



Puolustusvoimat

# Puolustustutkimuksen **VUOSIKIRJA 2021**



# PUOLUSTUSTUTKIMUKSEN VUOSIKIRJA 2021

**PÄÄTOIMITTAJA** Jouni Koivisto

**TOIMITTAJA** Merja Nousiainen



PUOLUSTUSVOIMAT  
RIIHIMÄKI 2021

**TOIMITUSKUNTA:**

Jouni Koivisto  
Timo Ristimäki  
Mika Huttunen  
Juhani Hämäläinen  
Eeva-Maija Turpeinen  
Timo Kaurila  
Kirsi Valkeapää  
Merja Nousiainen  
Sirpa Korpela  
Stefan Oino  
Sami O. Järvinen

**TAITTO, KANSI JA KUVANKÄSITTELY:**

Valtteri Vanhatalo

**KANNEN KUVAT:**

Joona Repo  
Valtteri Vanhatalo  
Miika Moilanen  
Ville Tuokko  
Nuutti Valtonen  
Venni Tamminen  
Pixabay / rotonara

ISBN 978-951-25-3171-4 (painettu)  
ISBN 978-951-25-3172-1 (verkkojulkaisu)  
ISSN 2489-7329 (painettu)  
ISSN 2490-1601 (verkkojulkaisu)

Puolustusvoimat

PunaMusta  
Tampere 2021

# Suunnittelupäällikön tervehdys

Puolustusvoimien tutkimus- ja kehittämistoiminnan olemassaolon oikeutus on kyky vastata vaikuttavasti puolustuksen tieto- ja osaamistarpeisiin. T&K-toiminta tuottaa jatkuvasti asiantuntijapalveluita sekä tietoperustaa päätöksenteolle puolustuksen kehittämiseksi. T&K-toiminnan haaste on pysyvä. Tutkimuskysymysten ja -vastausten on vastattava asiakkaan todellisiin tarpeisiin, ja tutkimustulosten on saavutettava asiakas oikea-aikaisesti.

Teknologian kehitys on yksi merkittävimmistä sodan ja taistelujen kuvaan vaikuttavista tekijöistä. Puolustusvoimien tutkimustoiminnan haaste onkin vastata muutokseen vaikuttavasti ja oikeaan aikaan. Pienellä maalla ei ole mahdollisuutta olla edelläkävijä kaikilla alueilla. Tutkimuksen suuntaamisessa on tehtävä strategisia valintoja. Kansallinen ja kansainvälinen yhteistyö voi moninkertaistaa tutkimuksen tuottavuuden, kun kumppanit ja yhteistyöteemat on pohdittu ja valittu tarpeidemme mukaan. Uudet toimintaympäristöt (kyber, avaruus, informaatio) ovat tästä hyviä esimerkkejä.

Yhdysvaltojen puolustustutkimusviraston DARPA:n entinen johtaja George H. Heilmeier kiteytti sarjan kysymyksiä uusien tutkimusten ideoimista varten. Kysymyssarja tunnetaan Heilmeierin Katekismuksena. Neljä yhdeksästä kysymyksestä koskee kustannuksia, aikataulua, riskiarviota sekä raportointia. Muut viisi kysymystä ovat visaisempia.

Vastausten on oltava selkeitä: Tutkimuksen tavoitteet on määritettävä kirkkaasti. Miten asia nykyisin tehdään, ja mitä rajoitteita ratkaisuissa on? Miten tutkimuksen ehdottama lähestymistapa eroaa nykyisestä, ja miksi se onnistuisi? Kenelle asialla on väliä? Jos tutkimus onnistuu, mikä muuttuu?

Täsmällisen tutkimuskysymyksen määrittäminen on ehkäpä tärkein osa itse tutkimuksen tekemistä. Parhaiten se onnistuu, kun asiakas ja tutkijat ovat aktiivisessa yhteistyössä heti alkumetreiltä.

COVID-19-viruksen vastainen kamppailu on hyvä esimerkki siitä, miten tutkimuksen on oltava relevanttia ja ketterää. Tästäkin vuosikirjassa asialle on omistettu osa kokonaisuudesta.

Tutkimustulosten jalkauttamista asiakkaan käyttöön on systemaattisesti kehitetty viime vuosina. Organisaatorajat ylittävä tiedonvaihto varmistetaan mm. säännöllisillä tutkimusseminaareilla. Laaja-alaista viestintää puolestaan edustavat neljännesvuosittain ilmestyvät tutkimuskatsaukset ja tämäkin vuosikirja.

Kuluneena vuonna tutkimukseen liittyvä viestintä saavutti merkittävän etapin, kun käyttöön otettiin Puolustusvoimien tutkimusrekisteri. Tutkimustulokset saadaan tarvitsijoiden ulottuville. Tutkimusrekisteristä tiedon etsijä löytää asianan perusteella asiaan liittyvät raportit, tiedon turvallisuusluokitus luonnollisesti huomioiden. Tutkimusrekisteriä on jo käytetty ahkerasti, ja ajan myötä yhä useammat toivotavasti omaksuvat sen päivittäiseksi työkaluksi intranetissä.



## Kirjoittaja:

Prikaatikenraali Janne Jaakkola toimii Puolustusvoimien suunnittelupäällikkönä.

# Päätoimittajalta

Tervetuloa tutustumaan laatuun seitsemänten Puolustus-tutkimuksen vuosikirjaan 2021. Vuosikirja sisältää tälläkin kertaa kaikkien Puolustusvoimissa puolustustutkimusta tekevien organisaatioiden helppolukuisia katsauksia tutkimus- ja kehittämistoimintaan. Vuosikirjaan on pyritty kokoamaan sekä puolustustutkimuksen että laajemman lukijakunnan näkökulmasta ajankohtaisia aiheita. Aiheen voi tehdä ajankohtaiseksi esimerkiksi siihen liittyvän tutkimuksen valmistuminen, uuden osaamisalueen tunnistaminen tai kehittäminen sekä myös aiheen liittyntä yhteiskunnalliseen tai kansainväliseen keskusteluun.

Vuoden 2020 uutisointia ja keskustelua leimasi voimakkaasti COVID-19-pandemia, joka kosketti jollakin tavalla jokaista suomalaista. Vaikka aiheeseen liittyvää uutisointia on ollutkin jo paljon, päädyttiin pandemia ottamaan tämän vuosikirjan teemaksi ja noin kolmasosa artikkeleista liittyy siihen. Uskon kuitenkin, että kuvaukset tutkimusorganisaatioiden osallistumisesta pandemian hallintaan tai havainnot sen vaikutuksista toimintaan tarjoavat kenties yllättävääkin tietoa Puolustusvoimien kyvystä hyödyntää laaja-alaista osaamistaan ja suunnata toimintaansa poikkeavien tarpeiden mukaan.

Merkittävinä pandemian aiheuttamaa haittaa tutkimustoiminnassa koettiin matkustus- ja kokoontumisrajoitusten vuoksi. Hyvin nopeasti opittiin kuitenkin entistä enemmän hyödyntämään virtuaalisia kokoontumisia erilaisilla videoneuvottelusovelluksilla tai -järjestelmillä. Myös kansainvälistä yhteistyötä, kuten erilaisia työryhmäkokouksia ja seminaareja, on toteutettu onnistuneesti teknologiaa hyödyntäen. Toivottavaa on, että näistä kokemuksista saatuja oppeja hyödynnetään työkalujen ja järjestelmien kehittämisessä ja tilaisuuksien järjestämisessä siten, että alati kasvaviin

puolustustutkimuksen haasteisiin ja laajenevien yhteistyöverkostojen hyödyntämiseen löydetään resurssitehokkaita työkaluja ja toimintamalleja.

Pandemiasta huolimatta Puolustusvoimat kykeni huolehti- maan myös puolustustutkimuksen tehtävistään ja tässäkin vuosikirjassa on mahdollisuus esitellä sen tuloksia tuttuun tapaan. Lopuksi haluan nostaa esiin useista artikkeleista heijastuvan faktan: Riittävästi resursoidulla ja oikein kohdennetulla tutkimustoiminnalla synnytetään ja ylläpidetään tärkeitä perusosaamisia, joita voidaan innovaatioiden kautta hyödyntää vielä tuntemattomien ongelmien ratkaisuun. Tutkimus on osaamisen ja siten kaiken toiminnan perusta.

**Toivotan antoisia lukuhetkiä!**



**Kirjoittaja:**

Päätoimittaja  
Insinöörieverstiluutnantti Jouni Koivisto

# Sisällys

Suunnittelupäällikön tervehdys	3
Päätoimittajalta	4
<b>Puolustusvoimien tutkimuslaitos</b>	
Tutkaherättemittaukset ja instrumenttitutkan päivitys	8
Harjoitusten MEL/MIL-toiminta	10
Kybertaktiikasta: taistelun elementit ja yleiset taktiset periaatteet kybertilassa	13
Informaatiosodankäynnin kehityksestä ja haasteista	18
Kvanttikestävien PQC-algoritmien kehittäminen ja standardointi	22
COVID-19-mallinnus	26
Hengityksensuojainten puhdistusjärjestelmä – Ketterä kehittäminen ja projektitoiminta monialaisessa asiantuntijaverkostossa	29
Hengityksensuojainten dekontaminaatio (HEDE) Puolustusvoimissa	35
Hengityksensuojainten laadunvarmistus	41
Koronapandemia muutti työnteon rutiineja	43
Soveltuvuudenarvioinnit COVID-19:n aikaan	46
<b>Puolustusvoimien logistiikkalaitos</b>	
Materiaalien ja rakenteiden kokeellinen tarkastelu DIC-menetelmällä	50
Maailmanlaajuinen terveysturvallisuusohjelma ja varautuminen biologisiin uhkiin	53
<b>Maasotakoulu, Maavoimien tutkimuskeskus</b>	
Arjen välineet johtamisen tukena	58
<b>Merisotakoulu, Meritaistelukeskus</b>	
Merenpohjan sedimenttien laadun arviointi	66
<b>Satakunnan lennosto, Ilmataistelukeskus</b>	
HX-hankkeen sotilaallisen suorituskyvyn arviointi	72
<b>Maanpuolustuskorkeakoulu</b>	
Kuinka väkivallan ja terrorin mediaesitysten tarkastelu on (maan)puolustustutkimusta?	78
Kansankielistä turvallisuutta: Naisten vapaaehtoista valmius- ja turvallisuuskoulutusta tarkastelemassa	82
Koulutustaidon tutkimushanke hyvän kouluttajan ominaisuuksista	86





**Puolustusvoimien tutkimuslaitos**



# Tutkaherätemittaukset ja instrumenttitutkan päivitys



Kuva 1. Vasemmalla TUTRAn mittauskuntoon saattamista merivoimien mittauksissa keväällä 2018 ja oikealla Leopard 2A4 häiveteknisissä mittauksissa PVTUTKL:n kääntöpöydällä syksyllä 2009. (Kuvat: Onni Järvi ja Tiia Mattila)

