen tulosuunnan (kaksikäsitteisen) määrittämisen kulku-aikaviiveen perusteella. Tämän uuden järjestelmän kaupallinen valmistus siirtyi Elesco Oy:lle. Järjestelmä sai nimen m/80, ja siitä tuli 1980-luvun loppuun mennessä Puolustusvoimien vedenalaisen valvonnan pääkalusto.

Kehityksen seuraava vaihe oli kolmen hydrofonin yksiköiden (telien) käyttöönotto. Hydrofonien keskinäisten



Vedenalaista äänilähdettä nostetaan koetoiminta-alus Iskun peräkannelle. (Kuva: Ari Poikonen)

kulku-aikaviiveiden määrittäminen korrelaatiotekniikalla mahdollisti äänen yksikäsitteisen tulosuunnan määrittämisen. Vaihtoehtoisesti kanavien spektrin vaiheinformaation perusteella kyettiin äänen eri taajuuskomponentteihin liittämään tulosuunta. Näillä ominaisuuksilla syntyi kapeikkovalvontajärjestelmä KVJ. Se joutui kuitenkin kilpailutilanteeseen, kun Finnyards Elektronikka (myöh. Patria) tarjosi Merivoimille akustiseen keilanmuodostukseen perustuvaa lineaariantenni (hydrofonikaapeli) -järjestelmää. Yhtiö oli jo toimittanut Helsinki-luokan ohjusveneille samalla periaatteella toteutetun hinattavan kuuntelujärjestelmän PTA (Passive Towed Array). Merivoimat valitsi keilanmuodostustekniikan, jolloin m/80-kalustoa täydentämään syntyi uusi PFA (Passive Fixed Array) -järjestelmä. PFA-sarjajärjestelmät asennettiin rannikolle 2000-luvun puoleenväliin mennessä.

Vuosituhaten alussa alkoi siirrettävän vedenalaisen valvontajärjestelmän määrittely. Vaatimuksena oli, että vedenalaisen valvonnan painopistettä tulisi kyetä dynaamisesti siirtämään rannikon vedenalaisille kulku-urille kulloisenkin uhkatilanteen mukaisesti. Uusi järjestelmä kehitettiin Merivoimien ja Patrian yhteistyönä, ja se sai



Vedenalaisen taistelunkestävyyden koetoimintaa: vedenalainen räjähdys käytöstä poistetun Helsinki-luokan ohjusveneen vieressä. (Kuva: Merisotakoulun kuva-arkisto)

nimekseen siirrettävä uravalvontajärjestelmä SURA. Laitteiston keveys ja liikuteltavuus saatiin aikaan akkukäytön mahdollistavalla, erittäin pienitehoisen elektroniikan käytöllä ja kupariset merikaapelit korvaavilla optisilla kuitulinkeillä. SURA-järjestelmä demonstroitiin vuonna 2006, ja se tuli täydentämään rannikon kiinteää vedenalaista valvontaa 2010-luvun loppupuolella.

## Rannikkotykkistön teknillinen kehittäminen

Rannikkotykkistö siirrettiin Merivoimista maavoimiin jo vuonna 1952, mutta se sai itsenäisen aselajin aseman vasta vuonna 1967, jolloin Pääesikuntaan perustettiin rannikkotykkistön tarkastajan johtama rannikkotykkistötoimisto. Rannikkopuolustuksen kehittämisen ehkä merkittävin ajanjakso käynnistyi 1970-luvun alussa, jolloin silloinen, asiantuntijoista koostuva rannikkopuolustus-toimikunta julkaisi mietintönsä RPT-72. Mietintö antoi operatiiviset, teknilliset ja taloudelliset perusteet rannikkopuolustuksen kehittämiseksi. Suunnitelman sisältöä tarkennettiin vielä tulevien parlamentaaristen puolustuskomiteoiden linjauksilla. Rannikkotykkistön ammunnan hallinta ja merivalvonta yhdistettiin saman laskinjärjestelmän alle, jolloin syntyivät RAVAL-järjestelmä ja myöhemmin 1990-luvulla hajautetumpi ja siten paremmin taistelua kestävä RANTA-järjestelmä. RAVAL-järjestelmään hankittiin ruotsalaiset hyppivätaajuiset FIKA-tutkat, joihin kehitettiin kotimainen käyttöliittymä näyttölaitteineen.

Rannikkotykkistö siirtyi ohjusaikaan 1960-luvun alussa. Ensimmäinen Suomeen hankittu merimaaliohjus oli ranskalainen, alun perin pst-ohjukseksi suunniteltu SS-11,

josta merimaalitaistelukärjellä varustettuna muodostui Rannikkotykkistön RO-63-kalusto. Meritorjuntaohjuksen MTO-66 hankinta toteutettiin Merivoimien ja Rannikkotykkistön yhteishankkeena. Ohjuskoetoiminta aloitettiin Hangon Rannikkopatteristossa Hästö-Busön linnakkeella, jossa ensimmäiset ohjusammunnat tehtiin kiinteältä lavetilta vuonna 1968. Seuraavan sukupolven meritorjuntaohjukselle MTO-85 suunniteltiin myös liikuteltava lavetti Rannikkotykkistön käyttöön. Rannikkotykkistön meritorjuntapatteri -hanke (RAMETO) johti ensimmäisen meritorjuntapatterin perustamiseen Rannikkotykkistökoulun yhteyteen syksyllä 1987.

Sodan jälkeisen ajan merkittävimmät tykkikaluston kehittämishankkeet olivat tornikanuunat 100 56 TK ja 130 53 TK. Kevyempi tykki (100 TK) kehitettiin neuvostoliittolaisen T55-panssarivaunun tornikanuunasta, joka pultattiin kiinteästi kallioon louhittuun tai betonikasemattiin rakennettuun asemaan. Ratkaistavaksi ongelmaksi muodostui rekyylin kumoaminen kiinteässä asennuksessa – panssarivaunussahan se tapahtuu vaunun keinahuksella. Tykkiin onnistuttiin suunnittelemaan toimivat jousto- ja palautinlaitteet, jotka vaimensivat rekyylin vaaditulle tasolle. 100 millimetrin tykin etuja olivat sen pitkän putken aikaansaama suuri lähtönopeus ja ammusten yhteensopivuus Suomeen 1960-luvun alussa Neuvostoliitosta hankittujen Hämeenmaa-luokan saattajien laivatykkien kanssa. Ensimmäinen nelitykkinen 100 TK -patteri asennettiin Hangon Tulliniemeen kesällä 1970.

Ensimmäinen parlamentaarinen puolustuskomitea suositteli jo 1970-luvun alussa selvityksen tekemistä rannikkotykkistön silloisen pääkaluston (152/50 T) korvaamisesta modernilla raskaalla tornikanuunalla. Toinen parlamentaarinen puolustuskomitea suositteli siihen mennessä tehtyjen selvitysten ja työn pohjalta raskaan pääkaluston korvaamista tärkeimmillä alueilla kotimaisilla 130 mm:n tornikanuunoilla. Selvitystyön alkuvaiheessa oli mukana Boforsin patruunalaukauksia ampuva 120 mm:n tornikanuuna, jonka laivaversio oli jo hankittu Merivoimien tykkiveneisiin. Etuna olisi tällöin ollut samat ampuatarvikkeet sekä rannikkotykkistön että merivoimien tykeille. Puolustusvoimien asiantuntijat pitivät kaliiperia kuitenkin liian pienenä, ja tykin automaattinen latausjärjestelmä oli kallis. Ratkaisuksi ajateltiin neuvostoliittolaista 130 mm:n kanuunaa, joita oli jo hankittu kenttätykkistölle ja moottoroidulle rannikkotykkistölle. Neuvostokaluston käytöstä kuitenkin luovuttiin ja päädyttiin kotimaiseen kehityshankkeeseen. Kehityshankkeen toteutti Oy Tampella Ab alihankkijoineen, ja kehitystyöhön osallistuivat Pääesikunnan rannikkotykkistötoimiston lisäksi sen sähkö- ja asetekniset osastot. Uuden kaluston sarjahankintasopimus allekirjoitettiin vuonna 1982, ja tykkien asennukset jatkuivat vuoteen 1990 saakka.





Rannikkotykin 152 50 T kehittämiseen liittyvä koeammunta Katajaluodossa 1950-luvulla. (Kuva: Tampellan arkisto / Ove Enqvist)

Kummankin tykkityypin kanssa ongelmaksi muodostui alusmaalien torjuntaan sopivien merimaalikranaattien saatavuus. Neuvostoliitto kieltäytyi myymästä 130 mm:n merimaalikranaatteja, koska Suomi ei ollut hankkinut niihin liittyviä aseita – eli laivatykkeitä. Rannikkotykistö aloitti soveltuvan merimaalikranaatin kehitystyön 1980-luvulla yhdessä ulkomaisen yrityksen kanssa. Ulkomainen yhteistyökumppani vaihtui vuosikymmenen lopulla, ja kehitystyötä tehtiin koko 1990-luvun ajan. Merimaaliammusten sarjatuotanto alkoi 2000-luvun alussa. Merimaalisyöttimen ja ammuksen kantamaa kasvattavan perävirtausyksikön toimitti ulkomainen yritys, mutta ammusten kuoret valmisti kotimainen Patria Vammass Oy. Rannikkotykistölle kehitettiin ja hankittiin myös muita uusia asejärjestelmiä. Näitä ovat erilaiset pimeänäkölaitteet, uudet lasersuuntimet ja rannikkotutkat, uudet rannikko-ohjukset RO-63:n tilalle ja erilaiset nopeat alukset huolto- ja rannikkojalkaväen kuljetuksiin.

## Lopuksi

Itsenäisenä joukko-osastona toiminut Merivoimien tutkimuslaitos (MERIVTL) lakkautettiin puolustusvoimauudistuksen yhteydessä vuoden 2013 lopussa. Tällöin eri puolustushaaroille yhteiset tutkimusalat, kuten pinta-aseet ja -valvonta, siirrettiin Puolustusvoimien uuteen tutkimuslaitokseen. Merivoimien omat tekniset tutkimusalat, sotalaivatekniikka, vedenalainen sodankäynti ja merellinen koetoiminta, siirrettiin Merisotakoulun uuteen tutkimuskeskukseen. Merivoimien tutkimuslaitoksen henkilöstön vahvuus oli suurimmillaan n. 60, kun mukaan luetaan laitoksen hallinto-osat. Vuonna 2017 Merisotakoulun tutkimuskeskuksen henkilöstövahvuus ilman hallintoa oli n. 20. Tutkimuskeskukseen kuuluvat vedenalaisen valvonnan ja laiva-alan tutkimussektorit Suomenlinnassa sekä vedenalaisen sodankäynnin tutkimussektori ja mittaus- ja koetoimintasektori Turussa.

Tutkimuskeskus ja aiempi Meritaistelukeskus yhdistettiin vuoden 2019 alussa yhdeksi joukkoyksiköksi Merisota-

koulussa. Uuden tutkimusyksikön (Meritaistelukeskus) tehtäviin kuuluu teknisen tutkimuksen ja kehittämisen lisäksi merivoimien operatiivisten konseptien ja suorituskykyjen käyttöperiaatteiden tutkiminen, testaaminen ja kehittäminen. Organisaatiomuutoksen tavoitteena on Merivoimien suorituskyvyn käyttöperiaatteiden tutkimuksen sekä teknis-luonnontieteellisen tutkimustoiminnan integroiminen aiempaa tiiviimmin yhteen, T&K-toiminnan laadun ja vaikuttavuuden lisääminen, Merisotakoulun T&K-organisaation toimintavalmiuden parantaminen sekä sen poikkeusolojen toimintaedellytysten turvaaminen.



Merivoimien teknillisen tutkimuksen entistä ja nykyistä johtoa ryhmäkuvassa 2017. Vasemmalta MERIVTL: ins.komdri Pekka Lopmeri (2001–2006), ins.komdri Alpo Tuurnala (1994–2000), ins.komdri Pekka Kannari (2007–2013), MERISK/Tutkimuskeskus: dosentti, TkT Ari Poikonen (2014–2018). (Kuva: Jyri Jänne)

### Kirjoittaja:

Dosentti, TkT Ari Poikonen toimii Merisotakoulun tutkimusjohtajana.



# Herätemiinojen kehitystyö Merivoimissa



Kuva 1. Suomalainen meripuseeri tarkastelee saksalaisvalmisteista RMA-herätemiinaa 1950-luvulla.  
(Kuva: Merisotakoulun kuva-arkisto)

Merimiinoittamisella suojataan omien alusyksiköiden toimintaa, rajoitetaan vastustajan toimintaa ja estetään vihollisen pääsy oman toimintamme kannalta tärkeille merialueille.

Laajemmassa mittakaavassa nykyisen kaltaisia merimiinoja käytettiin ensimmäisen kerran Krimin sodassa 1850-luvulla, jolloin Venäjän laivasto laski noin 1 500 merimiinaa Suomenlahdelle. Venäläisten merimiinat olivat tyypiltään kosketusmiinoja, joita oli kehittämässä mm. herra nimeltä Immanuel Nobel, tunnetun Alfred Nobelin isä. Venäläisten miinoitteet tiettävästi estivät liittoutuneiden maihinnousun mm. Kronstadtin ja Viaporiin. Sen sijaan Bomarsundin linnoitusta ei ollut suojattu miinoitteilla ja liittoutuneet tuhosivat sen perusteellisesti.

Merimiinoittamisella kyetään kiistämään vastustajalta vapaa merenkäyttö, sulkemaan väylä- ja merialueita sekä torjumaan pinta- aluksia ja sukellusveneitä.

## Kehitystyön alku

Suomessa merimiinojen kehitystä on tehty jo itsenäisyytemme alkua ajoista saakka. Suomen itsenäistyttyä vuonna 1917 venäläisen miinakaluston haltuunotto ja saksalaisilta jääneet miinat muodostivat lähtökohdat itsenäisen Suomen merimiinakalustolle. Tuolloin luotiin myös perusteet merimiinojen tekniselle tutkimukselle sekä koulutukselle. Ne olivatkin ensimmäisiä itsenäisen Suomen merivoimien historiaan liittyviä tutkimus- ja koetoimintoja.

Heräteimiina on yleensä merenpohjaan laskettu pohjamiina, joka laukeaa aluksen aiheuttamasta herätteestä tai useamman herätteen yhdistelmästä. Heräteimiinat voivat olla myös välivedeen ankkuroituja tai kohteeseen hakeutuvia miinan ja torpedon yhdistelmiä.



Heräteimiinoiden kehitystyö on tiettävästi alkanut ensimmäisen maailmansodan aikana Englannissa, sillä Royal Navy suoritti ensimmäisen heräteimiinoin perustuvan miinoitusoperaationsa vuoden 1918 syksyllä. Heräteimiinoiden laajamuotoinen sarjatuotanto alkoi sittemmin 1930-luvulla Englannissa ja Saksassa. Suomessa heräteimiinoiden ominaisuuksiin tutustuttiin toisen maailmansodan aikana saksalaisten antaman aseavun turvin saksalaisvalmisteisten RMA-heräteimiinoiden myötä. Suomalaiset käyttivät sotatoimissa RMA-heräteimiinoja ensimmäisen kerran kesällä 1941 Hangon edustalla sijainneessa miinoitteessa. Toisen maailmansodan aikana Suomenlahdesta tulikin eräs maailman miinoitetuimmista merialueista, sillä suomalaiset, saksalaiset ja neuvostoliittolaiset laskivat sinne yhteensä noin 70 000 merimiinaa ja raivausestettä.

RMA-heräteimiinaa kutsuttiin ”kilpikonnamiinaksi” sen yläosan kaarevan muodon vuoksi. Miinan toiminta perustui hienomekaaniseen herätekkoneistoon, joka kykeni erottamaan paikallisen magneettikentän muutoksen. Miinan lähistöllä kulkenut alus aiheutti magneettisen neulan kääntymisen ja laukaisi miinan.

Toisen maailmansodan jälkeisessä Suomessa heräteimiinoja ei voitu kehittää, koska Suomelle asetetuissa sotilaallisissa rajoituksissa kiellettiin heräteimiinoiden käyttö:

*”Suomi älköön pitäkö, valmistako tai kokeilko mitään... kosketuksetta räjähtäviä herkkyyssmekanismien avulla sytytettäviä merimiinoja”. (Pariisin rauhansopimus v. 1947)*

## Omaa kehitystyötä

Parikymmentä vuotta myöhemmin vuonna 1965 Neuvostoliitto tarjosi Suomelle mahdollisuuden ostaa heräteimiinoja, mutta ilmeisesti poliittisista ja sotilaallisista syistä miinakauppoihin Neuvostoliiton kanssa ei kuitenkaan ryhdytty. Osittain tästä syystä Suomessa pääteltiin, että rauhansopimuksessa määritellyt kiellot eivät ehkä olleet

kaikilta osin enää voimassa. 1960-luvun puolivälin jälkeen aloitettiin kaikessa hiljaisuudessa kotimaisen heräteimiinan kehitystyö. Herätekkoneiston kehitystyö naamioitiin heräteimiinoiden raivaukseen käytettäväksi harjoituslaitteeksi, vaikka sen todellinen käyttötarkoitus oli tietenkin heräteimiinan koneisto. Samaan aikaan kehitettiin heräteimiinaa varten myös räjähdelataus, joka peiteltiin kosketusmiinan kehitystyökseksi, koska kosketusmiinoiden käyttöä rauhansopimuksessa ei Suomelta ollut erikseen kielletty. Kehitystyön aikana räjähdelataukselle annettiin nimi Elementtimiina EM-75, joka koostui seitsemästä vierekkäin asennetusta kiekon muotoisesta trotyylielementistä.

**Heräteimiinan teho perustuu miinanräjähdysen aiheuttamaan paineiskuun, joka kuormittaa aluksen runkoa ja vaurioittaa aluksen laitteistoa (moottorit, potkuriakselisto, ohjausjärjestelmät, ase- ja sähköjärjestelmät).**

## Tuotannon aloitus

Heräteimiinan kehitystyön aikana 1980-luvun puolivälissä Suomi sai hankittua heräteimiinoja idästä ja lännestä, Neuvostoliitosta ja Englannista. Näiden tehtyjen asekauppojen perusteella katsottiin Pariisin rauhansopimuksen rajoitteiden rauenneen ja uskallettiin jatkaa kotimaisen heräteimiinan kehitystyötä julkisesti. Pitkän 25-vuotisen kehitysjakson päätteeksi aloitettiin vihdoin heräteimiinoiden tuotantovaihe 1990-luvun alussa, jolloin Merivoimien kalustoon lisättiin kotimainen heräteimiina nimeltään Pohjamiina PM90. Kuvassa 2 on esitetty Pohjamiina PM90:n harjoitusversio.

Pohjamiina PM90:n herätekkoneisto oli analogiaelektroniikkaa, ja sen toiminta perustui akustisen ja magneettisen herätteen yhdistelmään. Miinan kehitysaikana ei ollut saatavissa sopivia kaupallisia sensoreita, jolloin hydrofoni ja magnetometri kehitettiin itse kuten muukin koneisto.



Kuva 2. Pohjamiina PM90:n harjoitusversio.  
(Kuva: Merisotakoulun kuva-arkisto)

## Tutkimuksen avulla uuden suunnittelua ja toteutusta

1990-luvun alkupuolella ulkomailta hankitusta herätemiinalustosta alkoi olla vanhentunutta niin elektroniikaltaan kuin latauksiltaan. Lisäksi koettiin, että ulkomailta hankittujen, alun perin ilmasta tai sukellusveneestä ensisijaisesti laskettavaksi suunniteltujen herätemiinoinen muoto ei ollut myöskään tarkoituksenmukaisin pinta-aluksilta tapahtuvaan mereen laskuun. Ulkomaiset miinat olivat sylinterimäisiä, hyvin pitkiä ja veivät siten paljon tilaa alusten kansilla. Suomessa kehitetyissä miinoissa on huomioitu erityisesti niiden soveltuvuus pinta-aluksilta tapahtuvaan mereen laskuun, sillä miinoinen rakenne on lyhyt ja vie vähän aluksen kansitilaa.

Poistuvan miinalustuksen korvaava, uuteen miinatyyppiin tähtäävä Miina 2000 -hanke tuotti kotimaisen herätemiinan PM04:n. Uuden miinan kehittämiseen tähtäävät ensimmäiset tutkimukset suoritettiin vuonna 1993 MATINE-rahoituksen turvin. Hankkeen aikana toteutettiin useita tutkimuksia mm. akustisesta signaalinkäsittelystä ja paikannuksesta, sytytysketjusta, miinan kuoren materiaalista ja muotoilusta



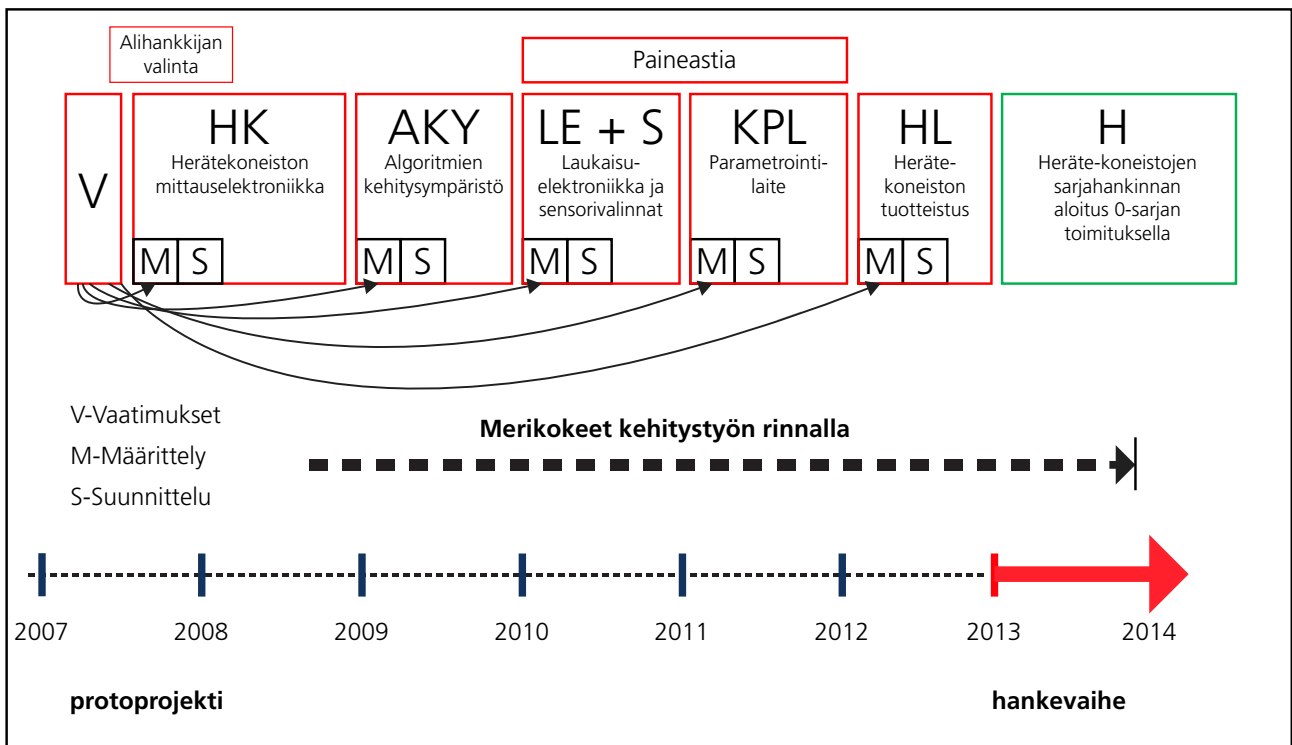
Kuva 3. Herätepohjamiina PM04:n harjoitusversio.  
(Kuva: Merisotakoulun kuva-arkisto)

sekä epäherkästä räjähdysaineesta. Kuvassa 3 esitetty herätepohjamiina PM04 saavutti operatiivisen valmiuden 2000-luvun loppupuolella ja oli ensimmäinen täysin digitaalinen ja ohjelmistopohjainen kotimainen merimiina.

Herätepohjamiina PM04 tuotettiin yhteistyössä Patria Oy:n johdolla usean suomalaisen teollisuusyrityksen kanssa, jotka olivat osallistuneet miinan kehitystyöhön. Yksi keskeisimmistä toimijoista oli miinan epäherkän räjähdysaineen kehittänyt ja toimittanut Oy Forcit AB. PM04:n herätekoniston toiminta perustuu mm. magneettiseen, akustiseen ja paineherätteeseen. Hankkeen aikana PM04-järjestelmä tuotettiin vastaamaan myös Merivoimien koulutus- ja tutkimustarpeita taistelu-, raivausharjoitus-, käsittelyharjoitus- ja tutkimusmiinoina.

2000-luvun loppupuolta lähestyttäessä Pohjamiina PM90:n analogisten herätekonistojen toimintavarmuus oli käännytynyt laskusuuntaan, sillä mm. itse tehdyissä hydrofoneissa oli havaittu vesivuotoja. Heikkenevän toimintavarmuuden myötä päätettiin aloittaa vuonna 2007 korvaavan PM-90MOD:n herätekoniston suunnittelu. Herätekoniston suunnittelutyö jaettiin kuvan 4 mukaisesti osakokonaisuuksiin, joiden lopputuotoksena oli miinassa toimiva prototyyppi. Koska herätepohjamiinassa on kyse pelkistetyimmillään mittalaitteesta, projektin ensimmäinen ja tärkeä vaihe oli kehittää vähän energiaa kuluttava mittaus-elektronikka. Projektin eräs tärkeimmistä vaatimuksista oli myös se, että Merivoimilla oli oltava oma kyky miina-algoritmien ja toimintaparametrien tuottamiselle.

Herätekonistojen hankevaiheen aluksi kehitetylle PM-90MOD-prototyypille suoritettiin tuotteistamisvaihe, jolla herätekonisto hiottiin sarjavalmistukseen sopivaksi. Vaatimusmäärittelyssä edellytettiin lisäksi, että samaa herätekonistotyyppiä on kyettävä käyttämään myös muissa merimiinatyypeissä. Tätä vaatimusta hyödynnettiin seuraavassa merimiinahankeessa, koska Merimiina PM16 on varustettu PM90MOD-herätekonistolla ja lisäksi sen taistelulatauk-



Kuva 4. Pohjamiina PM90MOD:n heräte-koneiston protoprojekti.

nessä on hyödynnetty PM04:n kehitystyön aikana kehitettyjä räjähdertarkaisuja.

Herätepohjamiinat PM16 ja PM90MOD pystyvät havaitsemaan kohteen mm. paineen, akustisen, magneettisen ja seismisen herätteen sekä vedenalaisen sähköpotentialiaalin perusteella.

Merimiina on Merivoimille tärkeä strateginen kynnyksjärjestelmä, jolla kyetään sekä ennalta ehkäisemään että aiheuttamaan välittömästi huomattava uhka viholliselle. Historia on osoittanut, että alkeellisinkin merimiina voi rajoittaa teknisesti kehittyneen vastapuolen toimia. Yhdysvaltain merivoimat kuvasi tilannettaan Korean sodassa vuonna 1950 seuraavasti:

*"We have lost control of the seas to a nation without Navy, using pre-World War I weapons, laid by vessels that were utilized at a time of the Birth of Christ". (ADM Smith, USN)*



Kuva 5. Herätepohjamiina PM16. (Kuva: Merisotakoulun kuva-arkisto)

**Kirjoittaja:**

Insinöörikommentaja, tekniikan tohtori Jari Vainio toimii sektorinjohtajana Merisotakoulun Meritaistelukeskuksen vedenalaisen sodankäynnin tutkimussektorilla.



# Sotalaivatekniikan tutkimus

**Tässä artikkelissa tarkastellaan sotalaivatekniikan tutkimusta vuosien 2008–2016 aikana Laivue 2020 -hankkeen näkökulmasta. Tarkasteltavat tutkimukset ovat olleet lähtökohtana vuonna 2017 käynnistyneelle Laivue 2020 (LV2020) -laivan perussuunnittelulle.**

Sotalaivatekniikan tutkimus siirtyi Merivoimien esikunnasta Merivoimien tutkimuslaitokselle vuonna 2008, ja samalla tutkimuslaitoksen tutkimus- ja kehittämisosastolle perustettiin laivatekniikan tutkimusala. Tutkimusalan päätehtäväksi tuli tulevaisuuden taistelualushankkeen, joka myöhemmin nimettiin Laivue 2020 -hankkeeksi, laivatekninen tutkimus. Tämän tutkimuksen voidaan katsoa jatkuneen aina vuoden 2016 loppuun saakka, jolloin laivan esisuunnitteluvaihe päättyi. Puolustusvoimauudistuksen myötä laivatekniikan tutkimus siirtyi vuonna 2014 Merisotakouluun perustettuun tutkimuskeskukseen laiva-alan tutkimussektorille. Samalla materiaaliprojekteihin liittyvä kehitystyö siirtyi Merivoimista Puolustusvoimien logistiikkalaitokselle. Vuoden 2019 alussa toimeenpannun Merisotakoulun organisaatiouudistuksen myötä laivatekniikan tutkimus jatkuu uuden Meritaistelukeskuksen laivatekniikan tutkimussektorilla.

## Laivateknisten taustatietojen tutkimus

Tulevaisuuden taistelualuksen laivateknisten taustatietojen tutkimus käynnistettiin vuonna 2008. Tutkimuksen tavoitteena oli kartoittaa keskikokoisten pintataistelualusten ominaisuuksia ja teknisiä ratkaisuja. Samalla pyrittiin havainnoimaan, miten kansainvälisissä laivakonsepteissa oli huomioitu Suomen Merivoimien tehtäviin ja toimintaympäristöön liittyviä tekijöitä, kuten merimiinoitus, jäissäkulkukyky ja matalat kulkuväylät.

Vuonna 2009 valmistuneessa tutkimuksessa saatiin perustietoja 25 fregatin, korvetin ja vartiolaivan laivatekniikasta, operoinnista sekä pääasejärjestelmistä. Näiden tietojen perusteella voitiin myös havaita, että kansainvälisissä sotalaivakonsepteissa ei ollut huomioitu Merivoimiemme erityispiirteitä, joten valmiin konseptin soveltaminen vaikutti jo tässä vaiheessa epävarmalta.

Koska valmista konseptia ei ollut, teetettiin vuosien 2009–2014 aikana konseptisuunnitelmia, joiden avulla pyrittiin arvioimaan vaatimusten vaikutusta laivaan. Tutkimustulokset tukivat oletusta vaatimusten ja taistelujärjestelmän sekä henkilöstön vaikutuksesta laivaan ja sen kokoon. Samalla myös todettiin, että vaadittujen monimuotoisten toiminnallisuuden huomioiminen edellyttää vaatimusten lisäksi tiivistä vuorovaikutusta suunnittelijoiden, asiakkaan teknisen henkilöstön sekä käyttäjien välillä.

Laivateknisten taustatietojen tutkimuksen eräs johtopäätös oli, että koneistovaihtoehtojen yksityiskohtaisemmalle tutkimukselle oli tarvetta. Vuosina 2014–2015 laaditussa koneistotutkimuksessa tarkasteltiin keskikokoisiin pintataistelualuksiin sopivia kuljetuskoneistoja. Tarkastelu koostui koneistovaihtoehtojen esittelystä ja vertailuista sekä yhteenvedoista olemassa olevien aluksien koneistoista ja tutkimuksen aikana havaituista koneistojen ominaisuuksista.

## Runkomuototutkimus

Taistelualusten jäissäkulkukyky ei ole ollut yleismaailmallisesti merivoimille merkittävä kysymys, ja taistelualukset onkin yleensä suunniteltu sekä rungoltaan että potkureiltaan avovesiolosuhteisiin. Esimerkiksi laivateknisten taustatietojen tutkimuksen aluksista ainoastaan kahdella oli ylipäätään maininta jääolosuhteista. Suomen Merivoimien kannalta



Kuva 1. Runkomuodon testausta mallilla jäämallikoelmaassa. Kuva on otettu aluksen alapuolelta. (Kuva: Jarmo Harras)

jäissäkulkukyky on kuitenkin oleellinen tekijä ympärivuotisen toimintakyvyn varmistamiseksi ainakin vielä lähivuosikymmeninä, vaikka ilmastonmuutos voi pidemmällä aikavälillä vaikuttaa tähänkin asiaan. Toisaalta kansainvälisesti ilmastonmuutos on jo vaikuttanut siten, että taistelualusten jäissäkulkukyky on noussut esille arktisen alueen kiinnostavuuden kasvun myötä.

Valmista jäissäkulkevaa nopeahkoa pintataistelualuskonseptia ei siis ollut. Tämän vuoksi päätettiin selvittää, kuinka jäissäkulkukykyvaatimus ja pintataistelualuksen suurehko nopeusvaatimus voidaan yhdistää ja miten se vaikuttaa laivan avovesiominaisuuksiin. Runkomuodon merikelpoisuuden tarkastelu laskennallisin menetelmin oli osa avovesiominaisuuksien arviointia. Vuosina 2013–2014 toteutetun suunnitteluun ja laskentaan perustuvan runkomuototutkimuksen perusteella todettiin, että taistelualuksen runkomuoto voidaan suunnitella jäissäkulkuun sopivaksi ilman, että sen avovesiominaisuudet heikkenisivät merkittävästi. Nämä teoreettiset tulokset varmistettiin vuonna 2015 avovesimallikokeilla sekä vuonna 2016 jäämallikokeilla (kuva 1). Tutkimuksessa kehitettyä runkomuodon perusratkaisua on käytetty LV2020-suunnittelun lähtökohtana. Myöskään potkurista ei ollut valmista ratkaisua, joten sen kehittäminen aloitettiin vuonna 2015 runkomuototutkimuksen aluksen perusteella.

### Potkurin kehittämistä Arctic Hydro -projektissa

Potkurin kehittäminen on tehty osana Puolustusvoimien logistiikkalaitoksen merijärjestelmäosaston johtamaa Arctic Hydro -projektia. Laiva-alan tutkimussektori on tukenut projektia ohjaamalla kehitystyötä. Tavoitteena on ollut yhdistää taistelualuksen suuri nopeus ja tehontarve, alhainen ääniheräte sekä kyky operoida jäissä. Kehitystyöstä muodostui laaja suunnittelu, mallikokeita sekä täysmittakaavakokeita sisältävä kokonaisuus. Suunnitteluun on osallistunut kansainvälisesti tunnettuja potkurivalmistajia, mutta erityisesti jäissäkulkukykyyn korimainen suunnittelunohjaus sekä todellisissa jääolosuhteissa testaus ovat olleet keskeisessä asemassa.

Arctic Hydro -potkurikehitys käynnistettiin potkuritestauksen erikoistuneiden mallikoelaitosten potkurisuunnittelulla. Nämä potkurit testattiin mallikokeilla niin sanotussa kavitaatiotunnelissa, jossa voidaan havainnoida erityisesti potkurin meluun mutta myös eroosiokulumiseen liittyvää paineen alenemisestä johtuvaa haitallista kavitaatioilmiötä. Ensimmäiset täyden mittakaavan potkurin avovesi- ja jääkokeet tehtiin asentamalla monitoimialus Louheen testipotkuri talvella 2016. Tämänäyttypisten kokeiden valmisteluun ja purkamiseen liittyy merkittävä työpanos, sillä alus joudutaan telakoimaan potkurin vaihtamiseksi. Kokeilla pystytään todentamaan laskennallisesti ja mallikokeilla saatuja tuloksia.

Kansainväliset potkurivalmistajat tulivat mukaan projektiin vuonna 2016, jolloin heille annettiin lähtötietoina

1. vaiheen tuloksia, joissa oli huomioitu esimerkiksi Louhi-kokeiden perusteella tarkennettuja mitoitusarvoja. Myös potkurivalmistajien suunnittelemat potkurit testattiin kavitaatiotunnelissa, ja näiden kokeiden perusteella osa valmistajista teki myös omaehtoisia kokeita. Testipotkurin täyden mittakaavan jääkokeita jatkettiin talvella 2017 monitoimialus Louhella vaihtoehtoisessa operointitilanteessa perustuen ensimmäisten jääkokeiden havaintoihin. Jääkokeita on jatkettu vielä talvella 2018 hyödyntäen Hämeenmaa-luokan miinalaivaa ja sen omia potkureita. Potkuri ja sen kehittäminen jatkuu edelleen LV2020-projektin rinnalla merkittävänä laivateknisenä kehityskohteena.

### Taistelunkestävyytutkimus ja kansainvälinen yhteistyö

Keskeinen sotalaivan ominaisuus on sen taistelunkestävyys. Erityisenä mielenkiinnon kohteena on laivan kyky kestää vedenalaisia räjähdyksiä, ja tätä yleisesti kutsutaan shokinkestävyydeksi. Tämä aihealue yleensä pidetään eri valtioiden merivoimissa omana tietona, eikä siihen liittyvää osaamista jaeta kovin helposti. Shokkimitoitus, niin laivan rungon, laitteiden kuin henkilöstönkin osalta, perustuu yleensä laskentamalleihin. Yksittäisiä laitteita voidaan testata myös käytännössä, mutta itse laivan testaaminen suurehkoilla shokkikuormilla on harvinaisempaa.

Merivoimissa toteutettiin edellä kuvattua taustaa vasten merkittävä koesarja käytöstä poistetuilla Helsinki-luokan ohjusveneillä vuosina 2009–2011 kansainvälisenä yhteistyönä Yhdysvaltojen ja Saksan kanssa. Vaikka shokkikokeet olivatkin pääosassa, tehtiin kokeiden yhteydessä myös esimerkiksi ilmaräjähdykkeitä ja aluksen sisällä tapahtuvan räjähdysten kokeita. Kansainvälisesti toteutettujen kokeiden lisäksi koeohjelmaan kuului myös eräiden Merivoimien asejärjestelmien vaikutusten arviointia kansallisina kokeina sekä erilaisten todellisten vuototilanteiden hallittua testausta (kuva 2).

Koesarjan avulla saatiin konkreettisten vaurio- ja asevaiikutushavaintojen lisäksi mittava määrä tietoa ja osaamista mitoitusarvoista, mittaamisesta ja analysoinnista sekä validointiaineistoa simulointien ja mitoitusohjeiden kehittämiseen. Edellä mainittujen tulosten saamiseen vaikutti merkittävästi kokeiden toteutus kansainvälisenä yhteistyönä. Saatuja oppeja on hyödynnetty LV2020:n taistelunkestävyyden vaatimusten laadinnassa siten, että pelkkien vaatimusten lisäksi on voitu antaa myös mitoitusohjeita. Näiden mitoitusohjeiden avulla on voitu helpottaa eri komponenttitoimittajien suunnittelutyötä ja ennen kaikkea pienentää toimittajien riskiä, millä voidaan katsoa olevan myös taloudellista merkitystä.



Kuva 2. Helsinki-luokan käytöstä poistetulla ohjusveneellä tehdyt vuotokokeet. Kuvat ovat valvontakameroiden näytöistä. (Kuva: Jarmo Harras)

## Yhteistyö kotimaisen teollisuuden kanssa ja esisuunnittelu

Kansainvälisen yhteistyön ohella myös kotimaisen teollisuuden sotalaivaosaamista on pyritty kehittämään. Merivoimien tutkimuslaitos ohjasi suomalaisen teollisuuden osittain TEKES-rahoitteista Smulan-nimistä yritysryhmähanketta, jonka tavoitteena oli sotalaivojen rakentamiskyvyn ylläpito ja kehitys Suomessa. Vuosina 2011–2014 toimeenpantuun hankkeeseen osallistui toistakymmentä kotimaista yritystä, ja tämän lisäksi siihen liittyi erillinen VTT:n tutkimus-hanke. Smulan-hanke koostui lähes 20 työpaketista, jotka liittyivät muun muassa laivan koneistoihin ja propulsioon, herätteisiin, shokinkestonon sekä aluksen suunnitteluohjeistukseen.

Smulan-hankkeen perusteella kehitystyötä jatkettiin vuonna 2016 Puolustusvoimien logistiikkalaitoksen merijärjestelmäsoston johtamassa LV2020-esisuunnitteluprojektissa. Projektiin osallistui kotimaisten toimijoiden lisäksi myös ulkomaalainen sotalaivan konseptivaiheen suunnitteluun erikoistunut yritys. Esisuunnittelu oli jo varsin pitkälle menevää kehitystyötä, jonka tavoitteena oli laatia perusteet LV2020-laivan tekniselle erittelylle. Projekti sisälsi osittain puhdasta suunnittelutyötä muun muassa laivan yleisjärjestelystä mutta myös tutkimuksellisia osuuksia esimerkiksi aluksen yksityiskohtaisten vaatimusten määrittämiseksi. Esisuunnittelussa yhdistyi aiemmissa projekteissa tehty tutkimus ja kehitystyö, ja siinä otettiin huomioon myös varsinaisen laivatekniikan tutkimuksen ulkopuolella tehty tutkimus,

kuten tutkapaokkipinta-alaan liittyvä laskenta ja optimointi. Esisuunnitteluprojektin voidaankin katsoa päättäneen varsinaisen Laivue 2020 -tutkimusvaiheen.

## Tavoitteena kustannustehokas suorituskyky

Sotalaiva poikkeaa useasta muusta puolustusmateriaalista enemmän tai vähemmän uniikkina ratkaisuna, joka suunnitellaan vastaamaan asiakkaan tarpeita. Mitä enemmän sotalaivan hankinta perustuu pelkkiin asiakkaan vaatimuksiin, sitä suuremman riskin sekä tilaaja että toimittaja joutuvat ottamaan ratkaisujen toimivuudesta. Tämä taas näkyy tyyppillisesti hankintahinnassa. LV2020-hanketta edeltäneellä tutkimustyöllä on pyritty löytämään jo etukäteen sellaisia hyväksyttäviä teknisiä ratkaisuja, jotka täyttävät suorituskykyvaatimukset ja jotka samalla pienentävät toimittajan riskiä. LV2020:n tapauksessa tällä on ollut kansainvälisiin laivaprojekteihin verrattuna keskimääräistä enemmän merkitystä Merivoimiamme tehtäviin ja toimintaympäristöön liittyvien erityispiirteiden vuoksi. Yhteenvedon voidaankin todeta hieman yksinkertaistetusti, että tutkimuksen ja kehityksen avulla on tavoiteltu kustannustehokasta suorituskykyä.

### Kirjoittaja:

Insinöörikommentaja Jarmo Harras toimii sektorinjohtajana Merisotakoulun Meritaistelukeskuksessa laivatekniikan tutkimussektorilla.









**Ilmavoimat**

# Matalavalvontatutkan kehitysprojekti 1966–1985 – kansallinen menestystarina



Kuva 1. SLV-tutkan pääsuunnittelija professori Esko Heikkilä. (Kuva: Ilmavoimat)

**Matalavalvontatutka- ja korkeudenmittausprojekti (MVT) muodosti kokonaisuuden, jossa kehitettiin kotimaisin voimin valvonta- ja korkeudenmittaus- ja taistelunjohtolaitteistoja, viestijärjestelmiä, tutka-asemien rakenteita sekä huoltojärjestelmä.**

Vuonna 1966 Pääesikunta ja Valtion teknillinen tutkimuslaitos (myöh. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT) aloittivat yhteistyön, jonka tavoitteena oli kehittää tutkatietojen käsittely ja valmistaa keskivalvontatutka korvaamaan VRRVI/VRRVY-tutkat ja täydentämään kaukovalvontatutkilla aikaansaatuja ilmatilannekuvia. MVT-hanke koostui kokonaisuudesta, joita olivat S-alueen lähetin-vastaanotin (SLV), antennikokonaisuus, näyttölaittekalusto ja viestijärjestelmä. Kokonaisuuden suunnittelua johti Pääesikunnan Sähköteknillinen osasto.

## Perustana vahva tutkatekninen osaaminen

Valtion Sähköpajan yhteyteen oli perustettu 1.11.1945 mikroaaltotekniikan tutkimusosasto DI Jouko Pohjanpalon (1909–1992) johdolla, joka tutkimustehtävien lisäksi kunosti sodan aikana Suomeen hankittuja saksalaisia tutkia. Häntä voidaan pitää maamme radio-, televisio- ja tutkatekniikan pioneerina, joka oli ensimmäinen radiotekniikasta väitellyt tekniikan tohtori Suomessa (1941). Suomalaisen valvontatutkan kehittäminen sai sysäyksen vuonna 1948, kun radio-osasto perustettiin Valtion teknillisen tutkimuslaitoksen Sähkölaboratorion yhteyteen.