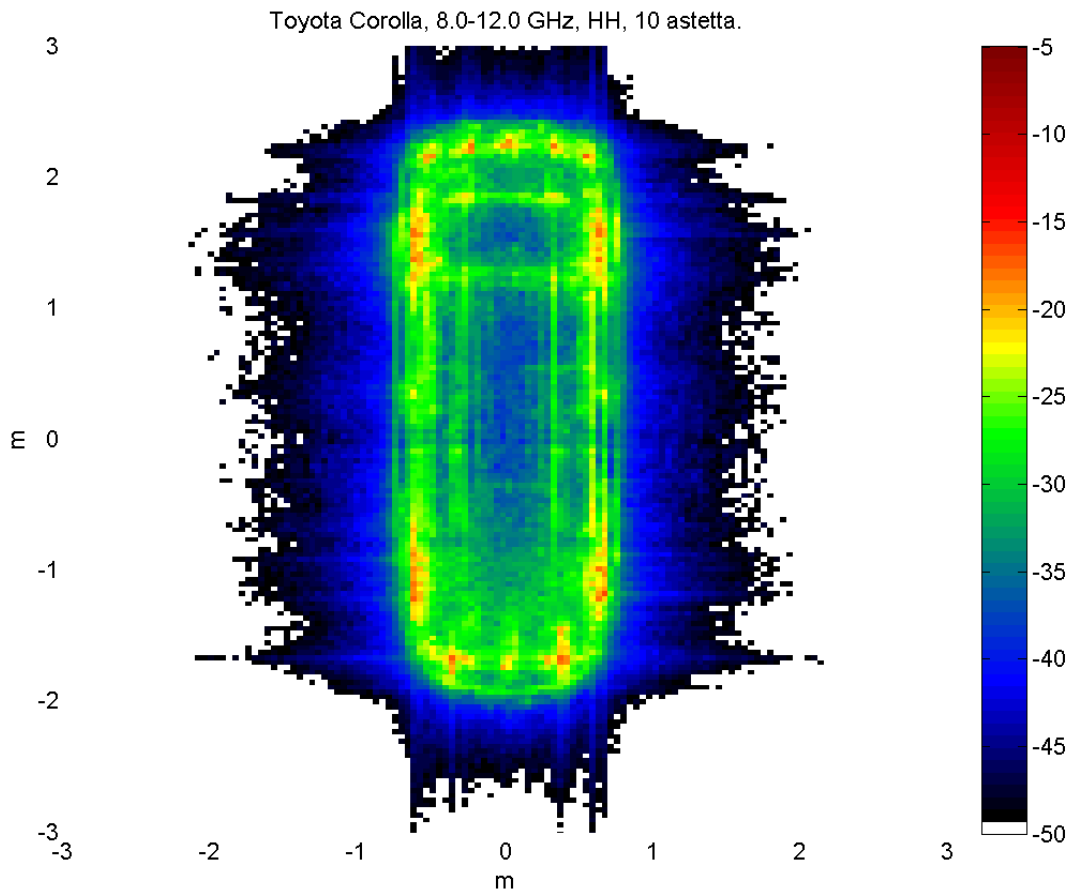
Yksi tärkeimmistä tiedustelusensoreista 2020-luvulla on synteettisen apertuurin tutka eli SAR-tutka (Synthetic Aperture Radar). Tämä johtuu sen käytön riippumattomuudesta säästä ja vuoden- tai vuorokaudenajasta sekä pitkästä tiedusteluetaisytydestä. Tutkissa käytettävä elektroniikka halpenee koko ajan, ja se menee yhä pienempään kokoon, mikä on mahdollistanut tarkempien SAR-tutkien asentamisen esimerkiksi minisatelliitteihin tai lennokkeihin. Näitä on lähes joka maalla varaa kehittää ja hankkia.

## Tutkaherätteiden mittaukset

Suomen maantieteellisen sijainnin vuoksi meillä on pilvistä noin 70 prosenttia ajasta, jolloin kaukotiedustelu muilla sensoreilla, esimerkiksi näkyvän valon alueella, pääosin estyy. Täten SAR-tutka on todennäköinen tiedustelusensori kalustoamme vastaan. Tämän takia oman kaluston tutkaherätteet täytyy tuntea, jotta se saadaan suojaan tutkatiedustelulta. Puolustusvoimien tutkimuslaitos (PVTUTKL) mittaa tutkaherätteitä instrumenttitutkalla, TUTRAlla. Tämä taajuusaskeltava pulssitutka muodostaa kohteesta etäisyysuunnassa tarkan kuvan pitkän taajuuspyyhkäisyn avulla, ja sivusuuntainen tarkkuus saadaan puolestaan joko kohteen tai tutkan tasaisen hitaan liikkeen avulla. PVTUTKL mittaa tutkaherätteitä pääasiassa Lakialan raskaalla kallistettavalla kääntöpöydällä. Kääntöpöydällä saadaan tehtyä laadukkaita ISAR-kuvia (Inverse Synthetic Aperture Radar) sen tasai-

sen hitaan liikkeen ansiosta. Näistä kuvista on helppo paikantaa kohteen isoimmat herätelähteet. Lisäksi kääntöpöydän kallistettavuuden ansiosta päästään mittaamaan todellisilta uhkakorkeuskulmilla (tutkaheräte vaihtelee voimakkaasti sivu- ja korkeuskulman muuttuessa). TUTRA voidaan tarvittaessa siirtää kuorma-autolla esimerkiksi meren rantaan laivamittauksia varten tai lentokentän laitaan lentokonemittauksia varten (kuva 1).

TUTRAlla voidaan mitata taajuusalueella 0,1–40 GHz, joka kattaa lähes kaikki tämän päivän ja lähitulevaisuuden uhkantaajuusalueet. TUTRA hankittiin vuonna 2005 Yhdysvalloista ja vuonna 2019 valmistuneessa elinkaaripäivityksessä siihen asennettiin uusi ohjausyksikkö, vastaanottimet, pulssinsisäinen modulaattori, antennikääntöpää ja Matlab-käyttöliittymä. Päivityksessä vastaanotettavan signaalin näytteistysnopeus moninkertaistui, mittaustapahtumat nopeutuivat ja tutka saatiin täysin Matlab-ohjelmiston piiriin. Vapaasti muodostettavat lähetettävän pulssin vaihekoodaus ja pulssin sisäinen modulaatio ovat askel kohti tulevaisuuden kohinatutkaa, jonka lähetyspulssin täysin satunnainen pitkä kohinakoodi on tiedustelun kannalta vaikeasti havaittavissa ja paikannettavissa. TUTRassa on myös kaksi ulkoista lisävastaanotinta, jotka mahdollistavat monipaikkatutkamittaukset, joissa lähetin on eri paikassa kuin vastaanottimet. Tämänlaisissa tutkajärjestelmissä vastaanotin on täysin passiivinen ja turvassa esimerkiksi tutkasäteilyyn hakeutuvilta ohjuksilta.



Kuva 2. 360 sivukulma-asteen ISAR-kuva Toyota Corollasta taajuusalueella 8–12 GHz vaakapolarisaatiolla. Ajoneuvon keula osoittaa alaspäin. Kuvassa korostuvat laajalle kulmalle heijastavat sirottajat, kuten renkaat ja vetokoukku. (Kuva: Vesa-Jukka Salminen)

## Mitattavat kohteet

TUTRalla mitattavien kohteiden koko vaihtelee paljon. Pienimmillään ne ovat olleet kymmenen senttimetriä pitkiä materiaalinäytteitä ja isoimmillaan lähes sata metriä pitkiä laivoja. Materiaalinäytteistä mitataan yleensä niiden vaimennus ja heijastavuus. Hyvän tutkavaimennusmateriaalin pitää vaimentaa mahdollisimman paljon siihen kohdistuvaa tutkasäteilyä, mutta se ei saa silti heijastaa sitä liikaa takaisin uhkasuuntaan. Mittausdatan jälkianalyysissa isoista kohteista määritetään tutkapoikkipinta-ala pistetaajuudella ja taajuuspyyhkäisyssä muodostuneesta tarkasta etäisyyskuvasta tai ISAR-kuvasta määritetään kohteen isoimmat sirottajat (kuva 2). Nämä herätelähteet ja niiden etäisyydet toisistaan ovat kohteen tunnistuspiirteitä, joita tiedustelun

automaattiset kohteiden tunnistusalgoritmit etsivät. Tunnistuspiirteitä voidaan poistaa tai muokata esimerkiksi kohteen muotoilua muuttamalla, asentamalla pintaan vaimennusmateriaalia tai naamioimalla kohde naamioverkolla tai järjestelmällä. Häivetekniikka kannattaa hankinnoissa ottaa huomioon jo hankittavan materiaalin suunnitteluvaiheessa, koska tällöin asiaan pystyy vaikuttamaan eniten. Esimerkiksi tarkoista mekaniikkamalleista pystyy laskentaohjelmistolla simuloimaan kohteen alustavan tutkapoikkipinta-alan. Yksi paljon käytetty laskentaohjelmisto on Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:n kehittämä CAST. Häiveteknisissä mittauksissa saatuja tutkakerätietoja sekä muiden sähkömagneettisen spektrin aallonpituusalueiden mittaustuloksia hyödynnetään operaatioanalyysissa ja suojan kokonaisuuden tutkimuksissa ja arvioinneissa.

### Kirjoittaja:

Diplomi-insinööri Vesa-Jukka Salminen toimii tutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen asetekniikkaosastossa häivetekniikan tutkimusalalla.

# Harjoitusten MEL/MIL-toiminta

**Puolustusvoimien tutkimuslaitos on tukenut Puolustusvoimien yhteisten harjoitusten suunnittelua ja johtamista kuluneet viisi vuotta. Erityinen painopiste on ollut esikuntaharjoitusten suunnittelun ja johtamisen tukemisessa (CPX, Command Post Exercise). Tutkimuslaitoksella tätä toimintaa on koordinoitunut ja johtanut Puolustusvoimien yhteisten harjoitusten johto-osa (PVHARJO) vuoden 2020 alusta alkaen.**

## Avainsanana realismisuus

Joukkojen taktisissa harjoituksissa painottuu kaksipuoleinen taistelu, jossa osapuolet yrittävät kukistaa toisensa taisteluliikkeillä. Joukkojen harjoituksista käytetään länsimaissa nimikettä LIVEX (Live Exercise). Näissä harjoituksissa johtajat johtavat sen perusteella, mitä todellisessa maailmassa näkevät ja mitä dataa todelliset sensorit tuottavat. LIVEX-tyyppisissä harjoituksissa käytetään laajasti aseiden ja asejärjestelmien simulaattoreita. Näiden harjoitusten todentuntuisuutta voidaan tukea esikuntien harjoittelussa käytettävillä konstruktivisilla simulaattoreilla.

Esikuntaharjoitukset ovat johtamisharjoituksia, joissa koulutettavat (Training Audience, TA) toimivat harjoituksen johtokeskuksen (EXCEN, Exercise Control Centre) laatiemien viestien, asiakirjojen, mediatuotteiden ja simuloitujen sensorihavaintojen perusteella. Esikuntaharjoituksiin ei yleensä liitetä joukkojen harjoituksia. Niiden suunnittelu ja niiden rakentaminen ovat työläs ja varsin pitkä prosessi. Käytännössä kaikki se informaatio, jota esikunta ja sen johtajat tarvitsevat päätöksenteon tueksi, tulee rakentaa harjoituskohtaisesti yksityiskohtia myöten. Avainsanana on realismisuus, eli esikunnalle valmistetaan sellaisia tuotteita ja sellaisilta toimijoilta, joita se tarvitsee toimintaansa.