MVT-projektin alku lähti liikkeelle vuonna 1964 suurkanta-matutkahankkeen loppuvaiheessa, kun tarve modernille tutkatietojen käsittelylle, siirrolle ja tiedon esittämiselle todettiin. Tuolloin puhuttiin tutkatietojen käsittelyjärjestelmästä (TTK), jota varten oli perustettu työryhmä. Suunnitelmat pyydettiin Ruotsista Standard Radio och Telefon Ab:ltä sekä englantilaisilta yhtiöiltä Plessey ja Elliot. TTK-selvityshankkeen pohjalta syntyi käsitys siitä, mitä tarvitaan tutkatietojen käsittelyyn ja -siirron osalta, sekä perusteet ”uustutkalle”, kuten sitä 1960-luvun lopulla kutsuttiin.

## Hanke käynnistyy

”Uustutkan” suorituskykyä käsittelevä muistio valmistui syyskuussa 1966, jota voidaan pitää MVT-hankkeen käynnistyshetkenä. Tutka- ja viestijärjestelmien kehittäminen lähti käytännön tasolla liikkeelle vuonna 1967, kun Pääesikunta tilasi Valtion teknilliseltä tutkimuslaitokselta tutkimuksen kotimaisen S-alueen ilma-valvontatutkan suunnittelumahdollisuuksista, ja seuraavana vuonna tilattiin tutkan prototyyppi. Suunnittelu- ja kehittämistyö kesti vuodet 1967–1972.

Samoihin aikoihin alkoi työ näyttölaitteen kehittämiseksi. Ilmailuhallitus tilasi silloiselta Sähköteknillisen koulun koeasemalta (myöh. Puolustusvoimien Sähköteknillinen tutkimuslaitos) näyttölaitteen Etelä-Suomen lennonvarmistuskeskukseen. Rakennettu laite oli periaatteessa M-70-näyttölaitteen prototyyppi, vailla maaliseurantaominaisuutta. Mukana kehitystyössä oli myös Teknillisen korkeakoulun sovelletun elektroniikan laboratorio.

SLV:n suunnittelun toteutti Valtion teknillinen tutkimuslaitos Pääesikunnan Sähköteknillisen osaston toimeksiannosta.

SLV:n operatiiviset vaatimukset oli määritelty vuonna 1968. Selvityksen perusteella todettiin, että tutkan valmistaminen kotimaassa on mahdollista. Vaativimpana osana hankkeessa oli lähetin-vastaanotinyksikön rakentaminen. VTT osallistui sen suunnitteluun samoin kuin antennien sähköisten arvojen määrittelyyn.

Vuodet 1967–1970 olivat suunnitteluajanjakso, jona aikana määriteltiin tutka-aseman yleisvaatimukset, tutkan suorituskykyvaatimukset, vaatimukset siirrettävyydelle sekä aisti-ilmavalvonnan ja ilmatorjunnan liittäminen kokonaisuudeksi. Tässä vaiheessa suunnittelun ja prototyypin toteuttamisen johtaminen oli Pääesikunnan Sähkötekniikan osaston käsissä.

Alkuvaiheen alustavissa keskusteluissa vuonna 1968 Pääesikunnan ja Ilmavoimien esikunnan edustajien kanssa tutkan suorituskykyvaatimuksiksi esitettiin seuraavat:

- Tutkan tuli olla liikkuva tai siirrettävä.
- Käyttö olisi suurkantamatutkien alakatvealueiden ilma-valvontaan.
- Tutkalla tuli olla korkeudenmittauskykyä.
- Mittausetäisyyden tuli olla 550 km ja häiriityssäkin oloissa 440 km.
- Suurimman mittauskorkeuden tuli olla 30–40 km.
- Tutka-asema tuli voida purkaa 2–4 tunnissa ja pystyttää 4–6 tunnissa.

Samana vuonna hyväksyttiin antennille myös suorituskykyvaatimuksina korkeus vähintään 15 metriä, antennin osien liikuttelu ja pystytys miesvoimin (painavin osa enintään 150 kg), tornin harustaminen sekä maantiekuljetus tavallisilla kuorma-autoilla. Tutkan tuli olla myös ilmakuljetteen kuljetuskoneella tai helikopterilla. Hankkeen aikana vaatimuksia muutettiin siten, että yhden osan maksimipainoksi hyväksyttiin 250 kg ja harustamisesta luovuttiin. Myöskään lentokuljetusominaisuus ei valmistuneessa tutkassa täytynyt SLV-kontin painon ja runsaan kaapelimäärän vuoksi.

Varsinainen projektityö alkoi 20.10.1970, kun hankkeelle nimettiin projektipäälliköksi Pääesikunnan suunnitteluosastolta majuri Eino Juurikkala – hän jatkoi projektipäällikkyyttä siirryttyään Ilmavoimien esikuntaan viestiosaston päälliköksi. Vuosi 1971 kului projektisuunnitelman valmistelussa, ja hankesuunnitelman hyväksyi puolustusvoimain komentaja 7.4.1972. Projektin rahoitus oli sisällytetty valtion tulo- ja menoarvioon vuodelle 1973.

Viiden vuoden valmistelun ja prototyypityön jälkeen määriteltiin ja budjetoitiin MVT-hankkeen ensimmäinen vaihe vuosiksi 1973–1977. Tässä vaiheessa hankkeeseen sisällytettiin kymmenen tutka-asemaa (kuusi valvonta-asemaa (VT) ja neljä valvonta- ja korkeudenmittausasemaa (VKT)). Lisäksi kaksi pääjohtokeskusta tuli varustaa tutkatietojen käsittely- ja esitysjärjestelmällä.



Kuva 2. MVT-aseman V-tutka.  
(Kuva: Ilmavoimat)



## Hankkeen tavoitteesta

Aloituvaiheessa Pääesikunta totesi hankkeella olevan kaksi tavoitetta: suorituskyvyn parantaminen ja kotimaisen tutkaosaamisen kehittäminen. Pääesikunnan mukaan ”puolustuslaitoksen päämääränä tutkikaluston kehittämistyössä on suoranaisten kalustollisten valmiuden parantamisen lisäksi kotimaisen teollisuuden tutka- ja elektroniikka-alan toimintakyvyn lisääminen tulevaisuuden tarpeita silmällä pitäen sekä samalla nykyaikaisen tutkatekniikan erikoiskysymyksiin syvällisesti perehtyneiden asiantuntijoiden kasvattaminen. Viimeksi mainittu tavoite voidaan saavuttaa vain konkreettisen suunnittelutehtävän parissa, mistä on erinomaisena esimerkkinä 1950-luvun kotimaisen tutkakehitystyöhön osallistuneiden insinöörien merkittävä osuus elektroniikka-alan koulutustehtävissä ja teollisuudessa.”

Tavoitteena oli rakentaa kilpailukykyinen tutka verrattuna länsimaisiin järjestelmiin samalla hyödyntäen uusinta teknologiaa. Tutkan ensimmäinen kokeiluversio saatiin käyttöön marraskuussa 1972 Espoon Kivenlahdessa.

Valvonta-antennin sarjavalmistussopimus tehtiin Valmet Oy:n Kuoreveden tehtaan kanssa kesäkuussa 1976. Hankinta käsitti 11 antennia tornielementteineen.

Korkeudenmittausutkan hankinta oli vielä vuonna 1973 avoin. Vuonna 1971 oli jo käyty tutustumassa ulkomaalaisiin vaihtoehtoihin Englannissa ja Ranskassa. Maaliskuussa 1975 päädyttiin ratkaisuun, jossa käytettäisiin rakenteilla olevaa tutkaa ja ranskalaista nyökkäävää 3D-antennia (XOB). Kokemukset XOB-antennista olivat huonoja, joten hankkeen II-vaiheessa päätettiin hankkia tutka kotimaisella korkeudenmittausantennilla (KMA/80) Oy Wärtsilä Ab:ltä. Samalla päätettiin ottaa käyttöön vain kolme XOB-antennilla varustettua tutkaa (yksi antenni jäisi varaosiksi) ja hankkia yhdeksän kotimaista antennia.

Tutkan sarjavalmistusta varten tiedusteltiin keväällä 1972 viideltä suomalaiselta yritykseltä kiinnostusta sarjavalmistukseen. Kaikki nämä yritykset (Fiskars Elektroniikka, Nokia Elektroniikka, Outokumpu Oy, Oy Strömberg Ab, Televa Oy) vastasivat myöntävästi. Loppuvuodesta 1973 yrityksiltä pyydettiin sitovat tarjoukset, jolloin yksikään ei ollut halukas lähettämään vastaantutkimuksen valmistukseen. Näyttölaitteita tarjosi kaksi yritystä. Tässä tilanteessa Puolustusvoimat teki rohkean päätöksen ja antoi SLV-kaluston valmistustehtävän Viestikeskuskorjaamolle.

Gyltössä päästiin vuonna 1975 kokeilemaan antennia ja SLV-konttia ennen sarjavalmistuksen alkamista. Testit onnistuivat varsin hyvin, ja muutostarpeet jäivät vähäisiksi. Sarjavalmistuksesta saatiin ensimmäiset SLV-kontit, antennit ja M-70-kontit toimintakuntoon elokuussa 1977.



Kuva 3. XOB-antennilla varustettu korkeudenmittausasema. K-tutka oli S-alueen tutka, jolla mittauskorkeus oli 15 km. (Kuva: Ilmavoimat)

Hankkeen ensimmäisessä vaiheessa nivottiin yhteen materiaalihankinnat, tarvittavat alihankkijat, Puolustusvoimien oma suunnittelu ja valmistus sekä monia muita osaprojekteja. Tällä tavoin voitiin työskennellä joustavasti ja luoda tehokas tiimi Puolustusvoimien sisälle, jolle kehittyi hyvin vahva teknologiaosaaminen.

## Hanke saa jatkoa

Alkuperäisen suunnitelman mukaan hanke olisi kaksivaiheinen: I-vaihe olisi 1973–1977 ja II-vaihe 1978–1982. Ensimmäinen matalavalvontatutka luovutettiin Ilmavoimille 4.9.1978. Alkuperäisen aikataulun mukaan koko sarjan tuli olla valmis vuonna 1978, mutta hankkeen viivästymisen vuoksi I-vaiheen viimeinen järjestelmä valmistui elokuussa 1982. Hankkeen II-vaiheen alkuperäisen aikataulun mukaan tutka-asemien perustamisen tuli olla valmiina vuoden 1982 kuluessa. Hanke viivästyi, ja viimeinen tutka luovutettiin Ilmavoimille 11.2.1985. Viivästysten vuoksi hankkeeseen suunniteltiin III-vaihe vuosille 1983–1987.

Hankkeen kolmessa vaiheessa hankittiin S-alueen lähettävien vastaantutkimuslaitteiden (SLV) 38 kpl, 25 V-antennia, neljä XOB-antennia ja yhdeksän KMA-antennia. Lisäksi hankittiin kytkinlaitos-, näyttölaitte- ja viestikontteja sekä varavoimakoneita ja runsaasti kaapeleita. Tällä varustettiin operatiiviseen käyttöön 20 tutka-asemaa, joista 12 VKT- ja kahdeksan VT-asemaa. Tämän lisäksi Ilmavoimat

mien Viestikouluun sijoitettiin kokonainen järjestelmä koulutuskäyttöön ja Viestikeskuskorjaamolle laitteita referenssikäyttöön.

Lisäksi kehitettiin M-70-näyttölaitte, jonka ensimmäinen prototyyppi valmistui vuoden 1971 lopussa ja toinen vuoden 1972 keväällä, jolloin ne asennettiin kokeilukäyttöön Enontekiön VRRVY-asemalle. Sarjavalmistuksen ensimmäinen M-70-kontti valmistui vuonna 1977, ja näyttölaitteita hankittiin yhteensä 50 kpl.

MVT-hankkeen I-vaiheeseen liittyi myös suunnitelma kahden johtokeskuksen varustamisesta uudella tilannekuvan esitysjärjestelmällä (EJ). Vuonna 1973 Ilmavoimien ja Sähköteknillisen tutkimuslaitoksen yhteistyönä syntyikin suunnitelma viestikeskusten varustamisesta synteettisellä näyttölaitteella. EJ:n näyttölaitteiden sarjatuotanto alkoi vuonna 1977, ja ensimmäinen versio asennettiin vuoden 1978 syyskuussa VKesk 5:een. Vuonna 1980 EJ otettiin kokonaisuudessaan operatiiviseen käyttöön.

MVT-hankkeen I-vaiheen lopussa M-70:n torjuntalaskennan suorituskyky oli todettu heikoksi, ja siksi käynnistettiin pääjohtokeskuksen johtamisjärjestelmän tutkimushanke J/80. M-80-järjestelmä valmistui vuonna 1980, ja siitä päätettiin kehittää taistelunjohtojärjestelmä pää- ja apujohtokeskuksiin. MVT-hankkeen III-vaiheessa hankittiin 100 kpl M-85-näyttölaitetta sekä valvonta- että torjuntakäyttöön. M-85-näyttölaitteen käytön laajennuksen myötä näyttölaitetta eri versioina valmistettiin yhteensä 250 kpl ja sitä käytettiin ilmavalvonnan ja taistelunjohtamisen lisäksi tutka-aseilla, aistivalvonnassa ja väestönsuojelussa.

MVT-hankkeen II-vaiheessa saatiin koko järjestelmä lähes kokonaan operatiiviseen käyttöön ja lisäksi EJ saatiin käyttöön Viestikeskus 3:ssa ja 5:ssä. III-vaiheen hankkeet (korkeudenmittaus ja M-85-järjestelmä) saivat kokonaisuuden operatiivisesti toimintakykyiseksi järjestelmäksi.

### **Merkittävä hanke ilmapuolustuksen kannalta**

Kokonaisuudessaan MVT-hanke kesti yli 20 vuotta, ja yksistään VTT:n ja Puolustusvoimien työpanos oli runsaat 100 henkilötyövuotta. Hankkeen kokonaisbudjetti nousi noin 580 miljoonaan markkaan, josta kehityskustannukset olivat alle 5 %. Tästä teknisten järjestelmien osuus oli noin 430 Mmk. Tässä suhteessa kokonaisuutta voidaan pitää edullisena. Hankkeen kotimaisuusaste nousi yli 80 %:n. Uuden kaluston avulla Ilmavoimat siirtyi teknologisesti uuteen aikakauteen ja entistä tarkempaan ilmatilannekuvan tuottamiseen.

Kotimaisen tutkan kehittämistä edisti tietoisuus alan erikoisluonteesta. Suomella ei ollut varmuutta länsimaisen korkean teknologian saamisesta maahan. Lisäksi tutkasta oli tullut

elektronisen sodankäynnin yksi kohde, joten kotimaiseen tutkaan oli mahdollisuus kehittää elektronisia suojautumismenetelmiä käytettäväksi vain kriisitilanteissa. Kotimainen ylläpito ja osaaminen mahdollistivat järjestelmän optimaalisen kehittämisen ja liittämisen osaksi ilmapuolustuksen johtamisjärjestelmää. Lisäksi maahan saatiin tutkateknistä tietotaitoa, jolla oli merkitystä sekä järjestelmäkehityksessä että kriisiaikaisessa osaamisessa. Hankkeen venymiseen vaikutti alkuvaiheen optimisimi. Asioiden uskottiin tapahtuvan nopeasti ja luotettiin laitevalmistajien antamiin liian optimistisiin aikatauluihin.

Vaikka MVT-hanke oli varsin pitkä, niin suuri kotimaisuusaste mahdollisti modifikaatioiden totuttamisen määräaikaishuoltojen yhteydessä, mikä lisäsi kaluston suorituskykyä ja käyttöikää. Samalla voitiin oppia ja tehdä joustavasti tarpeellisia muutoksia ja parannuksia järjestelmään. Kotimainen puolustusvälineteollisuus sai merkittävää kokemusta sotilaselektronikasta ja loi siten pohjaa tuleville hankkeille. Järjestelmän kehittäminen ja ylläpito loi työllisyyttä useiksi vuosiksi niin Puolustusvoimissa kuin teollisuudessaakin.

MVT-hanke on ollut viimeinen hanke, jossa varsinainen tutkajärjestelmä on kehitetty kotimaisin voimin. Tämän jälkeen tutkat on hankittu valmiina ulkomailta, ja suomalaisten tehtäviksi on jäänyt järjestelmän integrointi ilmapuolustuksen valvonta- ja johtamisjärjestelmään sekä alihankkijan rooli.



Kuva 4. MVT-aseman korkeudenmittaustutka.  
(Kuva: Ilmavoimat)

#### **Kirjoittaja:**

Professori, sotatieteiden tohtori, eversti evp. Martti Lehto toimii kyberturvallisuuden professorina Jyväskylän yliopiston Informaatioteknologian tiedekunnassa sekä kyber- ja ilmasodankäynnin dosenttina Maanpuolustuskorkeakoulussa.

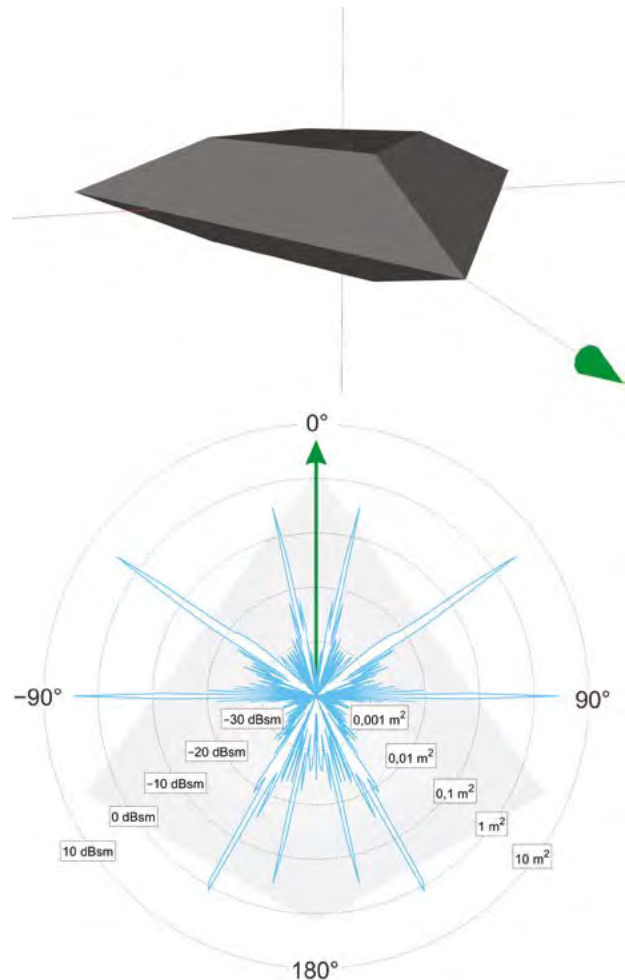
# Tutkapoikkipinta-alojen käsittely ja visualisointi

## Tutkapoikkipinta-ala (RCS, radar cross section)

Ensiötutka havainnoi kohteita ympäristöstään hyödyntämällä radiosäteilyä. Tutka käyttää antenniaan tutkasäteilyn lähetykseen ja kohteista heijastuneen säteilyn eli tutkavasteen vastaanottoon. RCS on kohteen ominaisuus ja kuvaa sen heijastavuutta tutkalle. Suure esitetään normalisoiduna siten, etteivät tutkan ominaisuudet (kuten lähetysteho tai herkkyys) tai mittaustilanteen ominaisuudet (kuten kohteen ja tutkan välinen etäisyys) vaikuta siihen. RCS:n yksikkö on neliometri, ja sitä on tapana ilmaista logaritmisella asteikolla (dBsm, decibel square meter). Kohteen RCS:n neliometrilukeman voi tulkita rinnastuksella sähköä täydellisesti johtavan pallon poikkileikkauksen alaan. Keskeisimpinä vaikuttajina RCS:n muodostumisessa ovat radiosäteilyn aallonpituus sekä kohteen koko, muoto, pintamateriaalit ja asento tutkaan nähden. Ne yhdessä määrittävät kohteesta eri suuntiin siroavan aallon voimakkuuden ja suuntaavuuden. Sironnan voimakkuuden määrää se, kuinka suurelle alalle tutkasäteily kohdistuu kohteen pinnalla. Suuntaavuus kuvaa, kuinka suurelta osin tutkan lähettämä säteily siroaa kohti tutkan vastaanotinantennia ja kuinka suurelta osin muihin suuntiin.

RCS:n vaikutus tutkavasteeseen vertautuu antennin muotoilun ja suuntauksen vaikutukseen antennin tuottamaan suunnatun radioaallon tehoon. Kohteen RCS:n voi ajatella kuvaavan, kuinka hyvin kyseinen kohde on sovitettu toimimaan vastaaja-antennina siihen kohdistetulle tutkasäteilylle. Hyvä antenni suuntaa siihen keskitetyn sähkömagneettisen tehon mahdollisimman tehokkaasti kohti sitä osapuolta, jonka kanssa pyritään viestimään. Tämä mekanismi huomioidaan nykyisin ilma-alusten suunnittelussa. Häivetekninen lentokone pyritään suunnittelemaan mahdollisimman laajassa katselukulma-alueessa mahdollisimman huonosti toimivaksi vastaaja-antenniksi, jolla on vähintään siedettävät lento-ominaisuudet. Kuvassa 1 esitetään ideaalinen häivekoneen muotoilu ja RCS. Käytännössä häivekoneen muotoilu on kompromissi häiveominaisuuksien, lento-ominaisuuksien takaavan aerodynamiikan sekä hyötykuorman kantamiskyvyn välillä. Häivemuotoilu pyrkii keskittämään sironnan yksittäisiin kapeisiin suuntiin; muista suunnista lentokone havaitaan hyvin huonosti tai ei lainkaan. Kun lentokoneen RCS on alle  $0,01 \text{ m}^2$ , se on hyvin vaikeasti havaittavissa tutkalla.