LIVEX-harjoittelu on tehokkainta pataljoonatasolla ja siitä alaspäin. Prikaatin esikunta vaatii esikuntaharjoittelun ke-

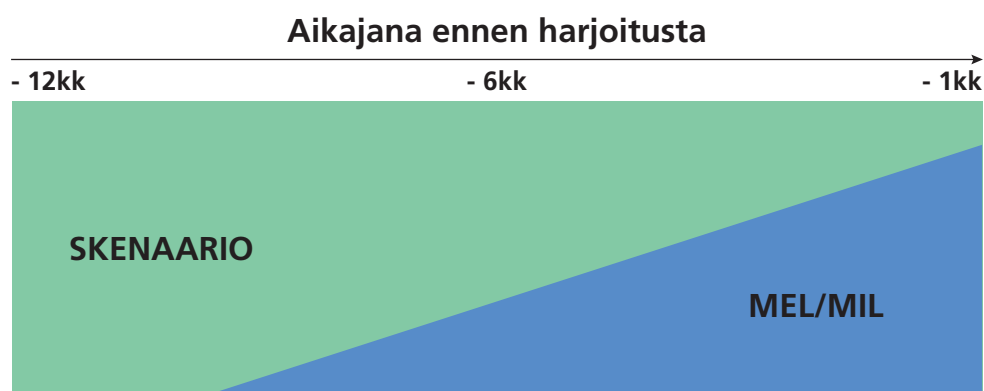
hyksen ympärilleen, joskaan tällä tasolla ei tarvita kovinkaan laajaa yleiskehystä harjoituksen toteuttamiseksi. Puolustusvoimien yhteiset harjoitukset edustavat esikuntaharjoittelun toista äärilaitaa. Ne ovat strategista ja operatiivista (sodankäynnin) tasoa harjoitettavia esikuntaharjoituksia, joissa harjoituksiin rakennetaan poliittinen, sotilaallinen, taloudellinen ja yhteiskunnallinen sekä infrastruktuuriin kytkeytyvät skenaario ja realistiset yhteydet yhteiskuntaan sekä kansainvälisiin toimijoihin.

## Mitä on MEL/MIL-toiminta?

Esikuntaharjoitusten sisältöjen valmistus alkaa skenaariotoiminnan tuotteiden valmistamisella. Skenaariotoiminnan tuotteet valmistetaan harjoituksen sodankäynnin tasoa vastaavan tason mukaisesti. Skenaariotuotteita ovat harjoituksen yleinen ja yksityiskohtainen tilannekehitys ja tilanne harjoituksen aloitushetkellä sisältäen tiedustelutiedot, maalitiedot sekä maantieteellisen ja muun olosuhteisiin liittyvän informaation. Harjoitusten skenaariotoiminta on tärkeä osa harjoitusta, mutta se on vasta harjoituksen kehyskertomus. Skenaariotoiminnan lisäksi esikuntaharjoituksiin tarvitaan MEL/MIL-rakenne (Main Event List/ Main Incident List). Naton Norjaan sijoitettu Joint Warfare Centre (JWC), joka vastaa strategis-operatiivisten harjoitusten suunnittelusta ja johtamisesta, määrittelee tämän käsitteeksi muodostuneen MEL/MIL-toiminnan ympärilyöreästi seuraavasti:

*“MEL/MIL develops and delivers the content to the Training Audience, creating an environment in which the Training Audience can achieve its Training Objectives”.*

MEL/MIL-rakenne ilmaisee harjoituksen varsinaisen sisällön. Siihen liittyvät tuotteet osoittavat, mitä, koska ja kenen kanssa koulutettava organisaatio harjoittelee. Päätapahtuma (Main Event) on kuin monografian pääluku. Harjoittelussa keskitytään laajoihin teemoihin, ja päätapahtumia voisi olla



Kuva 1. Skenaario ja MEL/MIL-toiminnan painopisteet harjoitusten eri suunnitteluvaiheissa.

esimerkiksi strateginen ja operatiivinen johtaminen. Tapahtuma (Main Incident) puolestaan on kuin monografin alaluku. Siitä käytetään Natossa myös nimikettä ”Storyline”.

Tapahtuma on laaja harjoitettava kokonaisuus. Tapahtuma liitetään harjoituksen skenaarioon eli harjoituksen kehyskerrokseen, jolloin harjoitettava esikunta harjoittelee kuin huomaamatta sitä, mitä heidän pitikin harjoitella (Exercise and Training Objectives). Jokainen koulutettava organisaatio (TA) asettaa oman MEL/MIL-suunnittelijan harjoituksen johtokeskukseen yli puoli vuotta ennen harjoituksen toteuttamisajankohtaa. Nämä suunnittelijat rakentavat harjoituksen MEL/MIL-johdon ja muiden suunnittelijoiden kanssa harjoituksen sisällöllisen rakenteen kolmen (tai neljän) suunnittelutilaisuuden aikana. Näiden välissä on myös tehtävä paljon sisällöllistä koordinaatiota. Puolustusvoimien yhteisissä harjoituksissa Puolustusvoimat suunnittelevat ja operoivat sen mukaisesti, mitä harjoituksen MEL/MIL-suunnittelutilaisuuksissa on päätetty, eli Puolustusvoimat ei tee sellaista, mitä ei ole suunniteltu MEL/MIL-rakenteessa.

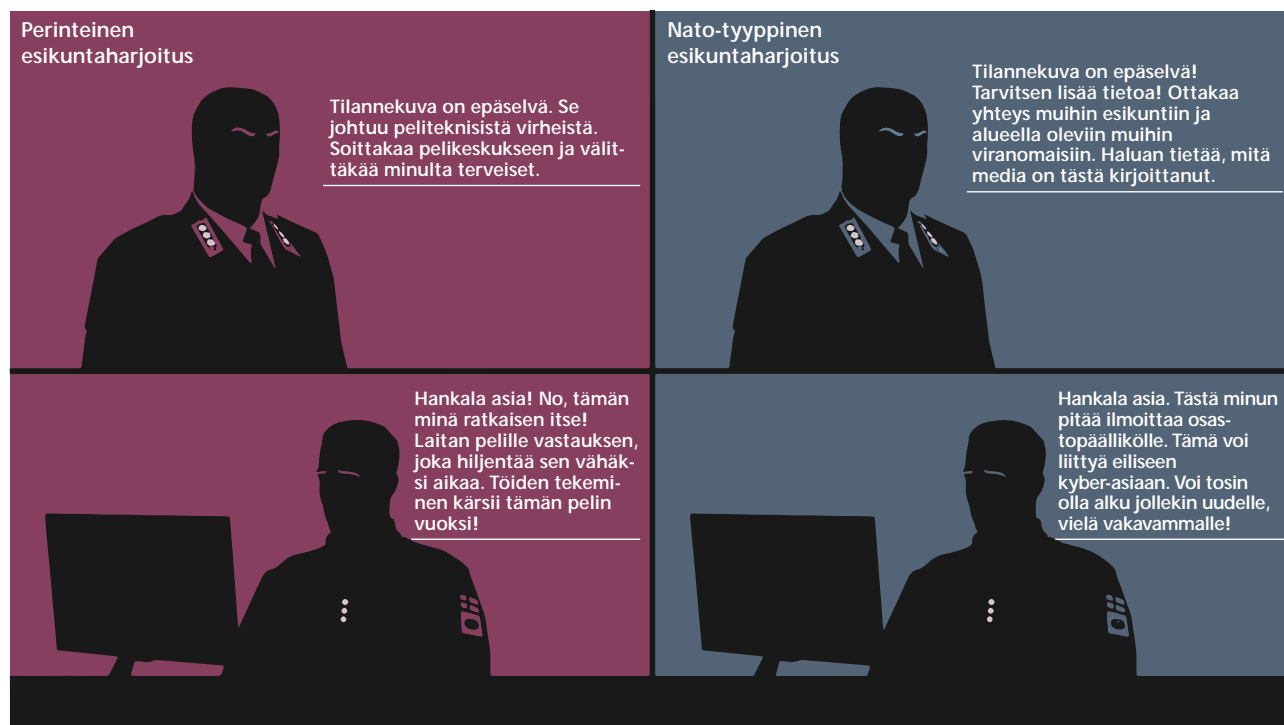
Kuva 1 selittää skenaario- sekä MEL/MIL-toiminnan välistä painotusta harjoituksen suunnitteluprosessin kuluessa. Harjoituksen skenaariotuotteet ovat aluksi poliittisen ja strategisen tason tuotteita ja lopulta taktisiin yksityiskohtiin paneutuvien tuotteiden laatimista. MEL/MIL-toiminta käynnistyy, kun harjoituksen yleiset tavoitteet sekä skenaarion ylätasoinen raamiin lukitaan paikoilleen.

MEL/MIL-tuotteet ovat aluksi ylätasoisia pää- ja osapäätapahtumatasoisia tuotteita (MEL), seuraavaksi tapahtuman laadinnan tuotteita (MIL) ja lopulta koulutettavalle esikunnalle lähetettävien syötteiden laadintaa (eli viestejä, sanomia ja muita tuotteita).

MEL/MIL-rakenne ilmaisee siis sen, miten koulutettava organisaatio saavuttaa harjoitukselle asetettavat tavoitteet. Tältä osin MEL/MIL-toiminta tekee harjoituksista strukturoituja. Esikuntaharjoitusten strukturoitu rakenne mahdollistaa minkä tahansa tilanteen kehityksen harjoittelun. Esikuntaharjoitukseen osallistuvat esikunnat voivat onnistua tai epäonnistua toimissaan, mutta ne eivät siis pääty, etenkin harjoituksen aikana, MEL/MIL-sisältöjään eli sitä, mitä ne harjoittelevat.

### Esikuntaharjoitus ilman MEL/MIL-toimintaa?

MEL/MIL-rakenne on suunnittelun menetelmä. MEL/MIL-toiminnan avulla organisaatio harjoittelee tarkasti sitä, mitä sen on määrä harjoitella, valittujen skenaarioasetelmien raameissa. Harjoitusten avulla saadaan todenmukaista tietoa organisaation osaamisesta ja osaamisen vajeista tietynlaisessa tilanteen kehityksessä. MEL/MIL-rakenne tukee harjoitusten analysointia, uusien konseptien ja käyttöperiaatteiden kerrästämistä sekä olemassa olevien prosessien toimivuuden tarkastuksen. Nato-mallin mukaisesti rakennettu harjoitus kehittää puolustusjärjestelmää ja lisää Puolustusvoimien henkilöstön sotataidollista osaamista.



Kuva 2. Perinteinen ja Nato-tyyppinen esikuntaharjoitus. (Grafiikka: Teemu Koskue)

Kuva 2 kertoo oivallisesti, miten eri lailla valmistellut harjoitukset näyttäytyvät harjoituksessa koulutettaville. Perinteisellä tavalla rakennettu esikuntaharjoitus (LIVEX-tyyppi) tuottaa väistämättä harjoitustilannekuvaan epäjohtonmukaisuutta, koska harjoituksen tilannekuvauksia ei ehditä tai pystytä synkronoimaan. Tätä epäloogisuutta on totuttu kutsumaan ”pelitekniseksi ongelmaksi”. Varjopuolena näissä perinteisissä harjoituksissa on ollut se, että johtajat keskittyvät seuraamaan ”peliä” ja lopulta myös kiinnittävät huomiota lukemattomiin epäloogisuuksiin tilannekuvassa eivätkä keskity omaan rooliinsa johtajana.

Nato-tyyppisesti rakennettu harjoitus (synkronoitu skenaario ja MEL/MIL-rakenne) näyttää loogiselta, ja yksittäiset tilannekuvaukset näyttävät toisiaan tukevilta ja kannustavat johtajia johtamaan. Harjoitukset tuntuvat realistisilta, ja tämä edesauttaa johtajien eläytymistä kohtaamiinsa on-

gelmiin ja haasteisiin. MEL/MIL-toiminta mahdollistaa sen, että kaikki informaatio, jota harjoituksen johtokeskus syöttää koulutettavalle organisaatiolle, on laadittu vain siksi, että se palvelee harjoituksen tavoitteiden täyttymistä. Strategis-operatiivisten harjoitusten toteuttaminen ilman MEL/MIL-rakennetta on resurssien haaskaamista ja myös organisaation toimivuuden ja tehokkuuden kannalta vaarallista: organisaatiot ajautuvat toteuttamaan harjoitustoiminnan aikana prosessejaan sellaisella tavalla, joka ei lainkaan tue operoivan organisaation toimintaa, ja silloin organisaatiot oppivat toimimaan tietyissä tilanteen kehityksissä suoranaisen väärin.

Puolustusvoimien yhteisen harjoitustoiminnan menestyksellään toteuttaminen vaatii paljon resursseja. Se on toisaalta ainoa keino harjoitella ja myös kehittää ja testata strategista ja operatiivista toimintaa sekä näiden yhteensovittamista.



**Kirjoittaja:**

Everstiluutnantti, valtiotieteiden tohtori Juha Mälkki toimii tutkimusalaohjohtajana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen doktriiniosastossa.

# Kybertaktiikasta: taistelun elementit ja yleiset taktiset periaatteet kybertilassa

Yleisten taktisten periaatteiden ja taistelun elementtien sovellettavuus kybertoimintaympäristössä on hyvin monitulkintainen sekä monimutkainen kysymys ja jättää tämän vuoksi sijaa useille eri lähestymistavoille. Voidaanko periaatteiden ja elementtien tarkoitettomia käsitteitä ylipäättään hyödyntää kybertilassa, ja jos voidaan, niin miten? Onko jo olemassa melkein vastaavia periaatteita mutta vain eri nimillä, tai ovatko fyysisten elementtien analogiat virtuaalissa tilassa jotain yllättävää? Tekstissä käsitellään taktisten periaatteiden (esim. joukkojen keskittäminen ja yllätys) muuttumista eri kybertilan teknologian ominaisuuksien suhteen sekä taistelun elementtien (tuli, liike, suoja) analogioita kybertilassa. Väitämme esimerkiksi, että kybersodankäynnin asymmetria ei johdu kybertilan luonteesta sinänsä vaan sen käytöstä. Lyhennelmä pohjautuu kirjoittajien kahteen aiheetta käsittelevään julkaisuun ECCWS 2020 -konferenssissa.

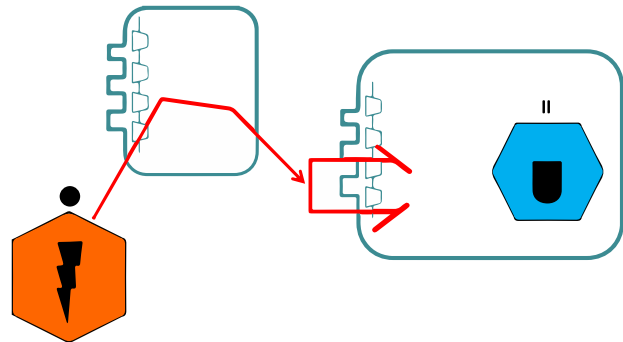
## Yleiset taktiset periaatteet ja teknologiset ominaisuudet

Kybertoimintaympäristö sodankäynnissä eroaa perustavanlaatuisesti perinteisistä sodankäynnin toimintaympäristöistä, koska persoonatasolle asti se on kokonaan ihmisen tekemä ja merkittävin osa toiminnasta tapahtuu sen loogisessa kerroksessa (myös: ”kybertila”). Yleiset taktiset periaatteet, kuten yllätys, taisteluliike (manööveri) ja voimien keskittäminen, on formuloitu aikanaan fyysiseen maailmaan. Tällöin on perusteltua kysyä, ovatko yleiset taktiset periaatteet merkittävästi riippuvaisia sellaisista fyysisen maailman periaatteista, jotka eivät enää kybertilassa päde (kuten vapaa liikkuvuus kahden pisteen välillä ilman sinne rakennettuja ”teitä”).

Taktiikka sotilaskontekstissa liitetään erottamattomasti *taisteluun*. Taistelun määritelmä (”kahden tai useamman osapuolen väkivaltainen vuorovaikutus ajassa ja tilassa”) taas sidotaan perinteisesti väkivaltaan eli henkilötason vahinkoihin ja tappioihin; tämä taas ei loogisella kerroksella (suoraan) toteudu. Jos taistelun määritelmässä sallitaan suurempi vaihteluväli ajan suhteen ja korvataan väkivaltaisuus vihamielisyydellä tai tavoitteen hakuisella vahingonteolla, tämä kuvaa loogisen kerroksen toimia siinä kuin fyysisenkin kerroksen.

Taktisia periaatteita on voitu tunnustaa useita kymmeniä, ja näissä on jonkin verran kansallista vaihtelua. Yleisesti

kansainvälisesti tunnustettuja periaatteita ovat esimerkiksi yllätys, voimien keskittäminen, voimien taloudellinen käyttö, olosuhteiden hyväksikäyttö ja taisteluliike. Näitä ei tule sekoittaa tehtäviin, kuten tulitukeen tai murtamiseen (jolle on itse asiassa jo ehdotettu omia analogioita symboleineen kybertoimintaympäristössäkkin).



Kuva 1. Eräitä kyberoperaatioissa käytettyjä symboleita.

Valitsimme edellä mainitut viisi taktista periaatetta ja tarkaselimme näitä sellaisten kybertilan ominaisuuksien kautta, jotka todennäköisimmin aiheuttaisivat suurimmat muutokset periaatteisiin. Näiksi valikoituivat seuraavat:

- **Energia.** Energian säilymlaki ei sellaisenaan päde loogisella kerroksella, koska fyysisen kerroksen energiareсурssit toimivat strategisen tason resurssina. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, että kaikkia resursseja loogisella kerroksella olisi rajattomasti käytettävän muistin määrä, kaistanleveys ja laskentakyky riippuvat fyysisen kerroksen antamista rajoituksista (levytila, kaapelointi ja laskentaytimien määrä). Energian projisointi ”esteiden murtamiseksi” ei toisaalta ole sellainen, jolle olisi suoraa analogiaa loogisella kerroksella.
- **Etäisyys.** Koska kybertilan etäisyydet riippuvat fyysisen signaalien nopeudesta ja maapallon mittakaavassa mikään yksittäinen linkkiväli ei voi viedä yli sekuntia aikaa, kybertilan etäisyyksiä pidetään merkityksettöminä. Kybertila on kuitenkin monimutkaisempi, ja signaalin on katettava paitsi useampia linkkivälejä (”hyppyjä”) myös useampia (automaattisia) päätöksentekokerroksia, kuten reititustauluja ja pääsynhallintalistoja. Tästä seuraa, että etäisyysmitta on kuin onkin olemassa, mutta sitä ei mitata kilometreissä vaan esimerkiksi

”hyppyinä”. Lisäksi etäisyyttä ei taistelussa ole hyödyllisintä sitoa pelkästään toimintaympäristöön vaan myös toimijoihin (= ”kuinka kaukana minun verkkoni on hyökkääjästä”).

- **Ympäristön muokattavuus.** Kybertilassa kokonaisia osoitevarauksia (so. ”maastoa”) voidaan lakkauttaa tai siirtää napin painalluksella, ilman merkittävää energiankulutusta. Rajoituksia seuraa, mikäli haluttua muutosta ei ole suunniteltu kokonaan etukäteen. (Mitä enemmän muutos on *ad hoc*, sitä vaikeampaa sen tekeminen on). On huomattava, että ympäristön muuttaminen on hyvin asymmetrinen kyvykkyys: se, jolla on muutosoikeudet (esim. oikea salasana, vaikka se olisikin varastettu), voi muutoksen tehdä.
- **Ympäristön epäjatkuvuus.** Koko looginen kerros on rakennettu ”on/off”-logiikalle: aika, yhteydet, yhteyspolut, kontrollilogiikka, jopa koko ympäristön kontrolli, etenevät periaatteessa hyppäyksittäin. Useimmiten hyppäykset ovat pieniä ja kaukaa katsoen vaikuttavat jatkuvilta, mutta perusuonteeltaan kybertila on täynnä epäjatkuvuuksia. Epäjatkuvuudet taas implikoivat vaikeaa havaittavuutta (esim. tiedustelussa). Lisäksi kyberilmiön käynti välillä fyysisellä kerroksella voi tässä kohtaa silloittaa epäjatkuvuuksia, kuten viemällä haittaohjelma USB-muistilla verkkoyhteyden epäjatkuvuuden ylitse.

Yllätystä pidetään yhtenä keskeisimmistä ja hyödyllisimmistä taktisista periaatteista. Yllätys pyrkii hyödyntämään vastustajan heikkoutta tai hidasta varautumista hyökkääjän tai puolustajan suunniteltuun toimintaan. Yllätys voidaan saada aikaan usein keinoin, mukaan lukien harhautus, ajoitus, joukkojen sijoittelu, vaikuttaminen odottamattomalla tavalla ja disruptiivinen teknologia. Yllätyksen hyödyntäminen on taas riippuvainen sekä omista että vastustajan tiedustelukyvykkyyksistä, jotka kybertilassa riippuvat itse ympäristöstä: epäjatkuvuudet ja muokattavuus estävät yhtäläisen näkyvyyden järjestelmiin. Toisaalta, jos puolustaja kykenee minimoimaan mahdolliset hyökkäyspolut, niitä on helpompi monitoroida ja yllätyksen mahdollisuus pienenee.

Kybertilassa järjestelmän senhetkisen kontrolloijan (huom. voi olla myös eri kuin puolustaja tai järjestelmän omistaja) kyky radikaalisti muokata ympäristöä esimerkiksi asettamalla yhtäkkiä tiukempi turvakäytännöille tarjoaa lähtökohtaisesti edun puolustajalle. Puolustajalla on myös lähtökohtaisesti paremmat edellytykset omien järjestelmiensä tilannetietoon sekä mahdollisten hyökkäyspolkujen luettelointiin.