Ilma-aluksen, ajoneuvon tai laivan tutkapoikkipinta-ala on merkittävä tekijä silloin, kun arvioidaan kyseisen kohteen havait-



Kuva 1. Häiveteknisesti ideaalinen lentokoneen muoto ja sen tarkastelu suunnasta riippuva RCS esitettynä 5-taajuusalueella (2–4 GHz). Yllä on esitetty lentokoneen kiilamainen muoto etuviistosta kuvattuna. Alla lentokoneen muoto on piirretty harmaalla ylhäältäpäin katsottuna ja sen päälle on piirretty lentokoneen RCS sinisellä polaarilla käyrällä. RCS on suurelta osin alle  $0,01 \text{ m}^2$  vain kuudesta hyvin kapeasta tarkastelu suunnasta, kuten kylkien suunnista  $90^\circ$  ja  $-90^\circ$ . Kummassakin kuvassa vihreä nuoli osoittaa lentokoneen keulan suunnan.

tavuutta tai tunnistettavuutta tutkalla. Kirjoittajien edustama tutkimustiimi on muutamien vuosien ajan tutkinut

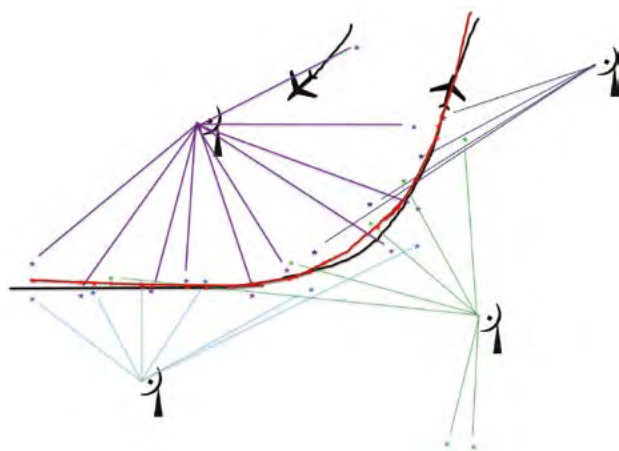
1. miten käytännön kohteiden RCS kannattaa mallintaa
2. minkälaiseen muotoon kohteiden RCS-tieto kannattaa taltioida
3. minkälaiset visualisoinnit ja työkalut ovat hyödyllisiä kohteista muodostuvan RCS-tiedon käsittelyssä.

Tutkimus ja kehitys on liittynyt tutkan ja tutkaseurannan suorituskykyanalyysiin sekä kohteiden automaattiseen tunnistamiseen. Suorituskykyanalyysi tarkoittaa tässä yhteydessä kohteen havaittavuuden ja seurattavuuden määrittämistä simulointeihin ja laskennallisiin malleihin perustuen. Kehitetty RCS:n malli sisältää oleellisen tiedon kohteesta mutta on silti mahdollisimman yksinkertainen, jotta sen muodostaminen ja käyttäminen ovat laskennallisesti tehokkaita ja ylipäättään mahdollisia.

## Tutkan kohteen havaittavuus

Seuraava esimerkki havainnollistaa ilma-aluksen havaittavuutta ja RCS:n vaikutusta siihen. Kuvassa 2 on usean tutkan muodostama ilmavalvontatutkaverkko, joka etsii ja seuraa ilma-aluksia. Ilma-aluksen havaittavuutta analysoidessa pyritään arvioimaan, millä todennäköisyydellä yksittäinen tutka tekee ilma-aluksesta havainnon lentoradan eri vaiheissa. Tällöin keskeiseen asemaan nousee ilma-aluksen asento suhteessa kuhunkin tutkaverkon tutkaan. Käytännössä tietoa ilma-aluksen täsmällisestä asennosta ei kuitenkaan ole saatavilla, mikä tekee kohteen RCS:n tarkasta ennustamisesta haastavaa yksittäisen havainnon tapauksessa. Tutkaseurannan muodostumisessa ja ylläpitämisessä yksittäisen havainnon merkitys vähenee havaintomäärän kasvaessa. Seuranta perustuu kuitenkin jatkuvaan sarjaan havaintoja, joten tutkahavaintoja kuvaava suorituskyky vaikuttaa voimakkaasti myös seurantakyvyn muodostumiseen.

Havaintotodennäköisyys ja -tarkkuus ovat tärkeimmät tutkan suorituskykyanalyysin mittarit, joilla on myös suora vaikutus seurantakykyyn. Havaintotodennäköisyyden laskennassa tärkein suure on tutkavasteen voimakkuus, joka on taas suoraan verrannollinen RCS:n voimakkuuteen. Vasteen voimakkuus vaikuttaa myös tutkahavainnon tarkkuuteen eli tutkan mitaaman sijainnin poikkeamaan kohteen todellisesta sijainnista. Näistä syistä RCS:lla on suuri rooli suorituskykyanalyyseissä.



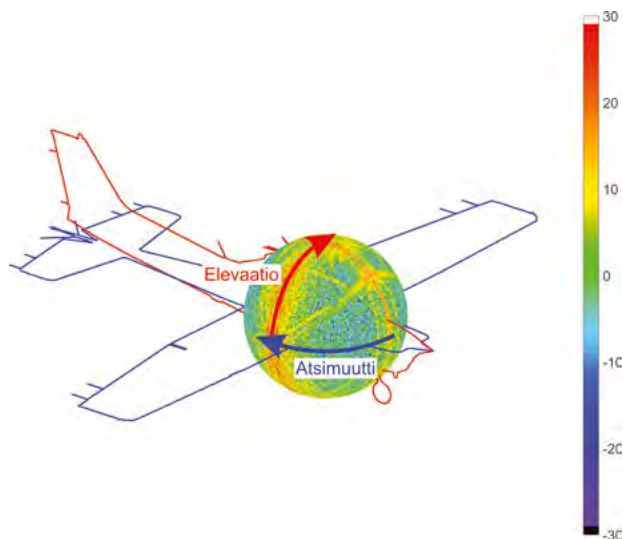
Kuva 2. Kuva havainnollistaa ilmavalvontatutkien muodostaman tutkaverkon tuottamia havaintoja ja tutkaseurantaa sekä niiden tarkkuutta todelliseen lentorataan nähden. Punainen käyrä edustaa seurannan määrittämää rataa ja musta käyrä kohteen todellista lentorataa. Eriväriset viivat yhdistävät tähdillä merkatut tutkahavaintojen sijainnit havainnot tehneisiin tutkiin.

Tavanomaisen ilma-aluksen ja S-taajuusalueen (2–4 GHz) valvontatutkan tapauksessa alle yhden asteen muutos ilma-aluksen suunnassa voi muuttaa RCS:n voimakkuutta huomattavasti, jopa 40 dB. Vertailukohdaksi mainittakoon, että tämä vastaa tutkan tehon kertomista tai jakamista luvulla 10 000 tai kohteen etäisyyden kymmenkertaistamista tutkaan nähden. Tämä RCS:n häilyntä aiheuttaa ilma-aluksen havaittavuudessa suurta vaihtelua lentoradan varrella. Ilmiön huomioiminen onkin hyvin keskeinen osa RCS:n mallintamista käytännössä.

## Tutkapoikkipinta-alan häilyntä (fluctuation)

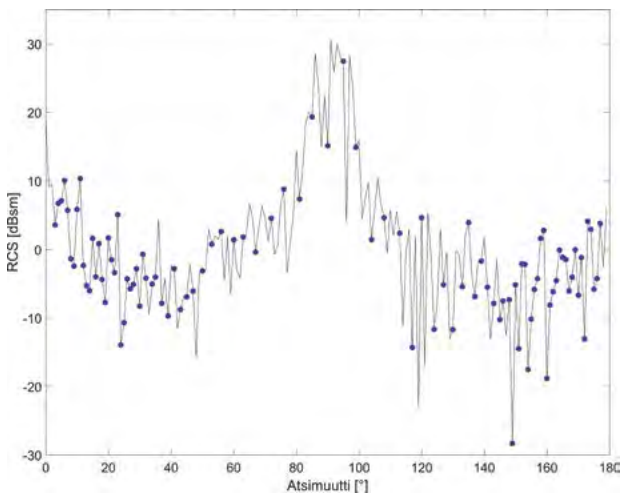
Ilma-aluksen eri osista tutkaa kohti heijastuva sähkömagneettinen aalto summautuu tiettyihin suuntiin vahvistuen ja toisiin vaimentuen interferenssi-ilmiön seurauksena. Tästä syystä suurikokoinenkin ilma-alus jää joissakin lentoratansa kohdissa havaitsematta. Kun ilma-alus etenee lentoradallaan, sen lentosuunta voi säilyä samana, mutta sen atsimuuttisuunta (jota on havainnollistettu nuolella kuvassa 3) muuttuu jatkuvasti. Tällöin muuttuu myös sen RCS, ja tuloksena on niin sanottu häilyntäilmiö.

Kuvassa 3 on esitetty tapa visualisoida RCS atsimuutin ja elevaation funktiona. RCS:n voimakas häilyntä ilma-aluksen asennon funktiona johtuu siitä, että tyypillinen ilma-alus on hyvin monimuotoinen ja suurikokoinen verrattuna S-taajuusalueen tutkan aallonpituuteen, joka on suuruusluokaltaan 10 cm. Tällöin RCS:n voimakkuuden vaihtelu on tyypillisesti kymmeniä desibelejä muutaman asteen sisällä. Tätä vaihtelua on havainnollistettu esimerkillä kuvassa 4.



Kuva 3. Cessna 172 -lentokoneelle simuloitu tutkapoikkipinta-ala esitettyä ilma-aluksen sidotun atsimuutti- ja elevaatiokulman funktiona. Pallomaisessa visualisoinnissa pallon kulma-akselit ovat vaakasuunnassa atsimuutti ja pystysuunnassa elevaatio. Pallon orientaatio on sidottu kuvassa ääriarvoilla esitetyn Cessnan orientaatioon. Pallon väriarvot edustavat RCS-arvoja desibeleinä (dBsm). Esimerkiksi kyljen suunnassa hyvin voimakas RCS piiryy punaisella värillä. RCS vaihtelee hyvin nopeasti useiden kymmenien desibelien dynamiikalla atsimuutti- tai elevaatiokulmassa siirryttäessä.





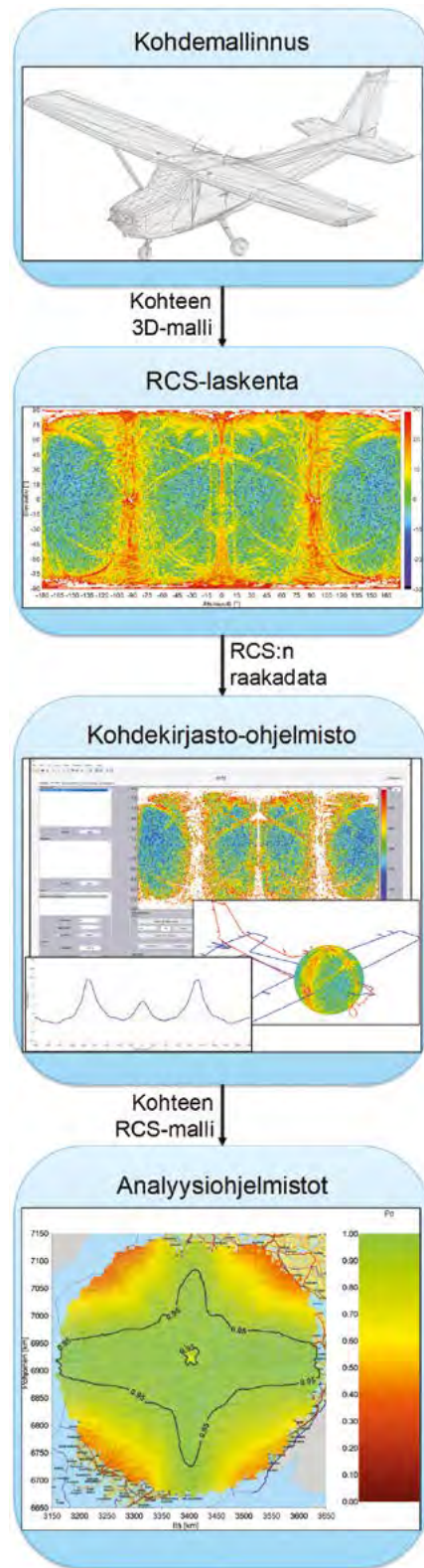
Kuva 4. Cessna 172 -lentokoneen RCS vaakatasossa (eli elevaatiokulmassa 0°) on esitetty mustalla viivalla. Tämän käyrän päälle on merkitty sinisillä ympyröillä kuvitteellisen tutkan havainnoimat RCS-arvot lentokoneen ohittaessa tutkan 10 km:n etäisyydellä nopeudella 300 km/h. Vaaka-akselilla perättäisten sinisten ympyröiden välinen ero RCS-arvossa on suurimmillaan useita kymmeniä desibeilejä.

## Tutkan kohteiden analyysiprosessi ja kehitetyt menetelmät

Kohteita, joiden havaitsemiseen tutkia käytetään, on tyyppillisesti paljon, ja monet niistä ovat RCS:ltaan keskenään hyvin erilaisia. Kohteiden ominaisuudet määrittävät suuren osan tutkilla aikaansaataavasta havainto- ja seurantakyvystä. Kyky vaihtelee kohteesta toiseen ja tarkastelusuunnan mukaan. Kohteiden simulointi ja mittaukset tuottavan suuren määrän dataa, ja sen hallitsemiseksi on perusteltua luoda hyvä prosessi.

Kuvassa 5 on esitetty lohkokaaviona kohteiden RCS-mallinnusprosessi. Tässä yhteydessä termiä kohdekirjasto käytetään tietovarastosta, jonne koostetaan kohteiden mallinnuksen kannalta hyödylliset simulaatiot ja mittauksien tulokset. Ensimmäisistä kohteista simuloitetaan laskennallinen RCS kaikkiin keskeisiin azimuutti- ja elevaatio-suuntiin kohteiden 3D-malleihin perustuen. Simuloitu RCS-raakadata ja myös kohteista tarjolla olevat mittauksien tulokset vietään kirjoittajien edustaman tutkimustiimin kehittämään kohdekirjasto-ohjelmistoon. Ohjelmisto tarjoaa rajapinnan ja analyysityökalut datan saattamiseen varsinaiseen käyttöön, kuten operatiiviseen suunnitteluun tai tehtäväsuunnitteluun.

Kohdekirjasto-ohjelmiston yksi tärkeimmistä ominaisuuksista on RCS-mallin tallentaminen soveliaassa muodossa niin, että otetaan huomioon kohteiden asentotiedon epävarmuus ja RCS:n häilyntyminen. Epävarmuudet määritetään erikseen ilma-aluksen kääntymiskulmalle (yaw), nyökkäyskulmalle (pitch) ja kallistuskulmalle (roll) normaalijakaumaoletusta käyttäen. Ensimmäisessä määritetään lentoradan perusteella, mihin suuntaan ilma-aluksen keula todennäköisimmin osoittaa



Kuva 5. RCS-mallinnusprosessin tyypilliset vaiheet, kun kohteiden 3D-mallista tuotetaan erilaisten analyysiohjelmien vaatimat RCS-mallit. Kohdekirjasto-ohjelmistoon voidaan syöttää simulaatiotulosten lisäksi myös kohteista tehtyjen mittauksien tuloksia. Kohdekirjasto-ohjelmisto tuottaa ohjelmiston käyttäjälle muun muassa lohkossansa näkyviä RCS:n visualisointeja.

kussakin lentoradan pisteessä. Tähän voidaan käyttää karkeita oletuksia lentokoneen kinematiikasta: kone lentää tyypillisesti keula edellä, kallistaa tyypillisillä kallistuskulmilla kaartaessaan tietyllä jyrkkyydellä ja nyökkäyskulma muuttuu, kun ilma-alus alkaa nostaa korkeutta keula edellä. Näin saadaan tuotettua niin sanottu asentoestimaatti, joka kertoo ilma-aluksen todennäköisimmän asennon. Tämän asentoestimaatin ympärille mallinnetaan normaalijakautunut epävarmuus. Lopuksi tehtäväksi jää tämän epävarmuuden huomioiminen, kun RCS-raakadatasta muodostetaan RCS-jakauma. Simulaation tai mittausten perusteella tiedetään, minkälainen RCS-raakadata ilma-aluksesta muodostuu. Raakadatasissa on RCS-näyte kuhunkin valaisukulmaan atsimuutissa ja elevaatioissa, kuten kuvassa 5 esitettiin. Muodostettu RCS-jakauma – tai siitä poimitut parametrit – on RCS-malli, jota käytetään analyyseissa.

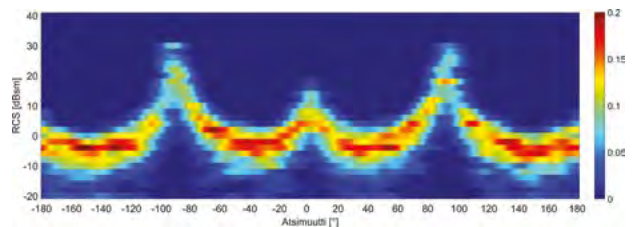
Kuvassa 6 on Cessna 172 -lentokoneelle laskettu RCS:n jakauma atsimuutin funktiona lentokoneen vaakatasossa (eli elevaatiokulmassa 0°). Kohdekirjasto-ohjelmisto pystyy tuottamaan kuvassa esitetyn RCS-mallin sekä simuloituista tuloksista että mittaustuloksista. Mittaustulosten tapauksessa on tyypillistä, että mittaukset kattavat vain hyvin pienen osan atsimuutti- ja elevaatioavaruutta, mutta kehitetyillä menetelmillä on silti mahdollista tuottaa mittaustuloksista käytökelpoinen RCS-malli. Kuvasta 6 nähdään, minkälaista on RCS:n tilastollinen vaihtelu ja siten tutkavasteen tehon vaihtelu, kun Cessnaa tarkastellaan eri atsimuutisuunnista. Tutkan ja kohteen välinen etäisyys on useimmiten hyvin suuri, joten kuvassa 6 kohteen elevaatiosuunnasta nolla astetta muodostettu jakauma voi olla riittävä yleisiin tarkasteluihin. Vastaavia RCS-jakaumia voidaan tuottaa myös erikseen eri elevaatio-suuntiin. RCS-jakaumalle ei tässä käsittelyssä tarvitse olettaa mitään jakaumatyyppiä. Sitä voi käsitellä histogrammina tai siihen voi sovittaa haluamansa jakaumamuodon, kuten normaalijakauman tai Weibull-jakauman. Kun tällaista RCS-mallia käytetään analyyseissa, saadaan RCS:n ja ilma-aluksen asennon riippuvuus – häilyntä mukaan lukien – huomioitua hyvin kätevästi ilman laskennallisesti raskasta toistokoetta.

Kuvassa 5 esitetyn kaavion alin lohko havainnollistaa edellä kuvatun RCS-mallinnuksen käyttöä tutkan havaintokyvyn analyysoinnissa; kuvassa esitetty liukuväriyksellä piirretty havaintotodennäköisyys antaa kokonaiskuvan siitä, missä kyseinen ilma-alus on mahdollista havaita ja missä ei, kun sen lentosuunta on asetettu kohti pohjoista kaikissa tarkastelusijainneissa kartan päällä. Tutka on kuvassa keskellä, ja havaintotodennäköisyys on laskettu tietyille tarkastelukorkeudelle. Todennäköisyys 0,95 on piirretty kuvaan mustalla tasa-arvokäyrällä. Kuvasta nähdään myös suoraviivaisella tavalla, mikä merkitys RCS:lla on suuntariippuvasti. Esimerkin Cessna havaitaan edestä hieman pidemmältä etäisyydeltä kuin takaa. Nykyaikaisten häivemuotoilua sisältävien ilma-alusten tapauksessa tarkastelusuunnan huomioiva

RCS-mallinnus on erityisen hyödyllinen, koska niiden RCS vaihtelee erityisen suuresti tarkastelusuunnan funktiona.

## Yhteenveto

Tässä artikkelissa esitetyt kuvat käsittelevät monostaattista S-taajuusalueen tutkaa, mutta käsitellyt menetelmät ovat yleisesti soveltuvia ja hyödynnettävissä kaikilla taajuusalueilla, myös monipaikkatutkan tapauksessa. Kohteiden kirjastointiin suunniteltu ohjelmisto helpottaa laajamittaisen analyysityön tekemistä eri analyysityökaluilla, kun RCS-tieto erilaisista kohteista tallennetaan yhtenäisessä ja laskennallisesti mielekkäässä muodossa tietokantaan. Visualisoinneilla tuetaan ohjelmiston käyttäjän suorittamaa RCS-tiedon hallintaa. Kohdekirjasto-ohjelmisto tukee tiedon hallintaa ja tarjoaa sujuvan menettelyn RCS-mallin tuottamiseen eri analyysiohjelmistoille. Esitetty laskennallisesti elegantti tilastollinen RCS-mallinnus soveltuu tutkan ja tutkaverkon suorituskykyanalyyysiin ja tutkapaikkopinta-alaan perustuvaan tutkan kohteen tunnistamiseen, jossa keskeisenä haasteena on yhteistyökyvyttömän kohteen tuntemattoman asennon estimoiminen ja estimaatin epävarmuuden hallinta. Suorituskykyanalyysejä tarvitaan muun muassa operatiivisessa suunnittelussa, tehtäväsuunnittelussa ja häivetekniikan hyötyjen analyysoinnissa.



**Kuva 6.** Cessna 172 -lentokoneelle mallinnettu tutkapaikkopinta-ala jakauma atsimuutin funktiona elevaatiokulmasta 0°. Kustakin atsimuutisuunnasta asteen välein esitettyjen histogrammien alkioit ovat kuvan pystyakselilla. Kukin alkio edustaa tiettyä RCS:n arvoväliä, jonka todennäköisyys kullekin atsimuutisuunnalle on esitetty väreillä. Värejä vastaavat todennäköisyysarvot on esitetty kuvan oikeassa laidassa. Kohteen asennon epävarmuus on mallinnettu normaalijakaumalla, jonka keskihajonta atsimuutti- ja elevaatiosuunnassa on 5°.

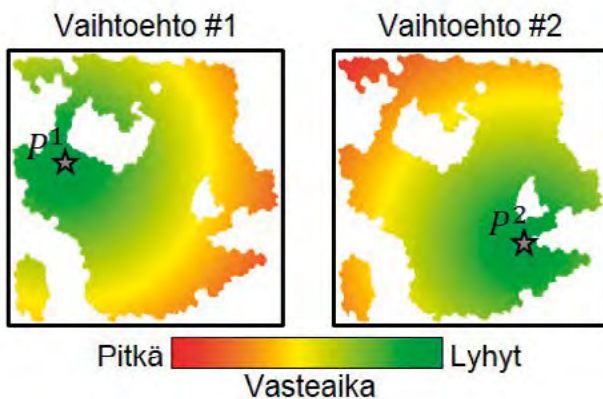
### Kirjoittaja:

Juha Jylhä toimii projektipäällikkönä ja tutkimusprojektien vastuullisena johtajana ja Minna Väilä projektitutkijana Tampereen yliopiston Tietotekniikan yksikössä tutkien, algoritmien ja koneoppimisen tutkimukseen keskittyvässä tutkimustiimissä.

# Spatiaalinen päätösanalyysi suorituskykyjen alueellisten tarkasteluiden ja optimoinnin tukena

**Spatiaalisessa päätöksenteko-ongelmassa päätösvaihtoehtojen seurauksia tarkastellaan annetulla maantieteellisellä alueella tai sen yläpuolisella ilma-alueella. Päätösvaihtoehtojen hyvyttä arvioidaan maantieteellisen alueen paikasta tai ilmatilan paikasta ja mahdollisesti myös ajasta riippuvien keskenään ristiriitaisten kriteerien suhteen.**

Jos päätettävänä on esimerkiksi pelastushelikopterin tukikohdan sijainti, kukin vaihtoehtoinen sijainti johtaa erilaiseen vasteajan jakaumaan tarkasteltavan maantieteellisen kokonaisalueen yli (kuva 1). Jotta vaihtoehtojen paremmuusjärjestystä kyetään arvioimaan, päätöksentekijän tulee ottaa kantaa maantieteellisten alueiden tärkeysjärjestykseen – onko tiheästi asutulla alueella oltava lyhyempi vasteaika kuin harvaan asutulla alueella, eli onko esimerkiksi Etelä-Suomi asukastiheyden takia tärkeämpi kuin Pohjois-Suomi ja onko Etelä-Suomen alueella esimerkiksi Hyvinkää tärkeämpi kuin Helsinki?



Kuva 1. Pelastushelikopterin tukikohdalla on kaksi vaihtoehtoista maantieteellistä sijaintia P<sup>1</sup> ja P<sup>2</sup>. Valittava sijainti vaikuttaa vasteaikaan eli lentoaikaan tukikohdasta kullekin maantieteelliselle alueelle.

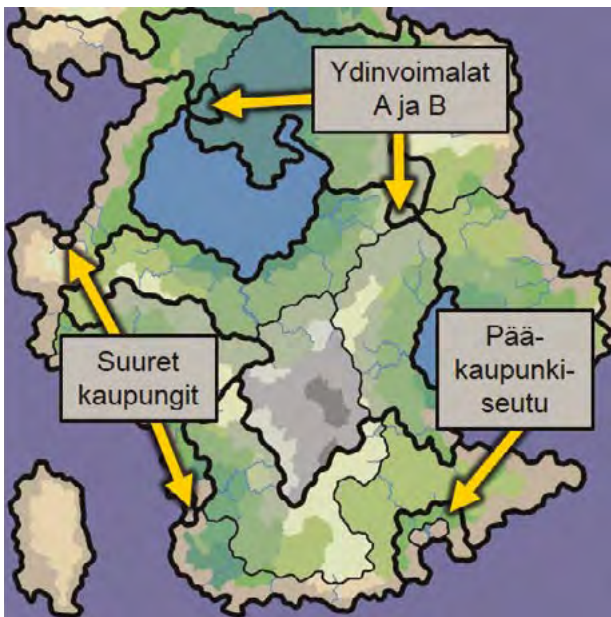
Spatiaalisen päätösanalyysin teoria- ja menetelmäkehitys on erityisen ajankohtainen tutkimusaihe päätösanalyysin kentällä. Käytännön sovellusalueita ovat puolustus- ja turvallisuuskysymysten lisäksi esimerkiksi kaupunki-, ympäristö- ja liikennesuunnittelu sekä hydrologia ja demografia. Päätösanalyttisiä malleja hyödynnetään myös spatiaalisessa analytiikassa ja paikkatietojärjestelmissä. Spatiaalisiin ongelmiin on aiemmin sovellettu perinteisiä päätösanalyysin menetelmiä. Näiden menetelmien käytön ongelmana on se, että spatiaaliseen vaihtoehtoverailuun tarvittavien eri

maantieteellisiin paikkoihin ja alueisiin liittyvien kriteerien ja päätöksentekijältä kysyttävien kriteerien tärkeyttä kuvaavien kriteeripainojen lukumäärät voivat olla hyvin suuria. Toisaalta perinteisten päätösanalyysin menetelmien teoria-perusteissa ei oteta huomioon päätösvaihtoehtojen spatiaalista luonnetta, ja siksi menetelmillä saatavia tuloksia ei kyettä perusteellaan yksiselitteisesti päätöksentekijän antaman kriteeripaino- eli preferenssi-informaation pohjalta.

Aalto-yliopiston Systemianalyysin laboratorion ja Ilmavoimien yhteistutkimushankkeessa Lentokaluston taktisen käytön kehittäminen 3 on kehitetty spatiaalista päätösteoriaa ja uuteen teoriaan perustuva spatiaalinen päätösanalyysimenetelmä, joka on esitelty European Journal of Operational Research -lehdessä julkaistussa artikkelissa. Menetelmäkehityksessä on tehty poikkitieteellistä yhteistyötä Aalto-yliopiston Tieto- ja palvelujohtamisen laitoksen kanssa. Uudessa menetelmässä maantieteellisten alueiden suhteellinen tärkeys ilmaistaan spatiaalisilla painoilla, joille on annettu läpinäkyvä, vertailtaviiin päätösvaihtoehtoihin liitetty tulkinta ja merkitys. Menetelmä on joustava ja helppokäyttöinen, koska päätöksentekijä saa vapaasti määrittellä painotettavat maantieteelliset alueet ja lisäksi se mahdollistaa epätäydellisen preferenssi-informaation hyödyntämisen. Päätöksentekijän tulee ilmaista vain alueiden tärkeysjärjestys (kuva 2) ja kriteerien tärkeysjärjestys ilman vaatimusta määrittää täsmällisiä spatiaali- ja kriteeripainoja. Tämän päätöksentekijän preferenssejä kuvaavan tiedon perusteella menetelmä tunnistaa vaihtoehtojen paremmuusjärjestyksen.

Spatiaalisena päätösongelmana voidaan tarkastella esimerkiksi kysymystä *Mitkä ovat ilmalavontajärjestelmän valvontakyvyn kannalta parhaat valvontasensoreiden sijainnit, mitaustavat ja toimintatilat?* Tarkastelussa valvontasensoreiden sallituille sijainneille annetaan vaihtoehtoja tai rajoitteita, jotka määräävät mahdolliset sijainnit. Rajoitteet voivat liittyä maaston kulkukelpoisuuteen ja sensoreiden sallittuihin ryhmitysalueisiin. Päätösvaihtoehtoja eli sijainti-, mittaus- ja toimintatilayhdistelmiä arvioidaan kolmiulotteisiin (3D) valvontatilavuuksiin käskettyjen valvontavaatimusten toteutumisen suhteen. Käytännössä valvontavaatimukset ja niiden toteutumista mittaavat 3D-paikasta riippuvat spatiaaliset päätöskriteerit liittyvät valvontajärjestelmän havaintotodennäköisyyteen ja seurantakykyyn. Päätöskriteerit voidaan myös aggregoida korkeuden yli siten, että niillä on





### Alueiden tärkeysjärjestys

$\alpha(\text{"Ydinvoimalat"}) > \alpha(\text{"Pääkaupunkiseutu"})$   
 $> \alpha(\text{"Suuret kaupungit"}) > \alpha(\text{"Eteläosa"})$   
 $> \alpha(\text{"Länsiosa"}) > \alpha(\text{"Keskiosa"}) > \alpha(\text{"Itäosa"})$   
 $> \alpha(\text{"Pohjoisosa"}) > \alpha(\text{"Saaristo"})$

### Alueiden sisältä voidaan tunnistaa pienempiä painotettavia osa-alueita

$\alpha(\text{"Ydinvoimala A"}) > \alpha(\text{"Ydinvoimala B"})$   
 $\alpha(\text{"Suuri kaupunki #1"}) > \alpha(\text{"Suuri kaupunki #2"})$

Kuva 2. Maantieteellisten alueiden tärkeysjärjestys kuvataan spatiaalisilla painoilla  $\alpha$ . Päätöksentekijän ei tarvitse määrittää painojen täsmällisiä arvoja (esimerkiksi  $\alpha(\text{"Ydinvoimalat"})=60\%$  ja  $\alpha(\text{"Pääkaupunkiseutu"})=40\%$ ), koska päätösvaihtoehtojen paremmuusjärjestys pystytään määrittämään ainoastaan painojen suuruusjärjestyksen eli alueiden tärkeysjärjestyksen perusteella.

vain 2D-riippuvuus. Kriteereiden avulla on myös mahdollista ottaa huomioon valvontajärjestelmän taistelunkestävyys.

Ilmavalvontajärjestelmän suorituskykytarkastelun toteuttamiseksi päätöksentekijän tulee määrätä 3D-valvontatila-uuksien tai 2D-valvonta-alueiden ja kriteerien tärkeysjärjestykset. Tätä informaatiota hyödyntäen edellä kuvatulla spatiaalisella päätösanalyysimenetelmällä tunnistetaan hyvät valvontasensoreiden ryhmitys-, mittaustapa- ja toimintatila-vaihtoehdot. Tarkastelun tuloksia voidaan hyödyntää suorituskyvyn suunnittelussa ja rakentamisessa sekä operatiivisessa suunnittelussa ja ilmaoperaation tehtäväsuunnittelussa. Tämän tyyppisten tarkastelujen avulla kyetään tunnistamaan valtakunnallinen valvontaryhmitys, joka toteuttaa mahdollisimman hyvin asetetut valvontavaatimukset, kun kaikki sensorit voivat liikkua tai kun osa sensoreiden sijainneista on kiinnitetty ja muille tulee tunnistaa parhaat sijainnit. Toisaalta tarkasteluita voidaan hyödyntää valvonnan painopisteen siirtojen suunnittelussa sekä valvontasensoreiden siirtojen suunnittelussa tiettyjen mittauspaikka-alueiden sisällä.

Kehitettyä spatiaalista päätösanalyysimenetelmää voidaan soveltaa myös hävittäjävoiman riittävyys-, saatavuus- ja kohdentamistarkasteluissa sekä ilmasta-pintaan vaikuttamisen suunnittelun tuessa. Menetelmän avulla voitaisiin myös toteuttaa maa- ja merivoimatarkasteluja eli määrittää oikean kokoinen suorituskyky oikeaan paikkaan oikea-aikaisesti annettujen suunnitteluperusteiden mukaisesti.

#### Kirjoittaja:

Kai Virtanen toimii operaatiotutkimuksen professorina Aalto-yliopiston ja Maanpuolustuskorkeakoulun yhteisprofessorissa Aalto-yliopiston Matematiikan ja systeemianalyysin laitoksen Systeemianalyysin laboratoriossa ja Maanpuolustuskorkeakoulun Sotatekniikan laitoksella.







## **Puolustusvoimien logistiikkalaitos**

# Sotilaslentäjän toimintakyky



(Kuva: Puolustusvoimat / Ville Tuokko)

**Sotilaslentäjän työ on psykofysiologinen haaste. Jokainen uusi lentokonesukupolvi on tuonut lentäjälle enemmän vaatimuksia ja haasteita. Tekniikan kehittyminen on lisännyt koneiden suorituskyvyn lisääntymisen kautta fyysistä kuormittumista, mutta myös lentäjälle tuotettavan informaation määrä on lisääntynyt ja siten tiedonkäsittely sekä monimutkaisemman tilannetietoisuuden ylläpitäminen on vain lisännyt henkistä työkuormaa. Kuormittavaan työhön on löydettävä sopivimmat tekijät ja sen jälkeen haasteista huolimatta tehtävistä on suoriuttava tehokkaasti, turvallisesti ja terveellisesti.**

Ilmavoimissa ja myöhemmin Sotilaslääketieteen keskuksessakin on pitkät ja painavat perinteet arvioida ilmailulääketieteellisiä tekijöitä ja toimenpiteitä tieteen keinoin. Tästä on osoituksena useampi virkatyön ohessa syntynyt väitöskirja.

## Stressihormonit

Tuomo Leino tutki väitöskirjatyössään lentäjän hormonaalisia vasteita kuormittavissa tilanteissa lentäjäkoulutuksen eri vaiheissa. Stressihormonitasot nousivat niin valinta-koetilanteessa kuin alkeislentokoulutuksessakin niin, että kuormitustaso ylitti tiedonkäsittelykapasiteetin. Hawk-lentokoulutusvaiheessa verrattiin lentotehtävää ja simulaatto-

rissa lennettyä vastaavaa tehtävää, ja oikean lennon todettiin aiheuttavan enempi stressihormonien erittymistä. Tulevaisuudessa simulaattorikoulutuksen osuus tulee entisestään korostumaan, mutta kaikkea ei voi opettaa keinotekoisessa todellisuudessa ilman oikeaa kuoleman pelkoa ja lentoympäristön muita stressitekijöitä.

Edelleen Leinon väitöskirjatutkimuksessa arvioitiin hävitäjälentäjien kuormitusta simulaattorissa lennetyn vaativan tutkatorjuntatehtävän yhteydessä. Kokeneilla ohjaajilla elimistö alkoi tuottaa lisääntyvästi stressihormoneja jo ennen simulaattorilentoa; keho ja mieli siirtyivät fight-moodiin jo tehtävän valmistautumisvaiheessa kokeneiden ohjaajien tietäessä, mitä tuleman pitää. Stressihormonitasojen määrittämistä ei ole otettu mukaan lentäjävalintoihin missään koulutusvaiheessa, mutta väitöskirjatyön tulokset antavat pohjaa lentäjien suorituskyvyn arvioinneille etenkin joidenkin lentokoulutuksessa tulevien ongelmatilanteiden selvityksessä.

## Kommunikaatio ja kuulo

Lentäjien kuormittumiseen liittyviä tekijöitä tutki myös Taija Lahtinen omassa väitöskirjatyössään puheviestinnän osalta. Vaikka lentäminen perustuu pääosin visuaaliseen

havainnointiin, puhe ja sen ymmärtäminen ovat merkittävässä osassa päätöksenteon pohjana lentotehtävän kriittisissä vaiheissa. Kuormittavissa tilanteissa sekä tuleva että lentäjän vaatima puheviestintä lisääntyy ja samoin lisääntyy ohimenevän informaation määrä. Tutkimuksessa selvitettiin myös lentämiseen liittyvän puheviestinnän haasteita. Vastaukset ovat tuttuja jokaiselle linjoilla roikkuneelle: päälle puhuminen, varatut linjat, taustamelu ja kuormittavissa tilanteissa huomiotta jääneet viestit. Ensimmäisiin on suositusten mukaan yritetty vaikuttaa ryhmäkommunikaation kehittämisellä, ja nykyisin ohjaamomiestön yhteistyöllä (Crew Resource Management, CRM) ei enää tarkoiteta ainoastaan samassa ohjaamossa istuvia lentäjiä vaan CRM-koulutuksen viestinnässä käsitellään esimerkiksi neljän hävittäjäkoneen muodostaman parven ohjaajien välistä kommunikaatiota. Taustamelun vaikutusta pyrittiin vähentämään ja tulevan puheviestin laatua parantamaan henkilökohtaisilla valetuilla kommunikaatiokorvatulvilla. Ne antavat lisäsuojaa ohjaamon taustameluun ja tuovat radioliikenteen suoraan korvakäytävään.

Kuulon suojaamiseen ja sen tarpeeseen sotilasilmailussa paneuduttiin tarkemmin Pentti Kurosen väitöskirjassa. Sotilaslentäminen on kovin meluisaa, ja tutkimuksella haluttiin selvittää kuulonsuojaimilla saavutettavan suojatehon riittävyys sekä uranaikaisen kuulovaurion riskiä. Suihkukoneiden ohjaamon taustamelu on noin 90 dB. Lentokypärien suojaus-tehoissa on eroja, ja istuvuus on merkittävä tekijä saavutettavassa suojaustasossa. Valetuilla kommunikaatiokorvatulvilla saavutetaan helpomman viestinnän lisäksi merkittävä lisäsuoja. Ohjaajien ei todettu uran aikana kumulatiivisesti altistuvan ohjaamossa melulle kuulokynnyksen laskua aiheuttavissa määrin. Sotilaslentäjien kuulo todettiin paremmaksi kaikissa ikäryhmissä kuin suomalaisella väestöllä keskimäärin. Ennemminkin kuulovaurioiden suhteen riskityössä ovat platalla käynnissä olevien koneiden läheisyydessä toimivat lentotekniikan henkilöt.

## G-sietokyky

Nykyaikaiset hävittäjät ovat aiempaa suorituskykyisempiä. Ne pystyvät kehittämään nopeammin ja suurempia kiihtyvyysoimia ja säilyttämään pidempään liike-energiansa liikehtelyssä kuin aiemman sukupolven hävittäjäkoneet. Tämä vaatii lentäjien G-sietokyvyn parantamista. Sotilasilmailussa G-suojauksen keinoja ovat vastaponnistus, G-housut ja ylipainehengitys. Vastaponnistus on fyysisesti raskas isometrinen rasitus, jonka optimaalinen suoritus vaatii harjoittelua. Ilmavoimat on kouluttanut tätä varten lentokadetteja sentrifugissa vuodesta 2004 alkaen. F-18 Hornet-hävittäjien käyttöönotton yhteydessä siirryttiin käyttämään uusia laajapeittoisia G-housuja. Lisäksi Suomen ilmavoimat otti ensimmäisenä maailmassa käyttöön ylipainehengitysjärjestelmän. Ylipainehengitys lisää G-sietokykyä nostamalla verenpainetta sekä parantamalla hengitysfunktiota. Siinä

lentäjän happinaamarin kautta tulevaa hengityskaasun painetta lisätään kiihtyvyyden lisääntyessä ja lisäksi paineilmaa johdetaan lentäjän paineliiviin, joka edelleen lisää rintaontelon painetta.

Simo Siitosen väitöskirjatutkimuksessa tutkittiin uusien lentovarusteiden vaikutusta lentäjien G-sietokykyyn. Tutkimuksessa mitattiin verenpainetta, sydämen sykettä, aivojen verenkiertoa, elimistön hormonaalista säätelyä ja aivojen sähköistä toimintaa testilennoilla. Ylipainehengitys ja laajapeittoiset G-housut lisäsivät lentäjien G-sietokykyä ja siten parantavat sekä lentoturvallisuutta että operatiivista tehokkuutta. Vastaponnistuksen tarve oli pienempi, näkökenttäoireet ja väsyminen vähenivät ja hengittäminen oli helpompaa. Myöhemmin Siitosen suositusten mukaan myös Hawkin lentovarusteissa on otettu käyttöön samat laajapeittoiset G-housut.

## Tukirangan kuormitus

Lisääntyneen G-kuormituksen aiheuttamiin tukirankaongelmiin herättiin jo 90-luvulla. Tuolloin oli lennety kymmenkunta vuotta 1980-luvun alussa hankituilla Hawk-harjoitussuihkukoneilla, ja ohjaajilla alkoi olla lisääntyvästi niskavaivoja. Olavi Hämäläinen teki kansainvälisestikin merkittävän työn dokumentoidessaan ongelman väitöskirjassaan *Fighter pilots' neck pain*. Tutkimussarjassaan hän toi esiin ongelman etiologian, oirekuvan ja esiintyvyyden. Tutkimuksen pohjalta hävittäjälentäjien kaularangan rappeumat on todettu ammattitaudiksi, ja siten tutkimus antaa suojaa lentäjillemme edelleenkin. Tutkimusnäytön myötä esitettiin myös ensimmäiset vaateet kevyempien lentokypärien käyttöönnotosta.

Roope Sovelius jatkoi lentäjien tukirangan kuormitusanalyysiä omassa väitöskirjassaan. Tutkimuksen tavoitteena oli tutkia rangan kuormittumista mahdollisesti lisäävien tekijöiden vaikutusta ja toisaalta vastatoimenpiteiden tuloksellisuutta sekä tarkentaa dokumentaatiota G-voima-altistuksen ja rangan degeneratiivisten muutosten välillä. Väitöskirjan osatutkimuksissa todettiin, että ennen lentoa kylmälle altistuminen ja kypärään kiinnitettävät yönäkökiikarit lisäävät kuormitusta ja että harjoitusinterventiolla on positiivista eli vähentävää vaikutusta lennon aikana tapahtuvaan lihasten kuormittumiseen. Lisäksi tutkimuksessa arvioitiin jo vuosia aiemmin lentovarusteeksi esitetyn lannetuen vaikutusta rangan kuormittumiseen. Työn myötä lannetuki saatiin lentovarusteeksi parantamaan istumaergonomiia ja rangan lihaskuormitusta niille lentäjille, jotka sitä tarvitsevat. Olavi Hämäläisen työn jäljiltä on siitä asti kaikista lentäjistä otettu rangan magneettikuvat ennen suihkukonekoulutuksen ja G-voima-altistuksen alkua. Keskussotilasairaala Tilkan viimeisenä syksynä 2005 otettiin Hämäläisen tutkimushenkilöistä seurantakuvat. Tuloksissa ei ollut merkittävä eroa yli 10 vuotta sotilaslentäjänä toimineiden ja verrokkien välillä. Työ jatkuu entistä laajemmalla seurantatutkimuksella.





(Kuva: Ilmavoimat)

## Tuki- ja liikuntaelinten oireilu sekä toimintakyky

Sotilaslentäjän fyysistä suorituskkyä ja sen vaikutusta sotilaslentäjien kokemaan tuki- ja liikuntaelin (TULE)-oireiluun tutkittiin Harri Rintalan väitöskirjassa. Tavoitteena oli selvittää suomalaisten sotilaslentäjien työperäisen TULE-oireilun esiintyvyyttä, oireista koetun haitan tasoa sekä lentäjien fyysisen kunnan tasoa virkauran aikana. TULE-oireilu on hyvin yleistä sotilaslentäjien keskuudessa, sillä kaikki seurannassa olleista lentäjistä ovat kokeneet lentämiseen liittyvää oireilua jossain vaiheessa uraa. Kolmasosalla oireilu on jatkuvaa tai vakavaa. Työperäinen oireilu lisääntyy noin 200 lentotunnin jälkeen ja kasvaa eksponentiaalisesti 600 tuntiin asti. Tulosten mukaan yleiset kuntotestitulokset eivät suojaa oireilulta, ja huolestuttavin löydös tutkimuksessa oli lentäjien kunto-ominaisuuksien heikkeneminen alimmilleen aktiivisimman laivuepalveluksen aikaan. Myös lentäjän terveyttä ja toimintakykyä pitäisi pystyä reaaliaikaisemmin seuraamaan koko lentouran aikana. Näihin johtopäätöksiin on kiinnitetty huomiota ja fyysisen toimintakyvyn ylläpitämistä ja kehittämistä lentouran eri vaiheissa on tehostettu viime vuosina.