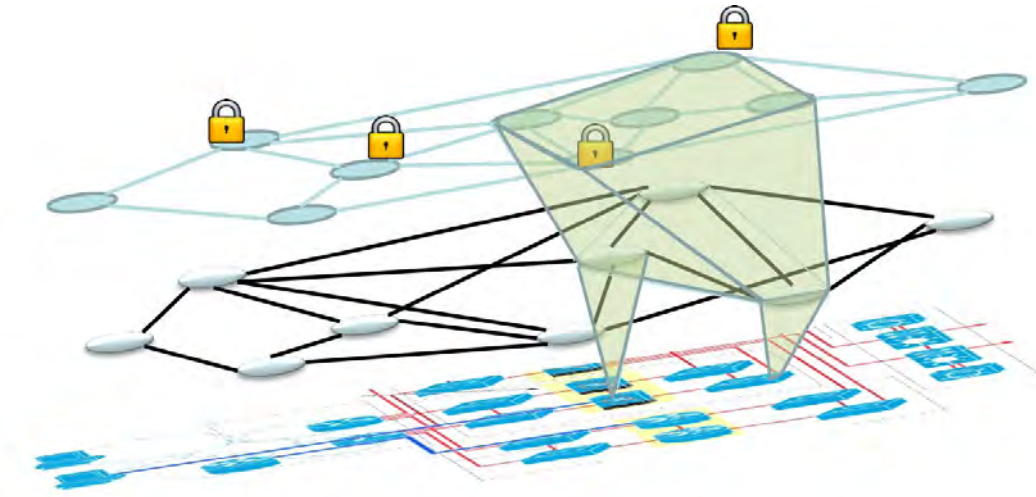
Looginen kerros mahdollistaa vaikutuksen projisoinnin yhdestä pisteestä useampaan kohteeseen samanaikaisesti. Vaikutusta voidaan, ilman suojaavan osapuolen vastatoimia, ylläpitää lähes rajattomasti ilman, että teho laskee tai (fyysisen



Kuva 2. Kybertilan ”maastoa” (esim. reititustauluja tai pääsynhallintalistoja) voidaan muuttaa hyvin nopeasti.

kerroksen) energiatarpeet muuttuvat kestävämmiksi. Vaikutuksen lisääminen on mahdollista yhtä helposti kuin sen aloittaminen, ja vaikutusta voidaan siirtää fyysisesti ilman joukkojen tai lavettien siirtämistä. Tämän perusteella voisi kuvitella, että koko voimien taloudellinen käyttö taktisena periaatteena on kybertilassa turha. Kuitenkin rajoitteita on: osoitevaraukset ovat kuluva resurssi (niitä voidaan blokata), samoin valmistelu-aika ja yksityiskohtaiset tekniset vaikuttamiskeinot. Näistä seuraa, että itse periaate on edelleen yhtä tärkeä, mutta teorioiden kustannusfunktiot on mietittävä uudelleen.

Voimien vaikutusten keskittämisen periaatteena on tuottaa pienillä resursseilla voimakas pisteittäinen tai paikallinen vaikutus. Tälle on nähty suoraa analogioita kybertilassa esimerkiksi hajautetuissa palvelunestohyökkäyksissä. Tämä analogia ei kuitenkaan yleisty, ellei huomioida, että keskityksessä kuluvat rajalliset resurssit ovatkin kaistanleveys ja osoitevaraus eikä varsinainen tietoliikennepaketti. Puolustajalla on tässäkin etuja: mahdollisuudet katkaista hyökkäys kokonaan eristämällä, siirtää palvelut kokonaan toiseen osoitevaruuteen (esim. sovellusohjattuja verkkoteknologioita, SDN:ää käyttämällä) ja muokata vastettaan vaikutuksen aikana. Nämä voivat pakottaa hyökkääjän hyvin laajaan keinovalikoimaan ja monta kertaa nopeampaan tempoon kuin fyysisellä kerroksella.



Kuva 3. Kyber"joukkojen" sijainti.

Olosuhteiden hyväksikäyttö on perustunut siihen, että taistelun toinen osapuoli tuntee toimintaympäristön paremmin kuin vastustaja ja osaa hyödyntää sitä. Toimintaympäristöön on ollut perinteisesti sidottuna useita kertaluokkia suurempia energiamääriä kuin taistelun osapuolilla on suoraan käytettävissään. Kybertilassa koko toimintaympäristöön ainakin jollakin toimijalla on täysi kontrolli (vaikkakaan ko. toimija ei osallistuisi itse taisteluun). Se osapuoli, jolla on käyttöoikeudet toimintaympäristön eri aspekteihin, on etulyöntiasemassa; operaatioiden alussa käyttöoikeudet ovat yleensä omistajalla.

Taisteluliikkeet (so. liike suhteessa vastustajaan, manööveri) kybertilassa voivat tuntua turhilta, koska entiteettejä ja aktiviteetteja voidaan "luoda tyhjästä". On kuitenkin taisteluliikkeiden merkittäviä lajeja, jotka ovat merkityksellisiä myös kybertilassa, mm. eristäminen, pyrkimys vaikuttaa heikkoihin kohtiin, vapausasteiden lisääminen sekä vahvojen resurssien "kärjen" käyttö. Erityisen tehokas kybertilassa oleva taisteluliike on väistäminen: tietokannat ja webbisi-

vut voidaan replikoida toiselle puolelle maailmaa hyvinkin nopeasti.

Kokonaistarkastelun tulokset (ks. taulukko 1) osoittavat, että yleiset taktiset periaatteet eivät ole menettäneet merkitystään, joskin osassa ajattelutapaa on muutettava. Osa periaatteista vahventuu kybertilassa, kuten yllätys, olosuhteiden hyväksikäyttö ja taisteluliike.

Merkittävä huomio on se, että operaatioiden alkutilassa puolustajalla on mahdollisuudet parempaan tilannetietoon ja toimintaympäristön itsensä kontrolliin, enemmän vapauksia liikkeeseen, piiloutumiseen ja harhauttamiseen sekä mahdollisuus vastustajan liikkeen kontrollointiin itse hyökkäyksen aikana. Kaikki nämä seikat itse asiassa puhuvat kybertilan asymmetriasta puolustajan hyväksi – vaikuttaakin siltä, että kybertilan sanottu asymmetria hyökkääjän eduksi ei ole itse kybertilan ominaisuus vaan sen toimijoiden sota-aidon mitta. Näin on ollut kautta historian myös perinteisessä sodankäynnissä.

Taktinen/Tekninen	Energia	Etäisyys	Muokattavuus	Epäjatkuvuus
Voimien taloudellinen käyttö	Resurssit muuttuvat	Vähentää	Muuttaa	Muuttaa
Voimien keskittäminen	Resurssit muuttuvat	Metriikat muuttuvat	Vähentää	Vähentää
Yllätys	Lisää	Lisää	Menetelmät muuttuvat	Lisää
Maaston käyttö	Muuttaa	Lisää	Lisää	Lisää
Taisteluliike	Resurssit muuttuvat	Lisää	Lisää	Lisää

Taulukko 1. Teknologisen periaatteen vaikutus taktisen periaatteen merkitykseen: kasvattaa, vähentää tai muuttaa.



## Taistelun elementit

Taistelun elementit pitävät sisällään tulen, liikkeen ja suojan. Sodankäynnin teorioiden sekä käytännön operaatioiden kannalta on hyödyllistä pyrkiä esittämään myös kybertilan soveltuvat käsitteet taistelun elementtien kautta. Kyberoperaatiot teknisenä suoritteena eivät useimmiten ole itse tarkoitus, vaan asioilla on laajempi konteksti, jolloin operaatioiden tai taistelun johtamisen tulee tapahtua sotilaallisin periaattein mieluummin kuin teknisin, mikä taas vaatii tilannekuvan ymmärtämistä myös sodankäynnin termein.

Tuli tai tulenkäyttö on kineettisessä sodankäynnissä merkittävin vaikuttamisen keino, jolla pyritään mm. tuhoamalla, lamauttamalla ja näännyttämällä aktiivisesti heikentämään vastustajan toimintaa. Vastaavasti kybervaikuttamisessa tunnistetaan destroy-disrupt-degrade-deny-toiminnot, ts. tuhoamisen ja lamauttamisen lisäksi lievemmat muodot, kuten häirintä ja kiistäminen. Kybervaikuttaminen (merkityksessä OCO, Offensive Cyber Operations) pyrkii siis samaan kuin tulenkäyttö. Tämä ei kuitenkaan suoraan tarkoita, että kybertilassa olisi käytettävissä tulenkäyttöä vastaava yleispätevä keino energiaa projisoimalla tuottaa vaikutus kohteeseen: tulenkäytön kineettinen perusta nojaa fyysisen tilan tarjoamaan vapauteen siirtää ja fokusoida energiaa, mutta virtuaalisessa maailmassa mitään ei siirry ilman valmiiksi rakennettua yhteyttä, ja olemassa olevakin projisointikanava voidaan kesken tulenkäytön sulkea.

Virtuaalitalan analogia tulenkäyttöön on siis haettava vaikutuksen kautta. Loogisella kerroksella välittömän vaikutuksen saa aikaiseksi aina virtuaalikomponentti, kuten tietoliikennepaketti tai tietokonevirus. Yhteinen piirre näille kineettisen tulenkäytön vaikuttamisen komponenttien (ammusten) kanssa on se, että tietystä pisteestä eteenpäin vaikutuksen aikaansaavan komponentin ei enää oleteta ottavan komentoja vastaan vaan hakeutuvan enemmän tai vähemmän automaattisesti kohteeseensa. Tärkeänä eroavaisuutena taas on se, että kun samantyyppistä virtuaalista vaikutusmenetelmää käytetään tarpeeksi pitkään, se menettää kybertilassa tehonsa. Näin määriteltynä ”kyber-tulenkäyttö” vastaisi riittävän monipuolisten automaattisten virtuaalikomponenttien harkittua käyttämistä osana muuta vaikuttamisen toimintaa.

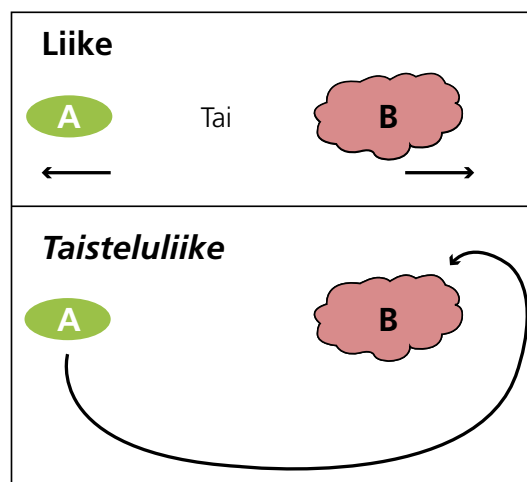
Kybertulenkäytössä on voitu huomata myös kineettisen tulenkäytön elementtien kriteereitä, sisältäen yllätyksellisyden, massoittamisen ja tulenjohtamisen: ukrainalaisen Ivano-Frankivskin sähköverkon lamautusoperaatioissa 2015 itse verkon jakelutoimintaan kohdistettiin kybertulenkäyttöä, mutta myös sähköverkko-operaattorin vikapuhelin- ja asiakaspalvelujärjestelmä sekä verkko-operaattoreiden puhelinvaihteet lamautettiin OCO:lla. Tämä taas ei ole mahdollista ilman yllätyksellistä tulenkäytön johtoa ja keskittämistä.

On lisäksi huomattava, että ”keskittämisellä” ei pidä tässä ymmärtää pelkästään isoa määrää palvelunestopaketteja vaan myös monipuolista ja käyttövalmista muuta vaikuttamisarsenaalia.