Toimintakyky- ja kunto-ominaisuuksien ennustavuutta ja suojaavuutta on edelleen tutkinut Tuomas Honkanen valmistuvassa väitöskirjatyössään. Lentäjien vuositarkastusten yhteydessä käytettyjen tukirangan yleisten, liikkuvuutta ja staattisia voimatasoja arvioivien toimintakykytestien ei havaittu ennustavan selkävaivoja. Hyvä lihaskunto voimatesteissä valintatestivaiheessa sen sijaan näyttää olevan suo-

jaava tekijä myöhempää uraa ajatellen. Tukirankavaivojen kuvattiin edellä lisääntyvän merkittävästi hävittäjälentouran alkuvaiheessa. Kuitenkaan ensimmäisen viiden vuoden kumulatiivinen G-voima-altistus ei yksinään Honkasen tulosten mukaan ole riskitekijä, vaan ongelma on monen tekijän summa. Työ jatkuu, jotta jatkossa pystyttäisiin ohjaamaan lentäjiä entistä paremmin välttämään haitallisia tekijöitä niin ohjaamossa kuin maanpinnallakin sekä toisaalta vahvistamaan suojaavia tekijöitä.

Uusien hävittäjien myötä sotilaslentäjän toimintakykyyn kohdistuvat entistä laaja-alaisemmat vaatimukset. Poikkiteollinen tutkimus- ja kehittämistoiminta tulee olemaan entistä tärkeämpää toimintakyvyn edistämiseksi. Tämä työ alkaa sotilaslentäjien valintamenetelmien ja koulutuksen kehittämiseksi ja jatkuu koko uran kestäväksi toimintakyvyn ja terveyden turvaavana toimintana.

### Kirjoittaja:

Lääketieteen tohtori Roope Sovelius toimii päällikkölääkärinä Sotilaslääketieteen keskuksessa Tampereen varuskunnan terveysasemalla.

Artikkelin kirjoittamisessa ovat avustaneet Aeromedical Centeristä (AMC) dosentti Matti Mäntysaari ja väitöskirjatutkija Tuomas Honkanen sekä Maanpuolustuskorkeakoulusta dosentti Tuomas Leino.

# Puolustusvoimien logistiikkalaitoksen historiaa

Logistiikka-alalla vain muutos on ollut pysyvää itsenäisen Suomen aikana. Tämä näkyy myös Puolustusvoimien logistiikkalaitoksen (PVLOGL) monisyisenä historiana.

Logistiikkalaitoksen perustaminen 1.1.2015 oli osa vuosina 2012–2015 toteutettua puolustusvoimauudistusta. Laitoksen perustamisen myötä lakkautettiin Maavoimien materiaalilaitos, Ilmavoimien materiaalilaitos sekä Merivoimien materiaalilaitos. Räjähdekeskus ja Sotilaslääketieteen keskus liitettiin logistiikkalaitokseen lähes sellaisinaan. Lisäksi laitokseen liitettiin Lahdessa sijainneen Huoltokoulun ja Puolustusvoimien johtamisjärjestelmäkeskuksen hankeyksikön toiminnot.

Maavoimien materiaalilaitoksen edeltäjä oli Puolustusvoimien materiaalilaitos, joka oli perustettu vuonna 1993. Sen vuosipäiväksi kiinnitettiin 17. kesäkuuta, sillä tuona päivänä vuonna 1941 Puolustusvoimien Pääesikunta antoi käskyn sotataloussesikunnan alaisen Päämaja II:n perustamisesta (N:o 1934/Järj.2.sal/17.6.1941). Sotataloustarkastajan alainen Päämaja II vastasi samoista toiminnoista, joista nyttemmin Puolustusvoimien logistiikkalaitos vastaa. Samoin

Päämaja II:n tunnuksena ollut ns. ratasleijona on periytynyt laitoksen tunnukseksi.

Ilmavoimien materiaalilaitos perustettiin vuonna 2010 yhdistämällä Koelentokeskus, Lentotekniikkalaitos ja Ilmavoimien viestitekniikkalaitos. Merivoimien materiaalilaitos perustettiin jo vuonna 2006 yhdistämällä Merivoimien varikko ja kunnossapitokeskus.

Varikkokentän historia on vieläkin monipolvisempi. Vanhimpien joukossa on Sotalaitoksen saniteettivarikko vuodelta 1918, ja siitä on monien vaiheitten ja liitosten jälkeen tullut Sotilaslääketieteen keskus.

Vastaavasti Viipurin Sotavarikosta vuonna 1918 ja Tykistön koeampumakentästä vuonna 1921 alkoi kehitys, joka johti jälleen monien vaiheitten kautta Räjähdekeskukseen.

Vuonna 1918 perustettiin myös joukko varikoita, joista muutama on edelleen toiminnassa, osin uudella nimellä, kuten Talousvarikko, kun taas muutama on siirtynyt osaksi Millog Oy:tä.

**Ilmavoimien materiaalilaitos**

**Merivoimien materiaalilaitos**

**Maavoimien materiaalilaitos**

**Huoltokoulu Hämeenrykmentti**

**Sotilaslääketieteen keskus**

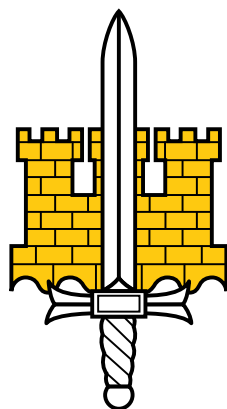
**Puolustusvoimien johtamisjärjestelmäkeskuksen hankeyksikkö**

**Puolustusvoimien logistiikkalaitos  
1.1.2015**

**Kirjoittaja:**

Kyösti Huhtala toimii erikoisuunnittelijana Puolustusvoimien logistiikkalaitoksella.





# Maanpuolustuskorkeakoulu



# Sotatieteellistä tutkimusta Maanpuolustuskorkeakoulussa – Puolustusvoimat 100 vuotta -juhlateos



Suomen puolustusvoimat 100 vuotta –juhlateos julkistettiin 30.5.2018 Helsingin Senaatintorilla Puolustusvoimat 100 vuotta -juhlatiivissä. (Kuva: Puolustusvoimat / Santeri Rahikka)

Suomen puolustusvoimien 100-vuotisjuhlavuosi on tämän vuosikirjan ilmestyessä siirtynyt jo historian lehdille. Juhlavuotta on vietetty monissa eri tilaisuuksissa ja juhlaa on kunniotettu muun muassa useiden menneitä vuosisataa tarkastelevien historiajulkaisujen kautta. Maanpuolustuskorkeakoulun yksi keskeisimmistä juhlavuoden tuotteista on ollut Suomen puolustusvoimat 100 vuotta -juhlateos. Viiden vuoden mittainen kirjaprojekti osui maaliin 30. toukokuuta 2018. 550-sivuinen teos julkistettiin Helsingissä Senaatintorilla osana Puolustusvoimat 100 vuotta -juhlatiivikkoa.

Suomen puolustusvoimat 100 vuotta -teos luo uusimpaan tutkimustietoon perustuvan kuvan Puolustusvoimien ensimmäisestä vuosisadasta, mutta lisäksi teoksen suunnittelussa ja kirjoitusprosessissa on nähtävissä yleisemminkin monia Maanpuolustuskorkeakoulussa tehtävälle sotatieteelliselle tutkimukselle ominaisia piirteitä. Kirjan johtavana teemana on

suomalaisen puolustusjärjestelmän historiallisen kehityksen tarkastelu. Tavoitteeseen on pyritty huolellisella suunnittelulla, ammattitaitoisten kirjoittajien valinnalla sekä akateemisella käsikirjoitustekstien vertaisarvioinnilla.

Vertaisarvioinnin avulla teksti, joka koostuu noin 30 kirjoittajan artikkeleista, on saatu laadultaan mahdollisimman yhteismitalliseksi. Viime vuosina akateemisen sotatieteellisen tutkimuksen määrä on Maanpuolustuskorkeakoulussa kasvanut, mikä näkyy myös Suomen puolustusvoimat 100 vuotta -teoksen kirjoittajakunnassa. Valtaosa kirjoittajista on tohtorikoulutuksen läpikäyneitä. Tätä vaatimusta voidaan pitää sotatieteellisen tutkimustradition kehittämisen näkökulmasta ainoana kestävästi tienä.

Huolellisella suunnittelulla tässä yhteydessä tarkoitetaan teoksen rakenteen ja tutkimussuunnitelman perusteellista

ennakkopohdintaa. Puolustusjärjestelmämme historiallisen kehityksen analysointi yhden niteen laajuksena ei olisi ollut mahdollista ilman seikkaperäistä tutkimussuunnitelmaa. Kuten sotatieteellisessä tutkimuksessa yleensä, tutkimusongelma konkretisoituu tutkittavan teeman rajausten kautta.

Juhlateoksen rakenne on kaksiosainen. Ensimmäisessä osassa luodaan yleiskatsaus itsenäisyytemme ajan ensimmäisen vuosisadan puolustusvoimiin. Toisessa osassa lyhyiden, pääosin alle viidentoista sivun laajuisten erillisartikkelien avulla syvennytään yksityiskohtaisempiin tapahtumaketjuihin. Tällä tavoin pystytään samaan niteeseen sisällyttämään niin yleisempiä laajoja kehityskulkuja kuin pikkupiirteisempiä, yksityiskohtaisempien teemojen analysointiakin.

Sotatieteellinen tutkimus ja akateeminen vapaus eivät ensi lukemalta sovi saumattomasti yhteen. Käsillä olevassa teoksessa nämä asiat kuitenkin kiinnittyvät yhteen luontevalla tavalla. Teoksen sivuilla käsitellään onnistumisten lisäksi epäonnistumisia, faktojen lisäksi sensitiivisiä asioita ja rauhan ajan kehitystyön lisäksi myös sodan karua arkea. Koska Maanpuolustuskorkeakoulun ja Puolustusvoimien tutkimusresurssit ovat rajallisia, ehkä akateeminen vapaus pitäisikin nähdä ennen kaikkea edellä kuvatusti valitun tutkimusteeman ennakkoluulottomana käsittelynä eikä tutkimusteemojen rajattomaan valinnanvapauteen liittyvänä asiana.

Toisaalta Maanpuolustuskorkeakoulun tutkimusresurssien rajallisuus näkyy niin rahoituksen kuin opintoja ohjaavan henkilöstön määrässäkin. Yksi tunnistettu uhka rajallisten

tutkimusresurssien hyödyntämisessä on se, että ne sirpaloituvat sotatieteiden laajaan kenttään. Sotatieteellisen tutkimuskentän sisällä on pystyttävä luomaan tutkimukselliset painopisteet puolustusjärjestelmän kehityksen tutkimisen kannalta olennaisimpiin ytimiin.

Maanpuolustuskorkeakoulun tutkimustraditiossa uuden tiedon tuottaminen on perinteisesti nähty voimakkaimpana tutkimustavoitteena. Sotahistoriassa, kuten sotatieteissä usein yleisemminkin, uusi tutkimustieto perustuu aikaisemman tiedon pohjalle sitä muuttaen tai tarkentaen. Tämä niin sanottu tutkimustiedon kumuloituminen toteutuu myös Suomen puolustusvoimat 100 vuotta -teoksessa, joka pohjautuu aikaisempaan tutkimustietoon mutta täydentää vallitsevaa käsitystä ja nostaa esiin aikaisemmin tuntemattomia tapahtumaketjuja itsenäisyyden ajan ensimmäisen vuosisadan puolustusvoimista.

Tieteen filosofinen perusajatus siitä, että tutkimuksen myötä syntyy tuloksia, mutta ne ovat erittäin harvoin jos käytännössä koskaan lopullista totuutta, koskee niin sotatieteellistä tutkimusta kuin akateemista tutkimusta ylipäänsä. Suomen puolustusvoimat 100 vuotta -teoksen yleisosoio ja sitä täydentävät vajaa 60 erillisartikkelia tekevät teoksesta kattavan lähdeateoksen Puolustusvoimien dokumentoituun historiaan. Teos on kuitenkin lopullisen totuuden sijaan pikemminkin lähtölaukaus monien kirjassa esiin nostettavien kehityskulujen jatkotutkimukselle.

Suomen puolustusvoimat 100 vuotta -teoksen suurin anti koskeekin jatkotutkimuskentän määrittelyä. Sotahistoriallisen pelikentän jäsentely muodostaa analogian sotatieteellisen tutkimuskentän vaatimuksiin yleisemminkin. Sotatieteellisellä tutkimuksella on yhä vahvistuva paikkansa myös tulevaisuudessa, sillä suomalaisen puolustusjärjestelmän kehittämisestä on yhä kiihtyvällä tahdilla löydettävissä lukemattomia osakokonaisuuksia, jotka yhtäältä ansaitsevat ja toisaalta tarvitsevat lisätutkimuksia.

Sotatieteellisen tutkimuksen tekemisen tarve Puolustusvoimissa on tunnistettu. Vuosina 2003–2018 on Maanpuolustuskorkeakoulussa valmistunut noin 50 sotatieteiden tohtoria. Parhailtaan valmisteilla on lisäksi noin sata väitöskirjaa. Valtaosa opiskelijoista tekee tutkimustaan virkatyönsä ohessa, mikä eittämättä pidentää tutkimusten kestoa merkittävästi. Kysymys kuuluukin, miten varmistamme entistä tehokkaammin sen, että Puolustusvoimien organisaation sisällä tutkimukseen tarvittava aikaresurssi kohtaa tutkimusta tekevät henkilöt.

#### **Kirjoittaja:**

Sotahistorian apulaisprofessori Mikko Karjalainen työskentelee Maanpuolustuskorkeakoulun sotataidon laitoksella. Karjalainen toimi Suomen puolustusvoimat 100 vuotta -teoksen päätoimittajana.

## SUOMEN PUOLUSTUSVOIMAT 100 VUOTTA



# Puheen ja vuorovaikutuksen tutkimuksen merkitys kriisinhallintakoulutuksessa ja kriisinhallinnassa

## Yleistä

Kansainvälinen kriisinhallinta on läheinen osa Puolustusvoimien toimintaa. Suomi edistää kansainvälisen puolustusyhteistyön kehittämistä erityisesti YK:n, EU:n, Naton ja ETYJin puitteissa tapahtuvissa kehittämistoimissa, harjoituksissa ja operaatioissa. Kansainväliset kriisit ovat entistä monimuotoisempia ja monimutkaisempia. Kokonaisvaltaisen lähestymistavan (engl. 'integrated approach') mukaisesti kriisien ratkaisemiseen ja kriisinhallintaoperaatioihin osallistuu toimijoita useista valtioista sekä siviili- ja sotilasorganisaatioista. Siviiliorganisaatioita voivat olla esimerkiksi paikalliset hallintoviranomaiset, poliisi ja kansainväliset organisaatiot. Kaikkien toimijoiden tavoitteena on kriisitilanteesta kärsivien siviilien suojele ja kohdealueen yhteiskunnallinen vakauttaminen.

Kriisinhallintakoulutuksen yhtenä tärkeänä oppimistavoitteena on vahvistaa toimijoiden (esim. sotilaiden) kyvykkyyttä ja edellytyksiä toimia monimutkaisissa ja haasteellisissa kriisinhallintaoperaatioissa. Kriisinhallintaoperaatiot ovat aina monikansallisia. Ne edellyttävät toimijoilta joustavuutta, tehokkuutta ja sopeutumiskykyä ympäristöissä, joissa on osallistujia eri kansallisuuksista ja organisaatioista ja joissa osallistujien taustat ja toimintatavat voivat erota toisistaan paljonkin. Kriisinhallinnan työkieli on englanti. Operaatioissa osallistujien englannin kielen taito vaihtelee, jolloin sen käyttö yhteisenä työkielenä – eli ns. lingua francana – voi luoda haasteita vuorovaikutukselle ja yhteistoiminnalle.

Kriisinhallintatyö monimutkaisissa, moniulotteisissa ja monikansallisissa tilanteissa edellyttääkin onnistunutta yksilöiden välistä vuorovaikutusta, yhteistoimintaa ja yhteisten käytäntöjen luomista. Riippumatta siitä, onko kyseessä strateginen, operatiivinen, taktinen tai tekninen operaatiotasoa, puheella ja vuorovaikutuksella on keskeinen rooli kriisinhallinnassa. Puheen avulla ja vuorovaikutuksessa jaetaan tietoa, luodaan tilannetietoisuutta, ratkaistaan haastavia tilanteita ja neuvotellaan eri osapuolien välillä. Puhumisen ja vuorovaikutuksen merkitystä painotetaan kriisinhallintakoulutuksessa koko ajan.

Kriisinhallintakoulutuksessa käytettävän puheen ja vuorovaikutuksen tutkimus on uusi tutkimusalue Suomessa. Se on osa laajempaa etnografista tutkimuskokonaisuutta, jota Maanpuolustuskorkeakoulun johtamisen ja sotilaspedagogiikan laitoksella ja Puolustusvoimien kansainvälisessä keskuksessa on viime vuosina sovellettu erityisesti kansainvälisissä kriisinhallintaharjoituksissa. Etnografia tarkoittaa osallistuvaa tutkimusta, jossa tutkijat ovat mukana harjoituksissa. He havainnoivat, tekevät muistiinpanoja, kirjoittavat kenttäpäiväkirjaa, valokuvaavat sekä keskustelevat ja haastattelevat toimijoita. Olemalla mukana harjoituksissa tutkijat pääsevät syvällisesti tarkastelemaan osallistujien välistä toimintaa, sen prosessoitumista ja käytänteitä. Se mahdollistaa konkreettisesti pääsyn ilmiöihin sekä toiminnan nopeaan rytmiin. Etnografian avulla kriisinhallinnan kompleksisuus saadaan siis näkyväksi ja sitä pystytään tutkimaan tarkasti. Nyt tutkimusotetta on ensimmäistä kertaa syvennetty videonauhoituksilla, jotka mahdollistavat yhä tarkemman ja hienosyisemmän vuorovaikutuksen analysoimisen.

## Menetelmä

Videonauhoitusten analysointiin käytetään keskustelunanalyysin menetelmää, joka tuo lisää syvyyttä etnografiseen tutkimukseen. Keskustelunanalyysi on laadullinen tutkimusmenetelmä. Siinä käytettävät videonauhoitukset kerätään aidoissa vuorovaikutustilanteissa ja niiden pohjalta tehdään yksityiskohtaisia litteraatteja. Keskustelunanalyysia käytetään laajasti esimerkiksi yhteiskunta-, kieli- ja kasvatustieteellisessä tutkimuksessa. Sen avulla tutkitaan ihmisten välistä toimintaa pureutumalla puheen ja kehollisen vuorovaikutuksen yksityiskohtiin. Katsomalla videoaineistoja useaan kertaan tutkijan tavoitteena on tunnistaa videoaineistosta toiminnan kannalta tärkeitä ilmiöitä. Aineistojen pohjalta tehtävät litteraatit kuvaavat osallistujien puheen ja kehollisen toiminnan yksityiskohtia. Analyysi keskittyy osallistujien toimintaan puheenvuoro puheenvuorolta ja hetki hetkeltä. Sen avulla voidaan kuvata, miten erilaiset tilanteet alkavat, kehittyvät ja

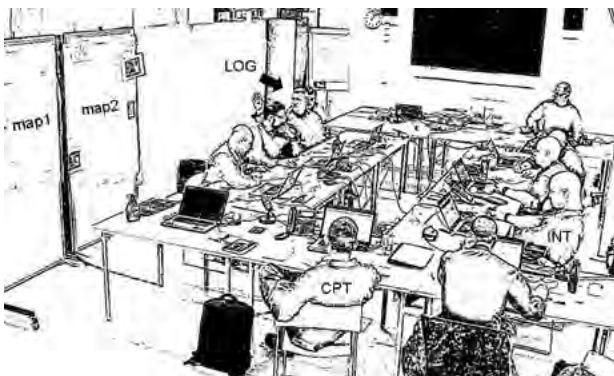


päätyvät (esim. johtaen päätöksentekoon) ja miten esimerkiksi kriittiset tilanteet ratkaistaan onnistuneesti yhdessä. Sen avulla voidaan myös kuvata reaaliajassa, miten osallistujat reagoivat yksittäisiin tapahtumiin sekä luovat yhteisymmärrystä. Keskusteluanalyysin avulla voidaan siten tunnistaa ja kuvata vuorovaikutuksen ilmiöitä, joilla keskustelijat osoittavat ymmärrystä muiden tekemistä ja ympärillä tapahtuvista asioista sekä tunnistavat ja ratkaisevat ongelmia yhdessä.

Keskusteluanalyysia ei ole aiemmin käytetty kriisinhallintakoulutuksen tutkimuksessa. Ensimmäisen kerran tutkijat pääsivät tekemään videonauhoituksia monikansallisessa VIKING18-kriisinhallintaharjoituksessa huhtikuussa 2018. VIKING on Ruotsin puolustusvoimien, Ruotsin maanpuolustusyliopiston ja Folke Bernadotte -säätiön järjestämä monikansallinen esikuntaharjoitus. Siinä simuloidaan kuvitteellista YK-mandaatilla ja Naton johdolla toteutettavaa kansainvälistä kriisinhallintaoperaatiota. VIKING18 oli järjestyksessä kahdeksas VIKING-harjoitus. Siihen osallistui n. 2 500 henkilöä yli 50 maasta ja kymmeniä eri kansainvälisiä järjestöjä. Harjoitus järjestettiin samanaikaisesti viidessä eri maassa.

Videoaineistojen keräämiseen ja analysointiin liittyy tutkimuseettisiä kysymyksiä, joihin vastaaminen kriisinhallintakoulutuksen kontekstissa on erityisen tärkeää. Tutkimusta varten on etukäteen hankittu tutkimusluvut pääesikunnalta ja jokaiselta harjoituksen pääjärjestäjältä. Tutkimuksesta on informoitu kaikkia harjoitukseen osallistujia etukäteen. Jokaisella on ollut myös mahdollisuus kieltäytyä tutkimuksesta. Tutkimuksen pohjalta tehtävistä julkaisuista ja raporteista häilytetään tiedot, joiden perusteella osallistujat voitaisiin yksilöidä (esim. nimi, kansallisuus, sotilasarvo). Esimerkiksi kuvat muokataan niin, ettei niistä voi yksilöidä henkilöitä (kuva 1).

VIKING18-harjoituksessa videonauhoitukset tehtiin taketisen tason (Maavoimien prikaati) operaatiokeskuksessa



**Kuva 1.** Videonauhasta kaapattu kuva, jossa operaatiokeskuksen toimijat on anonyisoitu.

(kuva 1). Prikaatin tason keskus on tilannetietoisuuden ja oikean informaation välittämisen näkökulmasta keskeinen solmukohta. Sen tehtävänä on ylläpitää kokonaiskuvaa operaatiosta, ennustaa tulevia tapahtumia sekä käsitellä muualta tulevaa tietoa ja välittää sitä eteenpäin. Siellä tehdään operaatioon liittyviä päätöksiä, jotka pohjautuvat eri lähteiden pohjalta rakentuvaan tilannekuvaan ja keskusteluihin operaatiokeskuksen eri toimijoiden välillä. VIKING18-harjoituksessa operaatiokeskuksessa toimi kymmenen eri puolustushaarojen sotilaspeserä.

Korkealaatuisen kuvan ja äänen nauhoittaminen isossa ja kiireisessä tilanteessa on haasteellista. Videoaineistojen nauhoittamisessa käytettiin yhtä 360-asteen videokameraa (kuva 2), joka kiinnitettiin keskelle operaatiokeskuksen kattoa, ja yhtä kameraa, jolla nauhoitettiin yleiskuva huoneesta. Kamerat yhdistettiin tietokoneeseen LAN-kaapelilla ja nauhoituksista tehtiin koko ajan varmuuskopioita. Osallistujien puhe nauhoitettiin kymmenellä korkealaatuisella



**Kuva 2.** Videonauhoituksissa käytetty 360-asteen kamera. (Kuva: Pentti Haddington)



**Kuva 3.** Operaatiokeskuksen puhe nauhoitettiin usealla mikrofonilla, jotka reititettiin äänipöydän kautta tietokoneeseen. (Kuva: Pentti Haddington)



mikrofonilla, jotka aseteltiin operaatiokeskuksen vuorovai-  
kutuksellisiin fokuksipisteisiin, kuten upseerien työpöydille ja  
seinäkarttojen läheisyyteen, ja reititettiin äänipöydän kautta  
tietokoneeseen (kuva 3).

### Mitä ilmiöitä voidaan tutkia?

Keskusteluanalyysin menetelmän sekä kerättyjen videoai-  
neistojen avulla on mahdollista tutkia erilaisia puheen ja  
vuorovaikutuksen ilmiötä. Alustavan tutkimuksen perusteel-  
la aineistosta nousee esille seuraavia tutkittavia asioita.

- Mikä on puheen ja vuorovaikutuksen merkitys, kun toimi-  
jat, jotka useinkaan eivät tunne toisiaan, alkavat ryhmytyä ja  
tehdä yhteistyötä kriisinhallintaharjoituksessa? Miten toimi-  
jat esimerkiksi ratkaisevat haastavia tilanteita yhdessä?
- Miten osallistujat ovat vuorovaikutuksessa organisaatiora-  
jojen yli? Miten erilaiset taustat (esim. kansallisuus, organi-  
saatio, kokemus, kielitaito) vaikuttavat vuorovaikutukseen?  
Miten toimijat ratkaisevat puheen ja vuorovaikutuksen avul-  
la erilaisista taustoista johtuvat epäselvyydet ja väärinymmär-  
rykset?
- Miten osallistujat ratkaisevat yllättäviä häiriötilanteita tai  
ongelmia, kun heiltä vaaditaan nopeaa reagointia ja nopeita  
ratkaisuja? Mitkä ovat ne tehokkaat vuorovaikutuksen kei-  
not, joilla ongelmia aletaan ratkaista? Mitkä ovat ne kestä-  
vät käytänteet, joiden avulla osallistujat jakavat, levittävät ja  
osoittavat vastaanottaneensa ja ymmärtäneensä tietoa? Miten  
osallistujat sanovat, etteivät ymmärtäneet, mitä heille sanotiin?  
Miten osallistujat saavat tiedon, että heidät ymmärrettiin?  
Miten osallistujat pyytävät tarkentamaan heille kerrot-  
tua asiaa? Miten osallistujat selvittävät, kuka tietää mitä?

### Mitä hyötyä tästä tutkimuksesta on?

Tutkimus luo "tieteellistä mikrotilannekuvaa" yhden krii-  
sinhallintaharjoituksen operaatiokeskuksen toiminnasta.  
Tutkimuksen kohde, operaatiokeskus, on tilannekuvan ra-  
kentamisen, luomisen ja jakamisen ydinyksikkö. Siellä raken-  
netaan ajantasaista tilannekuvaa, jonka perustalle komentaja

sekä muut yksiköt ja toimijat voivat suunnitella ja toteuttaa  
oman toimintansa. Tutkimustulokset tulevat antamaan sy-  
vällistä kuvaa operaatiokeskuksen erityisestä tehtävästä, sen  
prosesseista ja tunnusmerkeistä. Samalla tulokset heijastavat  
laajemmin niitä piirteitä, ilmiöitä ja haasteita, joita saattaa  
esiintyä yleensäkin monikansallisen ja kansallisen operaatio-  
keskuksen toiminnassa.

Yleisemmin tarkasteltuna tutkimus ja koulutus ovat tulevai-  
suuteen orientoituneita toimintoja. Niiden avulla tehdään nä-  
kyväksi koulutuksessa, harjoituksissa ja siten myös todellisessa  
toiminnassa olevia ilmiöitä, joiden ymmärtäminen on mer-  
kittävää kriisinhallintaoperaation onnistuneelle toiminnalle.  
Ne mahdollistavat kyvyn vastata, joustaa ja mukautua mo-  
nimutkaisien toimintaympäristön vaatimuksiin tehokkaasti.  
Samalla ne saattavat nostaa esiin ilmiöitä, jotka edellyttävät  
toiminnan uudelleenarviointia, uusien toimintamuotojen ja  
-käytänteiden luomista sekä yleisemmin innovatiivista otetta.

Tutkimustietoon perustuva kriisinhallintakoulutus ja -harjoit-  
ukset luovat ja kehittävät kyvykkyyttä, ymmärrystä ja verkos-  
toja toimia yhä monimutkaisemmissa kriisinhallintaympä-  
ristöissä. Nämä kyvykkyydet ja kokemukset ovat merkittäviä  
myös kansallisen puolustuksen ja kokonaisturvallisuuden  
kehittämisessä. Koska Suomen turvallisuusympäristö on yhä  
enemmän yhteydessä kansainväliseen toimintaympäristöön,  
Puolustusvoimien kyky hyödyntää kansainvälisissä kriisin-  
hallintaoperaatioissa ja -harjoituksissa hankittua osaamista  
sekä kyky soveltaa sitä kansalliseen toimintaympäristöön on  
ensiarvoisen tärkeää.

#### Kirjoittajat:

Pentti Haddington on englannin kielen professori Oulun  
yliopiston Kielten ja kirjallisuuden tutkimusyksikössä.

Soili Paananen on kriisinhallinnan apulaisprofessori  
Maanpuolustuskorkeakoulun johtamisen ja  
sotilaspedagogiikan laitoksella.

Antti Kamunen on tohtoriopiskelija Oulun yliopiston Kielten  
ja kirjallisuuden tutkimusyksikössä.

# Winland: kokonaisturvallisuuden ennakointia ja yhteiskehittelyä

**Winland-tutkimushanke on Strategisen tutkimuksen neuvoston (STN) rahoittama kolmivuotinen tutkimushanke. Hanke tarkastelee Suomen energia-, ruoka- ja vesiturvallisuuden näkökulmista Suomen kokonaisturvallisuutta erityisesti tutkimuksen, yhteiskehittämisen ja tulevaisuusskenaarioiden avulla.**

Winland-hankkeen perustana on valtioneuvoston 15.10.2015 päättämä Kokonaisturvallisuus globaalissa ympäristössä -tutkimusteema. Päätöksessään valtioneuvosto nosti turvallisuustutkimuksen keskiöön suomalaisen yhteiskunnan kokonaisturvallisuuden, toimintavarmuuden sekä reagointi- ja riskinsietokyvyn. Samassa yhteydessä painotettiin toimintaympäristön ilmiöiden keskinäisriippuvaisuutta ja muun muassa sisäisen ja ulkoisen turvallisuuden yhteen kietoutuneisuutta.

Maanpuolustuskorkeakoulun strategia 2020:ssa muotoillun tehtävän (missio) mukaisesti korkeakoulun päätehtävänä on upseeriston kouluttamisen ja kasvattamisen lisäksi edistää kansakunnan kokonaisturvallisuutta sotatieteellisellä tutkimuksellaan ja osaamisellaan. Strategiassa korkeakoululle on määritelty viisi tutkimuksen painopistealuetta, joista kokonaisturvallisuus on yksi näistä.

Winland-hanke rakentuu monitieteiselle konsortiolle, joka koostuu Aalto-yliopiston, Helsingin yliopiston, Itä-Suomen yliopiston, Turun yliopiston Tulevaisuuden tutkimuskeskuksen, Maanpuolustuskorkeakoulun, Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) ja Demos Helsingin tutkijoista ja asiantuntijoista. Winland jäsentää kokonaisturvallisuuden eri ulottuvuuksia myös tieteidenvälisen tutkimuksen keinoin. Arvojensa mukaisesti yhteiskunnallisesti vaikuttaessaan Winland pyrkii lisäksi niin sanottuun tieteiden ylisyyteen (transdisciplinarity), jossa sidosryhmiä ja yhteiskunnan eri sektoreiden edustajia osallistetaan yhteiseen, sekä teemallisesti eriytettyyn että kytköksellisesti yhteen nivottuun, prosessiin. Prosessi etenee työpajakeskeisesti sekä hajautettuja että koottuja työskentelymuotoja yhdistellen. Lisätietoa hankkeesta ja sen julkaisuista: <https://winlandtutkimus.fi/julkaisut/>.

## Winlandin tutkimusongelmia ja tutkimustuloksia

Winlandin seitsemässä tutkimusongelmassa korostuvat muun muassa globaalien teemallisten muutostekijöiden kansalliset vaikutukset ja se, kuinka näihin tekijöihin voitaisiin muun muassa yhteiskunnallisesti ja poliittisen tason toi-

min varautua niin, että otetaan huomioon sekä ”positiivisia” että ”negatiivisia” skenaarioita ja kehityspolkuja.

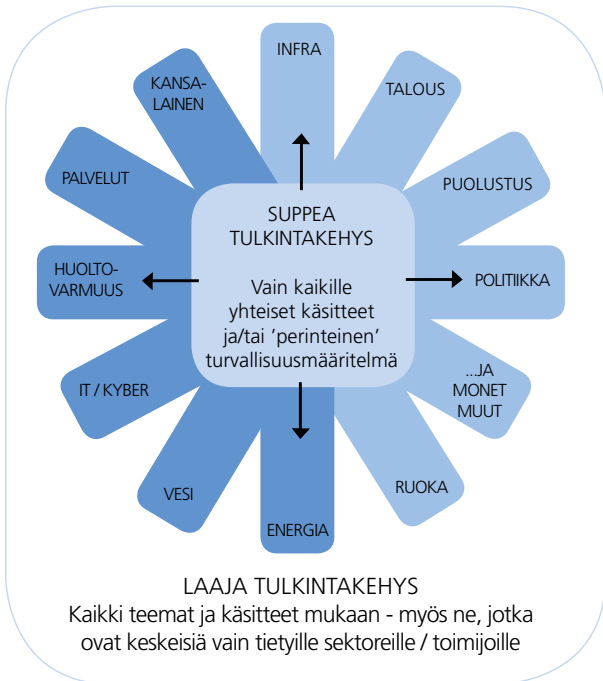
Strategisen tutkimuksen neuvoston rahoittamien hankkeiden tuotosindikaattorit ovat perinteisiä tieteellisen toiminnan tulostavoitteita ja sisältävät tieteellisten julkaisujen ja blogien lisäksi muun muassa kansainvälisiä rahoitushakemuksia ja uusia myönnettyjä tutkimusrahoituksia mutta myös tuotosindikaattoreita sidosryhmätöihin, vuorovaikutukseen ja taloudellisuuteen liittyen. Tällä hetkellä Winland on tuottanut yli 40 tieteellistä julkaisua ja noin 40 blogia sekä kaksi politiikkasuositusta (Policy Brief), joista kerrotaan tarkemmin hankkeen nettisivuilla <https://winlandtutkimus.fi>.

## Kokonaisturvallisuus ja etuliiteturvallisuudet

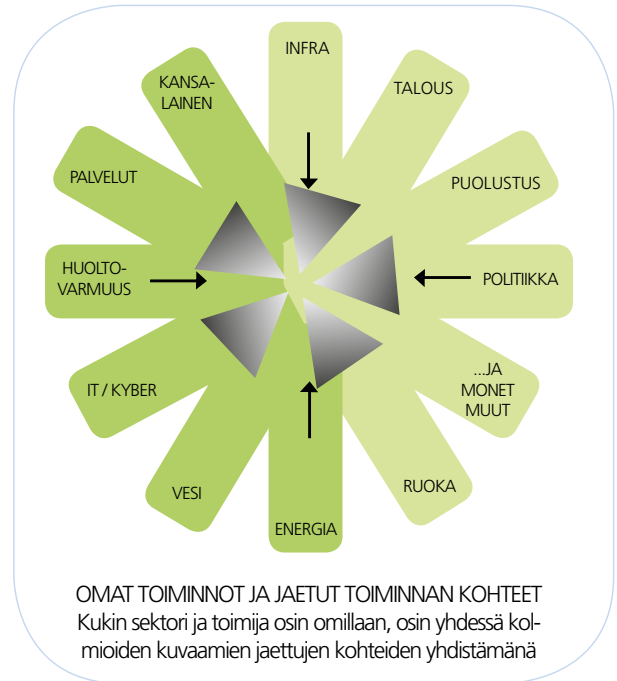
Vaikka Winlandin keskiössä on kokonaisturvallisuus ja mukana on Maanpuolustuskorkeakoulun tutkijoita, valtaosa hankkeen tutkijoista ei ole varsinaisia turvallisuustutkijoita. Toisaalta suurin osa hankkeen tutkijoista on jo aiemmin tehnyt tutkimusta niin sanotun etuliiteturvallisuuden maailmassa, etenkin energia-, ruoka- ja vesiturvallisuuteen liittyen: hankkeen tavoitteena onkin tuoda nämä erilaiset etuliiteturvallisuudet yhteen kokonaisturvallisuuden ja resilienssin käsitteiden avulla. Hankkeen sidosryhmistä merkittävä osa lähestyy turvallisuutta lähinnä omien sektoreidensa näkökulmista.

Tulkintamme mukaan turvallisuuskeskustelu ja -diskurssi on viime vuosikymmeninä entisestään laaja-alaistunut perinteisestä sisäisen turvallisuuden takaamisesta ja kokonai- maanpuolustuksesta laaja-alaisemmaksi etuliiteturvallisuuk- sien verkostoksi (kuva 1). Sittemmin on ollut havaittavissa esimerkiksi jaettujen mallien ja kohteiden ilmaantumista, jota Winland toiminnallaan edesauttaa.

Diskurssin laaja-alaistumisen seurauksena turvallisuuskeskustelu on entisestään pirstoutunut mitä erilaisempien intressien ja näkökulmien ristipaineessa. Täten esimerkiksi niin laajasti yhteiskuntaan vaikuttavien tapahtumien kuin vakavien alueellisten tapahtumienkin kytköksiä ei välttämättä tiedosteta eikä tunnisteta sillä seurauksella, että erilaiset riskit ja uhkat eivät välttämättä saa osakseen yhteiskunnan eri sektoreiden toimijoilta ansaitsemaansa jaettava huomiota ja toimenpiteitä. Näinhän on käynyt esimerkiksi, vaan ei yksinomaan, ilmastonmuutoksen osalta.



**KOKONAISTURVALLISUUDEN KÄSITTEELLISTÄMINEN**  
**KAKSI TULKINTAKEHYSTÄ:**  
kehityssuunta keskeltä kohti reunoja eli suppeasta laajaan



**KOKONAISTURVALLISUUDEN TOIMINNALLISTAMINEN**  
**KAKSI ULOTTUVUUTTA:**  
kehityssuunta erillisistä kohti yhteistä eli keskellä olevia jaettuja toiminnan kohteita

**Kuva 1. Turvallisuuden laaja-alaistumisesta jaettuihin kohteisiin.**  
(Lähde: Keskinen ym. 2017)

Turvallisuuskeskustelu on täten pirstoutunut erillisiksi teemallisiksi ja hallinnonalakohtaisiksi keskusteluiksi, joissa usein korostuu erittelevyys ja luokittelevuus eri toimijoita yhdistävien ja yhteen tuovien teemojen sekä jaettujen kohteiden sijasta. Winlandin maailmankuvan mukaan todellisuudessa turvallisuus(kin) rakentuu systemisesti eli yhdistelmänä erilaisia teemoja ja niiden välisiä kytköksiä. Eri sektoreiden välisiä kytköksiä ja vaikutuksia pyritään osoittamaan, havainnollistamaan ja käytännöllistämään kaikille kansalaisille keskeisten, ja kaikkia yhdistävien, teemojen avulla. Tällaisia teemoja ovat Winland-hankkeessa etenkin energia, ruoka, vesi ja ilmasto.

### **Painotus kytköksissä**

Winland-hankkeen tutkimus perustuu osin veden, energian ja ruuan välisiä yhteyksiä tarkastelemaan niin sanottuun nexus- eli kytkös-lähestymistapaan. Täten teemakohtaisista erillistarkasteluista on oltu siirtymässä sektoreita ja teemoja ylittävien kytkösten yhteiseen ja yhteiskunnalliseen hahmottamiseen. Ymmärtääksemme myös kokonaisturvallisuustoiminnalla ja muulla yhteiskunnallisella turvallisuustoiminnalla olisi opittavaa tästä kytköksellisyyttä korostavasta näkökulmasta ja toimintatavasta.

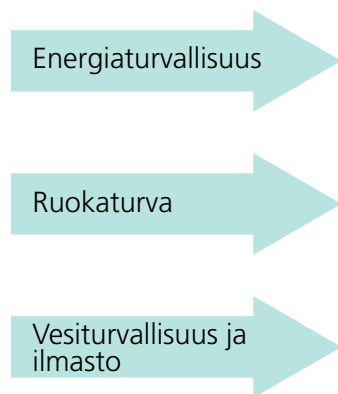
Kytköksissä on keskeistä, että yhteiskunnan kaikki sektorit otetaan ja kytketään tarkasteluun mukaan, kuten vaikkapa

Yhteiskunnan turvallisuusstrategiaa (2017) tehtäessä toimitiin. Toisaalta on tarpeen sisällyttää tarkasteluun se, miten paikalliset ja alueelliset teemalliset muutokset heijastuvat yhteiskunnallisesti Suomeen ja suomalaisiin sekä päinvastoin. Suomalaisella kulutuskäyttäytymisellä ja toiminnalla on nimittäin hyvin laajoja jopa globaaleja teemallisia, ja myös kokonaisturvallisuuteen liittyviä, vaikutuksia. Samassa yhteydessä joudutaan tasapainottamaan eri aikajäniteitä toisiinsa eli nykytilan tarkasteluja yhdistetään sekä historiallisiin että tulevaisuuden tutkimuksellisiin tarkasteluihin.

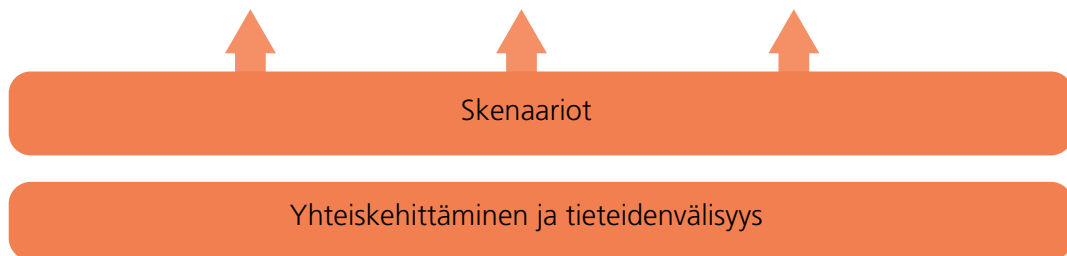
Winland-hankkeen aikajänne ulottuu aina vuoteen 2040 asti, sillä riittävän pitkä perspektiivi on tarpeen suurien vaihtoehtoisten kehityskulkujen ja muutosten hahmottamiseksi. Näin ollen Winland tarkastelee esimerkiksi kansalliseen ennakointiin ja turvallisuuteen sekä riskienarviointiin liittyviä prosesseja ja tarjoaa alustoja yhteiskehittelylle sekä erilaisten intressien ja ristiriitojen käsittelylle ja oppimiselle.

Kun turvallisuuden strategioita toiminnallistetaan ja toimeenpannaan yhteiskunnan eri sektoreilla ja verkostojen kaikissa osissa, korostuu entisestään jaettuihin malleihin (kuva 1) ja kohteisiin fokuoituminen. Winland on tunnistanut, että esimerkiksi yhteiskunnan elintärkeät toiminnot ja erityisesti kriittinen infrastruktuuri ovat tällaisia jaettuja ja turvattavia kohteita.

## TEEMAT



## PROSESSIT



Kuva 2. Winlandin teemat, prosessit ja menetelmät.

### Lainsäädännön merkitys turvallisuudelle

Lainsäädäntö tarjoaa kehyksen, jonka puitteissa myös kokonaisturvallisuuden poliittisia päätöksiä tehdään ja prosessoidaan. Se myös määrittelee eri toimijoiden vastuut turvallisuudesta. Winlandin painopisteitä energia-, ruoka- ja vesiturvallisuutta on oikeus lähestynyt perinteisesti etenkin valmiuslainsäädännön näkökulmasta. Nytemmin muun muassa muuttuva toimintaympäristö on haastanut tämän perinteisen näkökulman, ja valmiuslainsäädännön ohella oikeudellisessa sääntelyssä onkin alettu keskittyä normaaliolojen häiriötilanteiden hallintaan ja pitkän aikavälin turvallisuusajatteluun.