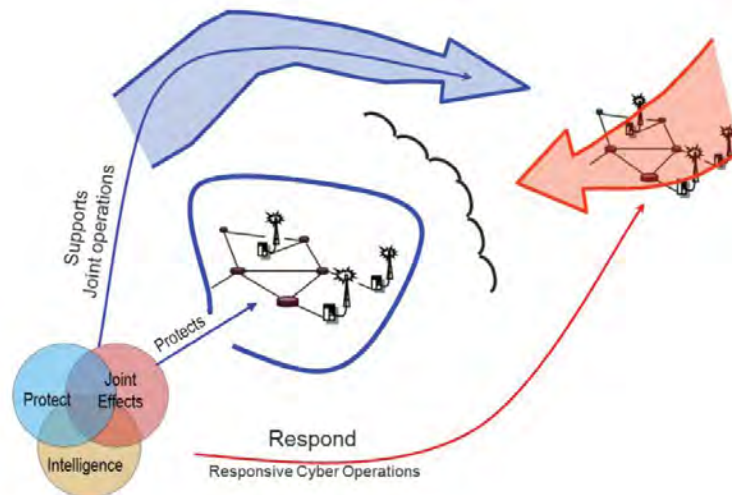
Haastavin taistelun elementeistä on todennäköisesti liike. Ensinnäkin on erotettava liike taktisena elementtinä liikkeestä taktisena periaatteena (manööveri). Ensin mainittu on liikettä suhteessa ympäristöön, kun taas jälkimmäinen on liikettä tai asemoitumista suhteessa vastustajaan tai muihin toimijoihin. Kyberoperaatioissa taisteluliikkeissä on nykyisin jo omat käsitteensä: puhutaan lateraalisesta (sivuttaisesta) liikkeestä, kun hyökkääjä etenee kohdeverkoissa turvallisuusvyöhykerajojen mukaisesti. Vastakohtana tälle voitaisiin pitää ”murtoa” tai horisontaalista etenemistä turvallisuusvyöhykkeiden rajojen ylitse.

Toinen haaste johtuu siitä, että liike taistelun elementtinä viittaa joukkojen sijainnin muutokseen, mutta molemmat käsitteet kybertilassa ovat heikosti määriteltyjä. Sen sijaan vaikutuksen kohteita ja tekijöitä sijoitellaan toisiinsa nähden virtuaaliympäristössä tarkoituksenmukaisimmilla tavoilla. ”Joukot” voidaan määritellä kunkin osapuolen aktiviteetiksi kybertilan verkon eri solmuissa ottaen huomioon, että looginen kerroskin jakautuu alikerroksiin ja että solmujen hallinta voi olla jaettu useamman osapuolen kesken näiden edes tietämättä toisistaan. Tällöin liike on määritelty siten, että osapuolen aktiviteetti loppuu tai alkaa jossakin tietyssä solmussa, ja on näin ollen määritelty myös suhteessa ympäristöön.

On kuitenkin huomioitava, että kybertilassa itse ympäristökin voi muuttua nopeasti. Liikettä suhteessa ympäristöön tai vastustajaan voi siis tapahtua myös silloin, kun toimija ei itse tee mitään. Liikkeen analogiaksi ei voida siten määritellä mitään yksittäistä em. toimenpidettä vaan jonkinlainen erilaisten toimien kombinaatio, joka toimi-



Kuva 4. Liike vs. Taisteluliike (manööveri).



Kuva 5. Suojautuminen.

jan kannalta johtaa muutokseen virtuaaliympäristössä. Liikkeen analogiaksi kybertilassa riittää siis pelkkä muutos ympäristössä.

Kybersuojautuminen muistuttaa eniten suojautumista perinteisissä fyysisissä toimintaympäristöissä. Kybersuoja on perustunut palomureihin, laitetason fyysiseen ja sovelluspohjaiseen suojaan (esim. fyysinen eriyttäminen, airgap tai looginen segmentointi) sekä ei-toivotun tietoliikenteen estämiseen kyseisessä tietoverkkosegmentissä. Näiden menetelmien käyttämisen ymmärtävät samoin sekä kybertoimijat että kineettiset toimijat. Suoja ja suojautumisen tarkoitus ja toteutus ovat samankaltaisia kummassakin toimintaympäristössä.

Kyberoimintaympäristö kykenee tarjoamaan perinteiseen ympäristöön nähden kertaluokkia helpommin käytettävän suojautumisen keinon: mahdollisuuden muokata taistelutilaa ja (hyökkäys)kohteen sijaintia tai muotoa. Perinteisessäkin ympäristössä vihollisen liikettä voidaan ohjata taistelutilaa muokkaamalla (esimerkiksi sulutteilla), mutta tämä vaatii enemmän suunnitelmallisuutta ja yleisesti ottaen myös enemmän valmistelu-aikaa, eikä sitä voida soveltaa yhtä yleisesti kuin kyberoimintaympäristössä. Tätä suojautumisen keinoa vastahyökkäyksen ohella kutsutaan aktiiviseksi kyberpuolustukseksi, jossa muokataan omaa toimintaympäristöä hyökkääjään haittaamiseksi tai vaikutetaan suoraan hyökkääjään eriasteisilla vaikuttamisen keinoilla, ja tähän kybertila tarjoaa fyysistä kerrosta kertaluokkia paremmat mahdollisuudet.

Eräänä esimerkkinä kybermaaston muuttamisesta suojaustarkoituksessa voidaan pitää nk. SDN-tekniikoita (Software-Defined Networking), joiden avulla kybertilan eri kerrosten osoitevaruutta voidaan muuttaa hyvinkin nopeasti tehden ”maastotiedustelu” turhaksi. Eräässä

USA:laisessa sotilastietoliikenteen konferenssissa sikkäläisen johtamisjärjestelmäorganisaation kenraali vertasikin SDN:ää ”kyberin taajuushyppelyksi”.

Siirryttäessä fyysisestä taistelusta taisteluun kyberoimintaympäristössä muuttuu taistelun elementtien sisältö teknisesti. Kineettiset ja ei-kineettiset ympäristöt sekä niissä käytettävät järjestelmät ovat erilaisia. Samankaltainen analogia löytyy myös esimerkiksi eri puolustushaarojen väliltä. Kaikista toimintaympäristöistä löytyvät samat taistelun elementit, mutta toimintaympäristö mahdollistaa tai rajoittaa niiden toteuttamisen eri tavoin. Tämä pitää paikkansa myös kyberoimintaympäristössä: sotilaallisen suunnittelijan täytyy vain tuntea toimintaympäristön mahdollisuudet ja kyetä hyödyntämään tulen, liikkeen (muutoksen) ja suojan tarjoamat taistelutekniset toimenpiteet.

Tämän tarkastelun perusteella voidaan tuli-liike-suoja ymmärtää kyberoimintaympäristössä vaikutus-muutos-suoja-termeillä. Näiden ”kybertaistelu-elementtien” sisällön liittämällä perinteiseen taistelu-elementtien terminologiaan aikaansaadaan kaikille käsitteiden käyttäjille näkemys käsitteiden sisällöstä ja käytettävyydestä eri toimintaympäristöissä.

#### Kirjoittajat:

Tekniikan tohtori Mikko Kiviharju toimii salaajärjestelmien tutkimusalojohtajana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen informaatiotekniikkaosastossa.

Everstiluutnantti, sotatieteiden tohtori Mika Huttunen toimii johtavana tutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen doktriiniosastossa.

Everstiluutnantti Harry Kantola toimii viestikoulun johtajana Maasotakoulussa.

# Informaatiotosodankäynnin kehityksestä ja haasteista



(Kuva: Petteri Simola)

## Informaatiotosodankäynnin kehitys

Informaatiotosodankäynti on vaihtelevasti määritelty kokonaisuus, mutta tyypillisesti sen vaikuttamiskeinoihin katsotaan kuuluvan tietoverkkosodankäynti, harhauttaminen, fyysinen vaikuttaminen, elektroninen sodankäynti, operaatioturvallisuus ja psykologinen sodankäynti. Se, mikä kuuluu informaatiotosodankäyntiin, riippuu usein näkökulmasta ja kirjoittajasta. Yleisesti informaatiotosodankäynnin historiassa voidaan kuitenkin tunnistaa kaksi keskeistä näkökulmaa: teknologinen ja psykologinen. Yhteistä eri näkökulmille on informaation käyttö tavalla tai toisella osana vaikuttamista ja siltä suojautumista. Tyypillisesti tavoitteena on vaikuttaa vastustajan poliittiseen tai sotilasjohtoon ja saavuttaa informaatioylioivoima vaikuttamalla joko teknisiin järjestelmiin, ihmismieleen tai molempiin yhtä aikaa.

Informaatiotosodankäynnin menetelmät ovat vahvasti sidoksissa teknologiseen kehitykseen. Kun halutaan vaikuttaa vastustajaan, tarvitaan vastustajasta ensin informaatiota, jotta vaikuttaminen olisi tehokasta ja kohdistuisi operaation kanalta keskeisiin tekijöihin. Tämän jälkeen vaikuttaminen (esim. haittaohjelmat tai psykologisen vaikuttamisen viestit) on saatava perille usein teknologisten ratkaisujen ja sovelusten avulla. Samalla yritetään estää vastustajaa saamasta vastaavaa informaatiota oman vaikuttamisensa tueksi sekä suojautumaan itse vaikuttamiselta. Lähivuosikymmenien aikana tapahtunut viestintäteknologinen kehitys, erityisesti digitalisaatio, on mahdollistanut aiempaa tehokkaamman johtamisen ja vaikuttamisen, mutta samalla se on tehnyt asevoimista haavoittuvampia informaatiotosodankäynnin näkökulmasta.

Viestintäteknologinen kehitys on kokonaisuudessaan hyvin myönteinen asia. Maapallosta on tullut ihmiskunnalle kokonaisuus tavalla, jonka muutosta emme usein edes ajatelleeksi. Kun vielä muutama vuosikymmen sitten kirjeen tai radioyhteyden saaminen maapallon toiselta puolelta ei ollut mikään jokapäiväinen asia, tänä päivänä emme välttämättä edes kiinnitä huomiota siihen, mistä päin maailmaa keskustelupalstalla keskustelevat ihmiset kirjoittavat. Ilmiöstä käytetäänkin usein nimitystä maailmanlaajuinen kylä (Global Village). Globaali, digitaalinen informaatioympäristö on tänä päivänä tavalla tai toisella mukana lähes kaikessa inhimillisessä toiminnassa – ja siten vääjäämättä myös taistelutilassa. Ajatus siitä, että taistelutila olisi jotenkin eristettävissä vain konfliktin osapuolien asevoimien väliseksi, on ehkä mahdollista fyysisen maailman puitteissa (esim. ilman rajauksilla), mutta esimerkiksi elektronisessa, kyber- ja psykologisessa sodankäynnissä rajausta on jo paljon vaikeampaa. Teknologinen kehitys edellyttää siis asevoimilta uusia toimintamalleja siitä, miten vaikutukset kohdistetaan vain konfliktin osapuolien asevoimiin samalla, kun suojellaan siviiliyhteiskuntaa.

### Ihmistieteiden kehitys ja soveltaminen

Informaatiovaikuttaminen ja markkinointi ovat aina hyödyntäneet psykologista ja sosiologista ymmärrystä ihmisten käyttäytymisestä, sen lainalaisuuksista ja erityisesti ihmisen käyttäytymiseen ja ajatteluun liittyvistä haavoittuvuuksista. Nykyisessä verkottuneessa informaatioympäristössä tämä tuli kaikille ilmeiseksi viimeistään vuoden 2016 Yhdysvaltojen presidentinvaalien ja siihen liittyvän Cambridge Analytica -skandaalin välityksellä. Cambridge Analytica hyödynsi sosiaalisessa mediassa olevaa yksilöllistä tietoa vaikuttamiskampanjoiden räätälöintiin ja kohdentamiseen. Nykyinen verkottunut informaatioympäristö sekä viestinnän muuttuminen viimeistään tässä vaiheessa yksisuuntaisesta moniulotteiseksi vuorovaikutusten verkostoksi, jossa kuulijalla on oma aktiivinen roolinsa ja yksilöllinen agendansa, ovat tuoneet ihmisen käyttäytymisen ymmärtämiseen uuden ulottuvuuden. Moni aikaisemmista psykologiseen vaikuttamiseen liittyvistä psykologisista peruslainalaisuuksista pätee kuitenkin edelleen. Esimerkiksi tunnepitoista sisältöä priorisoidaan teknisten faktojen yli, minkä lisäksi tunnepitoinen sisältö prosessoidaan ja siihen reagoidaan usein ilman sen suurempaa analyttistä pohdintaa. Informaatioympäristössä tapahtuva vuorovaikutusta ja käyttäytymistä ei kuitenkaan voida ymmärtää pelkästään aikaisempiin teorioihin perustuen. Kyberpsykologiaksi kutsuttu psykologian haara pyrkiikin ymmärtämään digitaalisessa informaatioympäristössä tapahtuvan käyttäytymisen lainalaisuuksia ja erityispiirteitä.

Internetin ja esineiden internetin (IoT, Internet of Things) rinnalle on syntyessä uusi kokonaisuus: käyttäytymisen internet (IoB, Internet of Behaviour). Esineiden internet (IoT) yhdistää miljoonat laitteet ympäri maailmaa, mutta

samaan aikaan nämä laitteet keräävät tietoa ihmisten käyttäytymisestä (IoB) digitaalisten jalanjalkien muodossa. Näitä jalanjalkia yhdistelemällä voidaan syventää ymmärrystä ihmisten käyttäytymisestä (käyttäytymismallit, behavioural patterns). Samalla voidaan myös suoraan vaikuttaa käyttäytymiseen sellaisella tavalla, joka ei aikaisemmin ole ollut mahdollista (mm. pimeät mainokset, dark ads). Käyttäytymisen internet yhdistää käyttäytymistieteitä (psykologia, sosiologia), datatieteitä (tilastotieteet, tekoälytutkimus) ja olemassa olevaa verkottunutta teknologiaa (IoT).

### Haasteita

Vanhan sanonnan mukaan tieto on valtaa, ja informaatioyhteiskunnassa valta näyttääkin keskittyvän yhä enemmän niille, joilla on tietoa. Kansainvälisten yritysten keräämä tieto ihmisistä ja näiden käyttäytymisestä on käypää pääomaa tarkasteltaessa kulutuskäyttäytymistä ja tarjottaessa kohdennettua mainontaa. Usein ei kuitenkaan tule ajateltua, mihin muuhun samaa tietoa voi käyttää. Maailmalta löytyy jo useita esimerkkejä tiedon tahattomasta leviämisestä (kuten kuntoilusovellusten kautta jaetut treenitiedot ja sitä kautta paljastuneet sotilastukikohtien sijainnit). On aiheellista kysyä, mihin muuhun tarkoitukseen tietoa voidaan kerätä, ostaa ja hyödyntää.

Digitaalisen ympäristön läsnäolo lähes kaikessa inhimillisessä toiminnassa luo sotilaallisesta näkökulmasta uusia haavoittuvuuksia, joihin on tavalla tai toisella reagoitava. Jokainen sotilas, oli kyseessä sitten ammattisotilas tai reserviläinen, on samalla myös kansalainen, joka elää arkipäiväistä elämäänsä yhteiskunnassa. Digitaalisen maailman palveluita käyttäessämme jätämme jatkuvasti jälkeemme digitaalisia jalanjalkia, joita nykyajan jäljittäjät osaavat tunnistaa ja kerätä. Esineiden internetin nousun myötä näitä digitaalisia jalanjalkia ja käyttäytymisen indikaattoreita kertyy yhä enemmän myös hyvin arkipäiväisistä toimista, kuten autolla ajamisesta tai kaupassa käynnistä. Autojen paikannuslaitteet keräävät dataa liikennevirroista, mistä on hyötyä vaikkapa kauppakeskuksen tai huoltoaseman paikkaa suunniteltaessa. Samoin ostoksistamme kerätty data yksilöi elämäntapaamme ja erityisesti sen muutoksia ennennäkemättömällä tarkkuudella.

Kuten aiemmin on todettu, erityisesti sosiaalisen median mutta myös muun digitaalisen median käyttäminen yleensä kertoo paitsi kiinnostuksen kohteistamme myös uskomuksistamme ja arvoistamme sekä tavastamme reagoida eri tapahtumiin. Informaatioyhteiskunnan sanotaan olevan tasa-arvoisempi, koska jokaisella on oikeus tuoda oma äänensä kuuluviin eivätkä perinteiset portinvartijat (esim. päätoimittajat, jotka päättävät, mitä julkaistaan) enää omaa yksinoikeutta tiedon jakamiseen. Toisaalta jokaisen on hyvä tunnistaa, että käytännön tasolla portinvartijat ovat edelleen olemassa mutta osin näkymättömissä. Kuka päättää, mitkä



(Kuva: Petteri Simola)

hakutulokset näkyvät hakukoneesi ensimmäisten tulosten joukossa, mitä uutisia sinulle tarjotaan tai millaisia ehdotuksia sosiaalisen median palvelusi antaa? Vai luetko kaikki hakukoneen tarjoamat miljoonat hakutulokset tasapuolisen näkemyksen saamiseksi? Inhimillisen tiedon käsittelykyky verrattuna tiedon valtavaan määrään nykyaikana antaa paljon mahdollisuuksia informaatiovaikuttamiseen niille, jotka kykenevät muokkaamaan yksittäisen ihmisen (myös sotilasjohtajan) informaatioympäristöä.

Mahdollisuuksia siis on, mutta kuka niitä käyttää? Länsimaissa on totuttu siihen, että viranomaisten yleensä ja erityisesti asevoimien toimintaa niin normaali- kuin poikkeusoloissakin säätelevät tarkat lait ja toimivaltuudet. Käyttäessämme erilaisia digitaalisia palveluita oletamme aivan perustellusti, että myös yritykset ja yhteisöt noudattavat tietosuojasta sekä lakia että niitä sopimuksia, joita palvelun käyttäjä on pal-

veluntarjoajan kanssa tehnyt. Kuten uutisia seuraamalla on havaittavissa, on kuitenkin epätodennäköistä, että rikolliset tai terroristiset järjestöt tai jopa osa maailman asevoimista noudattaisi samoja periaatteita, joihin länsimaissa yleisesti on totuttu. Nämä hyvin erilaiset toimijat voivat myös tehdä yhteistyötä esim. tilanteissa, joissa rikollisjärjestöt tukevat vieraan maan asevoimia hybridisodankäynnin tyypisissä tilanteissa. Tämä epäsymmetria lain eri tulkintojen välillä on haaste erityisesti niissä tilanteissa, joissa voimankäyttö (esim. kyber- tai psykologinen vaikuttaminen) kohdistuu asevoimien lisäksi myös tavallisiin kansalaisiin.

Mikä on siis asevoimien rooli informaatio- ja sodankäynnin näkökulmasta? Asevoimien tehtävänä on viime kädessä suojella yhteiskuntaa vihamieliseltä voimankäytöltä, mutta millaisia ratkaisuja se edellyttää maailmassa, jossa kaikki inhimillinen toiminta on yhä globaalimpaa, keskinäisriippuvaisempaa ja

nopeampaa? Asevoimiinkin voidaan vaikuttaa monin tavoin epäsuorasti juuri keskinäisriippuvuuksien avulla. Kärjistäen voisi sanoa, että nykyaikana sodankäynnin taitojen ohella myös sodankäynnin tunnistaminen on noussut tärkeäksi taidoksi. Teknologinen kehitys mahdollistaa niiden tavoitteiden, joihin aikaisemmin pyrittiin asevoimilla, saavuttamisen ilman ”perinteistä” asevoiman käyttöä. Kansakunnan elintärkeisiin toimintoihin vaikuttaminen (esim. sähköverkko, logistiikka) jälkiä jättämättä tai yhteiskunnan sisäisten ristiriitujen luominen ja vahvistaminen mahdollistavat tehokkaan vaikuttamisen ilman, että valtakunnan rajoille tuodaan massiivinen määrä asevoimien joukkoja.

Erilaiset rooli- ja toimivaltuusratkaisut sekä toisistaan poikkeavat näkemykset kansainvälisen lain tulkinnoista mahdollistavat epäsymmetrian valtioiden välillä, erityisesti niillä alueilla, joilla lainsäädäntö ei pysy nopeasti kehittyvän teknologian perässä. Tätä epäsymmetriaa hyödyntävät kykenevät tehokkaaseen vaikuttamiseen tunnistettuaan ne toiminnan osa-alueet, joissa kohdevaltion viranomaisten toimivaltuudet tai niiden rajapinnat ovat epäselviä. Kenellä on siis vastuu tilanteessa, jossa vieraat asevoimat kohdistavat vaikutuksensa asevoimiin välillisesti (esim. rikollis- tai terroristiorganisaation kautta) tai siviili-infrastruktuuria kohtaan tehdään hybridisodankäynnin tyyppisiä tunnistamattomia, laajamittaisia hyökkäyksiä? Toimimatta jättäminen ei kuitenkaan ole vaihtoehto.

### Mikä ratkaisuksi?

Informaatiosodankäynnin kehitystä tarkasteltaessa voi mieleen nousta sotilaille tuttu kysymys: Mitä voit tehdä, kun et voi tehdä mitään? Informaatiosodankäynnin kokonaisuus näyttää olevan paitsi liian laaja hallittavaksi myös täynnä erilaisia suorituskyky- ja toimivaltarajoituksia, joiden keskellä yksittäinen sotilasjohtaja voi helposti päätyä umpikujalta tuntuvaan tilanteeseen. Entäpä jos yksi haasteista onkin juuri tuo sotilasjohtajan näkökulma? Kuten sanonta kuuluu: ”jos ainoa työkalu on vasara, koko maailma näyttää nauiloita”. Sotilasjohtajien selkärankaan on usein jo sotilasopetuslaitoksissa iskostunut ajatus siitä, että vastuu on jakamaton,

oma potti hoidetaan itse eikä sitä jaeta eteenpäin muiden ongelmaksi. Ehkä kaikkea ei kuitenkaan kuulukaan hoitaa yksin.

Yksi tutkimuksen kautta löytyvä ratkaisu on tunnistaa informaatioidankäynnin keskeisiä elementtejä ja jakaa kokonaisuus osiin, joiden sisällä vastuunjako viranomaisten välillä ja siten tehokkaihin vastatoimenpiteisiin ryhtyminen on mahdollista. Vertailukohtana voidaan käyttää esimerkiksi ilmasodankäynnin ja sen vastatoimenpiteiden kehitystä. Ilmailun alkuaikojen näkemykset ilmasodan totaalisuudesta kaupunkien pommituksineen tukivat ajatusta siitä, että ilmasodankäynti olisi liian brutaalia koskaan käytettäväksi sen täydessä laajuudessa. Historian kokemusten ja sotataidollisen kehityksen myötä olemme kuitenkin tilanteessa, jossa ilmaoperaatiot ovat vakiintuneet osaksi sodankäyntiä. Siviiliuhrien ja omien tappioiden riskin vuoksi hyökkäyksellisille ilmaoperaatioille asetetaan kuitenkin tarkkoja vaatimuksia niiden toteutuksesta. Samalla ilmapuolustus nähdään jokaisen toimijan kiistämättömänä oikeutena ja ilmasuojelu jokaisen vastuullisen toimijan velvollisuutena. On siis tunnistettu ilmasodan keskeisiä elementtejä, joiden sisällä vaatimukset ja toimivaltakysymykset on määritetty paitsi sotilaiden myös muiden viranomaisten kesken.