Winlandin näkemyksen mukaan yhteiskunnallisen turvallisuuden sääntelyn painopistettä tulisi siirtää valmiuslaista ja muista ”kovan turvallisuuden” laeista myös osaksi energia-, ruoka- ja vesialan lainsäädäntöä. Tätä kautta turvallisuuden hallinta muodostuisi kiinteäksi ja arkipäiväiseksi osaksi alojen, mielellään myös sektorirajat ylittäviä, toimijoiden käytänteitä ja rutiineja. Lisäksi sääntely tulisi hahmottaa ajallisena jatkumona häiriötilannetoiminnasta varautumiseen ja luonnonvarojen kestäväan käyttöön (tasapainoiseen luontosuhteeseen).

### Resilienssi ja oppiminen turvallisuuden takaajina

Maanpuolustuskorkeakoulun Winland-hankkeessa tekemä tutkimus keskittyy etenkin resilienssin ja oppimisen tarkasteluun osana turvallisuuskeskustelua ja -toimintaa. Resilienssi toimii myös hankkeen eri tutkijoita yhteen tuovana käsitteenä. Hankkeen aikana on ollut kiinnostava huomata, miten monilla eri tavoilla resilienssi-käsite ymmärretään jopa saman hankkeen sisällä: toisille se voi tarkoittaa ennen kaikkea (teknisten) järjestelmien toimivuuden varmistamista, toisille taas sosio-ekologisten systeemien toimintaperiaatteiden pohdintaa. Eri näkökulmat ovat ymmärrettäviä ja sinänsä kaikki oikein; ne vain kuvaavat resilienssin eri tasoja ja tuovat siltäkin tavalla siis erilaisia tutkimussuuntia yhteen.

Lisäksi Winlandin Maanpuolustuskorkeakoulun avainhenkilöt järjestävät täydennyskoulutusta kriittisen infrastruktuurin resilienssin yhteiskehittämisen parissa, jossa on tuotettu lukuisia sekä praktisia että käsitteellisiä kontribuutioita, joihin keskitymme Winland-hankkeen ”loppusuoralla”.

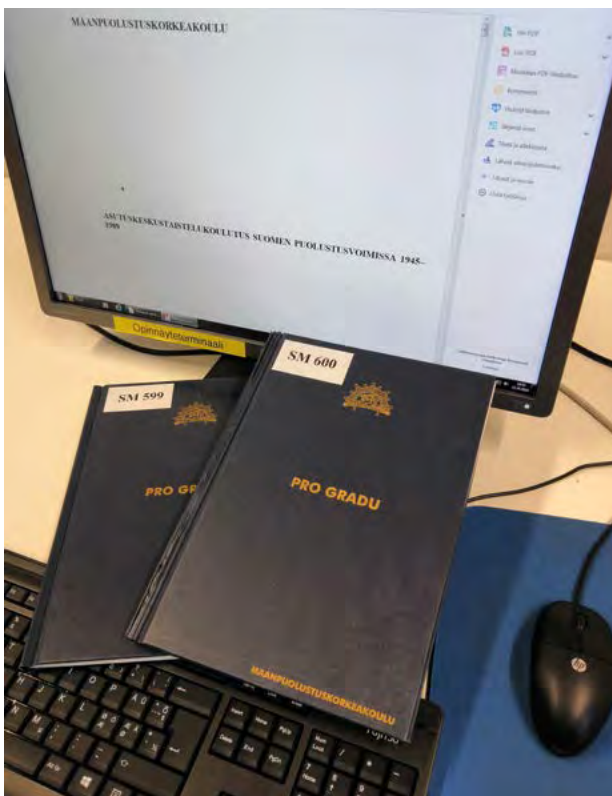
#### Kirjoittaja:

Professori (Ph.D.), ye-everstiluutnantti Juha Mäkinen toimii sotilaspedagogiikan professorina Maanpuolustuskorkeakoulussa johtamisen ja sotilaspedagogiikan laitoksella ja Winland-tutkimushankkeen Resilienssi ja oppiminen -osahankkeen johtajana.



# Alueellisten joukkojen taistelusta nopeaan tilannekehitykseen - Taktiikan opinnäytetöiden anti vuonna 2018

Puolustusvoimien johto velvoitti muutama vuosi sitten Maanpuolustuskorkeakoulua (MPKK) kytkemään eri tutkintotasojen opinnäytetyöt aiempaa paremmin hyödyttämään Puolustusvoimien kehittämistä. Tämän seurauksena esimerkiksi taktiikan tutkielmat liittyvät joko suoraan tai ainakin lujasti tukien Puolustusvoimien tutkimus- ja kehittämissuunnitelmaan sisältyviin tutkimuskohteisiin. Mutta kuinka hyvin valmistuneet opinnäytetyöt tunnetaan ja kuinka laajalle niiden tuottama tieto on levinnyt? Krimin miehittämisen ja Itä-Ukrainan sodan kokemusten perusteella monet valtiot ovat muuttaneet asevoimiensa kehittämisen painopistettä. Miten kansainvälinen kehitys on vaikuttanut MPKK:n opinnäytetöiden aihevalintoihin?



Kuva 1. Maanpuolustuskorkeakoulun kirjaston opinnäyteterminaali. (Kuva: Antti Kalliola)

## Jalkauttaminen on tärkeää

Maanpuolustuskorkeakoulun antaman tutkimusmenetelmäopetuksen oppimistehtävien yhteydessä on havaittu, että oppilasupseerit eivät juuri tunnista selailemiaan aiempia opinnäytetöitä omaan aihealueeseensa perehtyessään. Mahdollisuudet tutustua omaan ammattiin ja erikoisalaan liittyvään viimeisimpään tutkimukseen ovat olleet rajalliset. Tutkitun sotatieteellisen tiedon julkaisemista ja jalkauttamista tulee siis edelleenkin kehittää. Kun jo usean vuoden ajan käynnissä ollut tutkimusrekisterihanke valmistuu, mahdollistaa se aiempaa huomattavasti helpommin tutkitun tiedon ääreen pääsemisen.

Jo ennen tutkimusrekisterin valmistumista on MPKK kehittänyt omassa vallassaan olevia tapoja lisätä opinnäytetöiden tunnettua. Lähes kaikki uusimmat julkiset diplomityöt, pro gradu -tutkielmat ja vuoteen 2015 asti laaditut esituseerikurssin tutkielmat ovat luettavissa Kansalliskirjaston ylläpitämässä Doria-julkaisuarkistossa. Maisteriosasto on laajentanut valmistuneita pro gradu -tutkielmia esittelevään seminaariin kutsuttavien joukkoa ja sisällyttänyt esiteltäviin töihin erinomaisten tutkimusten lisäksi tutkimustuloksiltaan erityisen kiinnostavia ja metodologialtaan poikkeuksellisia töitä. MPKK:n kirjastolla on ollut syksystä 2017 alkaen tutkijoiden käytössä opinnäyteterminaalit, jollaisia on laajasti käytössä muissakin suomalaisissa yliopisto- ja korkeakoulukirjastoissa. MPKK:n opiskelijat ja henkilökunta pääsevät terminaalin ansiosta 24/7-periaatteella lukemaan ja tulostamaan sähköisessä muodossa olevia MPKK:n opinnäytteitä kaikilta tutkintotasoilta (julkiset ja Suojaustaso IV, Käyttö rajoitettu).

Tämä artikkeli pyrkii lisäämään tietoutta MPKK:n opinnäytetyötarjonnasta. Artikkelin jatkumoa Puolustustutkimuksen ajankohtaiskatsauksessa 3/2017 tehdylle esitykselle juuri valmistuneista sotataidon opinnäytetöistä. Tällä kertaa tarkastellaan yksinomaan taktiikan opinnäytetöitä ja niihin liittyvän tutkimusintressin muutosta.

Vuonna 2018 valmistui MPKK:ssa 108 taktiikan opinnäytetyötä. Koska yleisesikuntaupseerikurssin kaksivuotisuuden vuoksi vuonna 2018 ei valmistunut diplomitöitä eikä yhtään operaatiotaidon ja taktiikan tieteenalan väitöskirjaa, ei varsinaisesti operaatiotaitoon liittyneitä opinnäytetöitä ole

valmistunut. Kuitenkin useiden sotatieteiden maistereiden pro gradu -tutkielman ja muutamien kandidaattienkin tutkielmien aihetta on tutkittu operatiivisessa kehyksessä, joten valistuneen operaatiotaidon tutkijan kannattaa edelleenkin oman aihealueensa tutkimustilannetta selvittäessään perehtyä myös omaa työtään alempien tutkintotasojen aiempiin opinnäytetöihin.

### Kandidaatintutkielmat Puolustusvoimia kehittämässä?

Kandidaatintutkielmien hyödynnettävyys Puolustusvoimien eri osa-alueiden kehittämisessä on varsin rajoitettua. Tutkielman tieteellisyyden tavoitteena pidetään sitä, että opinäyte on soveltavaa tutkimusta, joka tehdään tieteellisillä metodeilla mutta jossa ei tavoitella uutta tieteellistä tietoa. Kandidaatintutkielma on tutkimusprosessin ymmärtämiseen perustuva työ, jossa harjaannutetaan opiskelijaa tieteelliseen



Kuva 2. Sähköiset palvelut ja verkkotietokannat eivät vielä täysin ole ohittaneet printtikirjojen suosiota opiskelijoiden opinnäytetöiden teoriapohjan lähteinä. Lainausautomaattien ansiosta muun muassa ohjesääntökirjallisuutta voi lainata vielä iltaisin. MPKK:n kirjaston vuosittaisesta 15 000–17 000 lainatusta teoksesta noin puolet on opiskelijoiden lainausautomaateilla lainaamaa. Kokonaisvolyymi on hieman laskenut aiemmista vuosista, koska Doria on erittäin aktiivisessa käytössä. (Kuva: Janne Mäkitalo)

kirjoittamiseen. Tutkielman tiedonkeruu- ja analysointimenetelmien valinnassa pyritään yksinkertaisuuteen ja selkeyteen. Kandidaatintutkielmat ovat luonteeltaan tavallisesti kuvailevia.

Kandidaatintutkielmien aihevalintaan ja ohjaamiseen kuitenkin panostetaan, koska jo tässä vaiheessa opiskelijoilla on mahdollisuus alkaa kehittyä valitsemansa aihealueen asiantuntijuutta kohti tai ainakin hankkia laajahko tietämys valitsemastaan aihealueesta. Tämän vuoksi tutkielmien aihealueita laadittaessa pyritään luomaan mahdollisimman paljon nuoren upseerin ensimmäisissä tehtävissä hyödyksi olevia aiheita. Tällä kertaa pääosa aiheista sijoittuu Puolustusvoimien T&K-toiminnan painopistealueiden ja Maanpuolustuskorkeakoulun tutkimusstrategian painopistealueiden piiriin. MPKK:n tutkimuksen painopistealueita ovat kansallinen puolustus, kokonaisturvallisuus, Venäjä, Nato ja kansainvälinen kriisinhallinta. Suurin osa taktiikan kandidaatintutkimuksista asettui näistä kahteen ensimmäiseen ryhmään. Puolustusvoimien T&K-suunnitelman painopistealueille sijoittuvat aiheet liittyivät useimmiten käyttö- ja toimintaperiaatteiden kehittämiseen sekä miehittämättömiin järjestelmiin ja autonomiaan. Tietenkään 20–40 sivun mittaisen tutkielman anti ei vaativista aiheista voi olla uutta luova tai maailmaa mullistava, mutta se on tekijälleen erinomainen tilaisuus perehtyä aiheeseen.

Toinen ohjaajia ja etenkin professorikuntaa kiinnostava kandidaatintutkielmien tavoite liittyy tutkimuksellisesti suuntautuneiden ja toivottavasti vielä lahjakkaiden nuorten upseereiden löytämiseen. Minkään tutkijarodun jalostaminen ei ole intresseissä vaan tutkimuksesta kiinnostuneiden tulevien upseereiden kannustaminen varsin pitkällä ja kivikoisella tiellä. Monta kertaa on käynyt niin, että varsin aikaisessa vaiheessa annettu oikeanlainen tuki on motivoinut upseeria ja johtanut vaativampien tutkimustehtävien äärelle myöhemmällä uralla. Puolustusvoimat ei tule toimeen ilman tutkivia upseereita.

### Jokaiselle jotakin

102. kadetti- ja 85. merikadettikurssin kadetit valmistuivat sotatieteiden kandidaateiksi ja upseereiksi 31. elokuuta 2018. Yhteensä 145 valmistuneesta upseerista 64 oli laatinut kandidaatintutkielmansa taktiikan alueelta. Niistä 42 sijoittui maasotataktiikan, 13 ilmasota- ja ilmapuolustuksen taktiikan ja yhdeksän merisotataktiikan piiriin. Eri puolustushaarojen opiskelijoiden laatimien tutkielmien kirjo pelkästään taktiikan alueella oli monipuolinen ja kiinnostava.

Maasotataktiikan alalta komppaniatason aiheet olivat pääosin vielä Maavoimien taistelu 2015:n mukaiseen alueelliseen taisteluun liittyviä. Ryhmä- ja joukkuetason aiheet puolestaan sijoittuivat sekä edellä mainittuun kehykseen että olivat sovellettavissa myös nopean tilannekehityksen tais-

telutekniikassa. Suosittuja aiheita olivat myös taistelu rakennetulla alueella ja viimeaikaisista sodista saadut kokemukset sekä niiden hyödyntäminen taistelutekniikan kehittämises- sä, ja ne kytkeytyivät myös molempiin taktiikan tutkimuk- sen intressipiireihin. Lisäksi nousevien teknologioiden tai jo olemassa olevien teknologioiden uudenlainen hyödyntämi- nen taistelukentällä oli useiden tutkielmien aiheena.

Ilmasota- ja ilmapuolustustaktiikan tutkielmissa viime- aikaisten ilmaoperaatioiden käsittely oli silmiinpistävä- runsasta. Lentokalustoon liittyvät aiheet kohdistuivat sekä länteen että itään. Tukeutumisen ja taisteluvälineiden piiriin sijoittuvat aiheet liittyivät uusimpiin hankkeisiin. Aiheet oli- vat erinomaisella tavalla nuorten ilmapuolustusupseereiden ammattitaitoa ja tietämystä laajentavia.

Myös merisotataktiikan aiheet olivat ”ajan hermolla” ja koh- distuivat muun muassa Laivue 2020:aan eri näkökulmista, merivoimien taisteluun Itämeren alueella liittyviin uhkateki- jöihin ja merisodankäynnin johtamiseen.

Taktiikan tutkielman laatijoista erinomaiset tiedot saavutti kaksi opiskelijaa: Aapo Raappana ja Sami Saapunki. Raap- panan aiheena oli A/G-operaatioiden maalit koalition ja Is- raelin ilmaoperaatioissa Libyan ja Gazan sodissa. Saapungin aiheena oli Kriisinhallintaan muodostettujen suorituskyky- jen käytettävyys laajamittaisen maahantulon viranomaisyh- teistoiminnassa.

### Voiko salattu tutkimus olla tieteellistä?

Sotatieteiden maisterikurssin pro gradu -tutkielma on huo- mattavasti laajempi ja vaativampi opinnäytetyö. Sen tavoit- teena on uuden tieteellisen tiedon tuottaminen. Tutkielman tulee sijoittua teoreettiseen viitekehykseen, ja sen metodo- logian tulee olla monipuolisempi ja syvällisempi. Käytettyjä tiedonkeruu- ja analysointimenetelmiä on yleensä useampi kuin yksi. Pro gradu -tutkielman tavoitteet ovat huomatta- vasti kunnianhimoisemmat kuin kandidaatintutkielmassa. Se on luonteeltaan selittävä, kysymyksenasettelussa pyritään problematisointiin ja tutkielman tavoitteena voi parhaim- millaan olla uuden toimintatapamallin tai konseptin luomi- nen. Erityisesti näissä tapauksissa kyse on suoraan taktiikkaa tai taistelutekniikkaa kehittävän uuden asian kehittämisestä.

Sotatieteiden maisterikurssi 7 valmistui 10. elokuuta 2018. Valmistuneet 119 maisteria olivat opiskelleet kolmessa eri koulutusohjelmassa: upseerien, lentoukseerien tai viran- omaisyhteistyön koulutusohjelmassa. Taktiikan 44 pro gradu -tutkielmasta 28 sijoittui maasotataktiikan, 11 il- masota- ja ilmapuolustuksen taktiikan ja viisi merisota- taktiikan piiriin. Vain kuusi tutkielmaa oli julkisia, ja yksi sisälsi julkisten osien lisäksi salaisen liitteen tai liitteitä. Yhteensä 37 tutkielmaa on pitänyt varustaa kokonaisuus- dessaan ST IV- tai sitä korkeammalla suojaustasomerkin-

nällä, koska tutkimuksen tulokset liittyvät voimakkaasti suorituskykyjen kehittämiseen.

Tarve salata maanpuolustuksen kehittämisen kannalta tär- keät tiedot tekee sotatieteiden maisterikurssin taktiikan pro gradu -tutkielmista tieteellisyys- kriteerien noudat- tamisen suhteen haasteellisen opinnäytetöiden kokonai- suuden. Sama tekijä liittyy operaatiotaidon ja taktiikan alueelta laadittaviin yleisesikuntaupseerikurssien diplomi- töihin. Kandidaatintutkielmathan pyritään lähtökohtaisesti pitämään pääosin julkisina. Vaikka avoimuus tulkitaan tavallisesti käytännöksi, jossa tieteellinen opinnäytetyö asetetaan kenen tahansa luettavaksi printtinä kirjastoon tai sähköisenä esimerkiksi Doria-palveluun, ei tämä ole maan- puolustuksen näkökulmasta aina mahdollista. MPKK:n tutkimuksen tasoa arvioitaessa tulisikin huomioida tällai- nen erityistarve. Kyseessä ei tietenkään ole halu piilottaa laaduttomampia töitä, vaan tapauskohtaisesti ja vahvoin perusteluin tehty päätös opinnäytetyön sisältämän tiedon vuoksi. Suojaustasomerkinän saaneet opinnäytetyöt esi- tellään tutkimuksen tilaajalle, ja työn ohjaajat perehtyvät tutkielmiin sekä arvostelevat ne. Opinnäytetyöt myös tal- letetaan sähköisesti tietojärjestelmään, jossa ne ovat mui- den tutkijoiden hyödynnettävissä. Tämä prosessi tulisi ymmärtää myös julkaisemisena ja avoimuuden harjoitta- misena niin pitkälle vietyä, kuin se julkisuuslain mukai- sen salattavuusvaatimuksen mukaan vain on mahdollista.

SM 7 -kurssin maavoimallisten aiheiden pääosa liittyi toi- mintamenetelmien kehittämiseen nopeassa tilannekehityk- sessä, tulenkäytön kehittämiseen tai nousevien teknologioiden hyödyntämiseen taktiikan kehittämisessä. Nekin aiheet, jotka liittyivät Maavoimien taistelu 2015:n yksikkötyyppei- hin, kohdistuvat esimerkiksi sellaisiin uhkatekijöihin, jot- ka oli johdettu viimeaikaisissa sodissa todetuista ilmiöistä. Muutos maavoimien taistelun tutkimiseen nopeassa tilan- nekehityksessä on ollut selvä.

Sekä ilma- että meripuolustuksen tutkimuksen kohteet liittyivät suorituskykyjen käyttämisen ja kehittämisen ajan- kohtaisiin osa-alueisiin. Molemmat puolustushaarat olivat aiheissaan huomioineet ajankohtaiset uhkaan liittyvät muu- tostekijät.

Taktiikan tutkielman laatijoista korkeimman arvosanan, laudaturin, saavutti Lauri Nieminen. Arvosanan eximia cum laude approbatur saavutti kuusi opiskelijaa: Mikael Aarnio, Jere Kannel, Veli-Matti Matikainen, Viki Morkkila, Otto Saarenvirta ja Pasi Tuomela. Kaikki edellä mainitut kuuluivat suojaustasomerkinän saaneiden tutkielmien ryhmään. Tutkielmat liittyivät suoraan oman puolustushaaran taktii- kan kehittämiseen.





Kuva 3. Viimeisin operaatiotaidon väitös, majuri Jan Hanskan Times of War and War over Time, julkaistiin 21. huhtikuuta 2017. (Kuva: Santeri Rahikka / Maanpuolustuskorkeakoulu)

Kun tutkimusrekisterin roll-out tapahtuu, sen soisi muodostuvan Puolustusvoimien palkatun henkilöstön työssään tarvitseman tuoreimman ammattitiedon peruslähteeksi. Tähän päivään mennessä valmistuneiden opinnäytetöiden syöttäminen rekisteriin on valtava työ ja kestää pitkään. Sitä ei kannata jäädä odottelemaan, vaan MPKK:n kirjaston kokoelmiin on syytä jatkossakin käydä tutustumassa. On kuitenkin muistettava, että tutkimusrekisteri tuo apua vain julkisiin ja ST IV -tutkimuksiin perehtymiseen. Korkeamman suojaustason opinnäytetyöt, joita operaatiotaidon ja taktiikan tutkimukset usein ovat, ovat edelleenkin tutkijoiden sekä operaattikkojen käyttöön saatavissa vain MPKK:n kirjaamon kautta ja käyttöoikeuslupa-anomuksen tultua hyväksytyksi.

**Kirjoittaja:**

Everstiluutnantti Janne Mäkitalo toimii operaatiotaidon ja taktiikan sotilasprofessorina (suomalainen sotataito) Maanpuolustuskorkeakoulun sotataidon laitoksen tutkimusryhmässä.





**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 Lakkala

**MATINE**

Puolustusministeriö  
Eteläinen Makasiinikatu 8  
PL 31  
00131 Helsinki

**Maasotakoulu  
Maavoimien tutkimuskeskus**

Kadettikoulunkatu 7  
PL 54  
49401 Hamina

**Merisotakoulu  
Meritaistelukeskus**

Suomenlinna  
PL 5  
00191 Helsinki

**Ilmavoimien esikunta**

Komentotie 250  
PL 30  
41161 Tikkakoski

**Puolustusvoimien logistiikkalaitos**

Hatanpään valtatie 30  
PL 69  
33100 Tampere

**Maanpuolustuskorkeakoulu**

Santahamina  
PL 7  
00861 Helsinki



## **Puolustusvoimat**

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