Samaa ennustamme tapahtuvan myös informaatioidankäynnissä. Sotataidollisen tutkimuksen myötä on todennäköistä, että informaatioidankäynnin kokonaisuus jakaantuu yhä tarkempiin osatekijöihin, joilla jokaisella on omat tunnusomaiset piirteensä, rajapintansa, mahdollisuutensa ja rajoitteensa. Siten myös toimintatapamallit ja toimivaltuudet voidaan sovittaa tilanteen ja vaatimusten mukaan niin, että tehtävät voidaan täyttää kaikissa olosuhteissa. Onkin todennäköistä, että eri viranomaisten vastuita ja toimivaltuuksia yhdistävät kokonaisturvallisuuden mallit kehittyvät entisestään tulevaisuudessa samalla, kun asevoimien omat toimintamallit kehittyvät yhä tarkemmiksi. Yhä kiihtyvää tekniikan kehitystä tarkasteltaessa voidaan siten vain todeta, että Puolustusvoimien omalle sotataidolliselle tutkimukselle on varmasti tilausta myös tulevaisuudessa.

#### Kirjoittajat:

Majuri Miika Sartonen työskentelee erikoistutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen doktriiniosastossa.

Psykologian tohtori Petteri Simola työskentelee tutkimusala-johtajana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen toimintakykyosastossa.

# Kvanttikestävien PQC-algoritmien kehittäminen ja standardointi

Kvanttilaskennan mahdollisuudet muodostavat tietyille tärkeille perinteisille salausmenetelmille myös uhan, joka voi toteutuessaan johtaa koko sähköisen yhteiskunnan viestinnän luottamuksen murtumiseen. Kyseisille haavoittuville menetelmille on kuitenkin olemassa myös toistaiseksi kehitysvaiheessa olevia korvaajia, nk. kvanttikestäviä (PQC-) algoritmeja. Jotta tällainen korvaus olisi laajamittaisesti mahdollista tehdä, algoritmit tulee standardoida. Kansainväliset ja kansalliset standardointiorganisaatiot ovat käynnistäneet prosessit tähän työhön, ja tuloksia on joillakin mailla jo valmiina. Pääasiallisin länsimainen standardoija, NIST, odottaa tuloksia vuosina 2022–24, ja kotimainen Business Finlandin kehityshanke kestää vuoteen 2022 asti.

## Kvanttiuhka

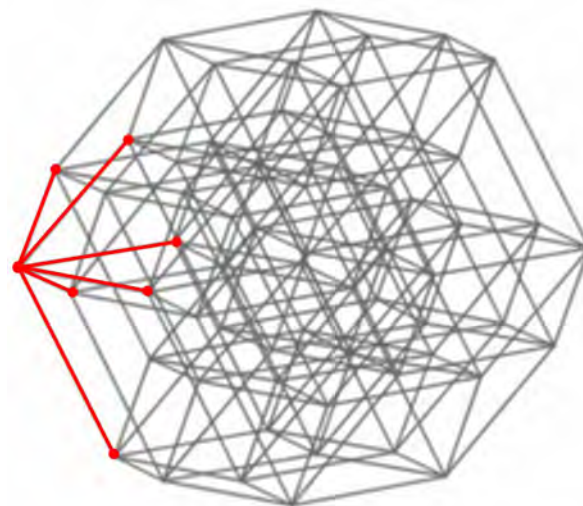
Termi ”kvanttilaskenta” viittaa hyvin heterogeeniseen joukkoon laskentamalleja ja toteutuksia, joissa pyritään hyödyntämään kvantti-ilmiöitä tuottamaan laskennallista kiihdytystä eli lisätehoa laskenta-algoritmeille. Laskennallisesti merkittävin ilmiö, jota pyritään hyödyntämään, on kvanttitilojen superpositio: tässä kvanttielementeille (qubiteille) koodatut ongelmat sisältävät saman tien kaikki ratkaisut kvanttitilojen yhdistelminä. Jotta tätä voitaisiin hyödyntää ongelmanratkaisuun, kullekin ongelmalle on oltava tapa koodata se qubiteille ja lisäksi uuttaa (qubitien todennäköisyyksiä manipuloimalla) kaikista tiloista juuri se oikea. Näitä tapoja kutsutaan kvantti-algoritmeiksi.

Tietyille merkittäville salaustekniikoille on olemassa kvantti-algoritmeja, jotka tuottavat nk. eksponentiaalisen kiihdytyksen sen pohjalla olevan matemaattisen ongelman ratkaisemiseksi. Tämä tarkoittaa sitä, että kyseistä ongelmaa perustanaan käyttäviä salausprimitiivejä ei voida enää paikata esim. pidemmällä avaimenpituuksilla vaan ne on kokonaan hylättävä. Nykyisin tällaisia käytössä olevia ongelmia on RSA-nimisen salaustekniikan pohjalla oleva suurten kokonaislukujen tekijöihinjako sekä elliptisten käyrien (ECC) salausmenetelmien taustalla oleva suurten algebrallisten ryhmien diskreetti logaritmi. Sekä RSA ja ECC ovat taas käytössä hyvin laajasti nykyisen kyberturvallisuuden infrastruktuurin peruspilareina, esim. sähköisen salatun liikenteen avaintenvaihdoissa, sähköisissä allekirjoituksissa, käyttäjän-tunnistuksessa, ym.

On selkeää, että jos RSA ja ECC murretaan esimerkiksi jonkin laskentaan panostavan suuren tiedusteluorganisaation toimesta, menetetään hyvin laajalti koko sähköisen yhteiskunnan luottamus. Tämän lisäksi, mikäli vastustaja on sattunut tallentamaan tietoa menneiltä vuosilta laajalti, myös näiden tietojen luottamuksellisuus menetetään. Kvanttiuhka voi toteutua vasta yli kymmenen vuoden päästä, mutta joitakin tietoja on tarve suojata paljon pidemmälle.

## PQC-algoritmit

Yleiskielessä termi ”kvanttiturvallisuus” voi tarkoittaa kovin montaa asiaa alkaen siitä toteamuksesta, että nykyisetkin järjestelmät ovat suojassa nykyiseltä kvanttilaskennan kyvyiltä. (Tällainen ajattelu on sotilaallisesti katsoen samaa kuin se, jos Blitzkrieg olisi kyetty ennakoimaan jo vuonna 1921 ja ratsuväkeä pyydetty varautumaan tähän nopeammin hevosin panssarintorjunta-aseiden sijaan). Tällä hetkelläärkevin kestävä alaraja klassisen laskennan kvanttiturvallisuudelle on kuitenkin seuraava: jos salausjärjestelmän pohjalla olevalle matemaattiselle ongelmalle ei tunneta yhtään tehokasta kvantti-algoritmia, kyseisen ongelman päälle rakennettuja algoritmeja voidaan pitää perusteiltaan kvanttiturvallisina. Myös symmetriset salausmenetelmät (kuten AES) menettävät turvallisuuttaan jonkin verran kvanttilaskennan vuoksi, mutta näitä voidaan paikata siirtymällä suurempiin



Kuva 1. Kuusiulotteisen hilan yksi solu (6D-kuutio) ja sen eräs kantavektori joukko. Parhaan mahdollisen kantavektori joukon löytäminen (monisataulotteisesta hilasta) on useiden hilapohjaisten PQC-salausmenetelmien turvallisuuden pohjalla.

avainpituuksiin tarvitsematta luopua niistä kokonaan. On huomioitava, että myös kvantti-ilmioihin perustuvat kryptografiset primitiivit, nk. kvantti-kryptografia (esimerkkinä kvanttiavaintenvaihtoon, QKD:hen perustuvat ”kvantti-internet”-verkot), ovat lähtöoletukseltaan kvanttiturvallista. Näiden integroiminen perinteiseen ICT-infrastruktuuriin on kuitenkin oma haasteensa, eikä niitä käsitellä tässä.

Tärkeimmän kvanttiturvallisuuden käsitteen englanninkielinen termi on ”Post-Quantum Cryptography” (viittaa ”kvantti-tapahtuman” jälkeenkin kestävinä pysyviin primitiiveihin) eli PQC. PQC viittaa yleisesti isoon joukkoon kvanttikestäviä (asymmetrisiä) salausalgoritmeja, joten sen sisällä on useita eri matemaattisten ongelmien pohjalta muodostettuja luokkia algoritmeja, joiden sisällä saattaa olla lisäksi useampia tekniikoita hyödyntää alla olevaa problemaa.

PQC-algoritmien tarkoituksena on olla ”plug-and-play”-komponentteja, jotka voidaan vain vaihtaa kvanttiuhalle haavoittuvien RSA- ja ECC-algoritmien tilalle. Tässä on kuitenkin kaksi pääasiallista haastetta:

- Järjestelmät, joihin korvaus pitäisi tehdä, eivät yleisesti tue kovinkaan kehittyneitä (jos mitään) ”plug-and-play”-teknologioita. Tällöin monet järjestelmät ja standardit tulee uusia kokonaan: esimerkiksi yleisesti internetin tietoliikenteen suojaamiseen käytetyn IPSec-standardin osia joudutaan muuttamaan.

- Käyttötapauksen mukaan kovin jäykät vaatimukset algoritmivalintojen suhteen voivat johtaa siihen, että joissakin rajoitettujen ympäristöjen käyttökohteissa laskenta-alustat tai tietoliikenne tukehtuvat väärin algoritmivalintoihin: megatavun kokoisten avaintiedostojen käsittely ja siirtäminen ei sovellu kaikkein pienimpiin IoT-laitteisiin tai hitaimpiin HF-verkkoihin.

PQC-algoritmit ovat suurimmaksi osaksi melko tuoreita, joten kaikkia ei ole ehditty analysoimaan samalla pie-teetillä kuten vaikkapa RSA-algoritmia. Poikkeuksiakin löytyy, mutta nämä voivat olla muuten kovin raskaita järjestelmiä. Kaikkia algoritmeja ei ole lisäksi tehty kaikkiin käyttötarkoituksiin, vaan tyypillisesti eriytetään salausalgoritmit (PKE, esimerkiksi dokumenttien tai tietovarantojen salaus), avaintenvaihtoon käytettävät (KEX, esim. turvallisten tietoliikennekanavien luonti) ja digitaalisen allekirjoitukset (DSS, esim. toimikorttien varmenteet).

Algoritmien suorituskyvyssä voidaan huomata se, että kun mennään kohti kompleksisempia matemaattisia ongelmia, myös niiden prosessointiaika kasvaa. Ainoastaan hilapohjaiset menetelmät vaikuttavat olevan kautta linjan tehokkaita – muissa tyypeissä on aina jokin toiminto, joka vie huomattavan paljon aikaa. Tämä tarkoittaa helposti sitä, että vastaavia salaustoteutuksia joudutaan räätälöimään enemmän kuin nykyisin.

	Hila	Koodi	Isogeeni	Monen muuttujan	Tiiviste
<b>Käyttötarkoitus</b>					
PKE	X	X	X	-	-
DSS	X	-	-	X	X
<b>Suorituskyky</b>					
Avainten koko	Yellow	Red	Green	Red	Green
CT/S koko	Green	Green	Green	Green	Red
Käsittelyaika	Green	Red	Red	Yellow	Yellow
<b>Esimerkki<sup>(1)</sup></b>	KYBER	McEliece	SIKE	Rainbow	SPHINCS+
Avainten koko (RAJ)	1,6 kB	260 kB	350 B	93 kB	64 B
CT/S koko (RAJ)	730 B	128 B	240 B	64 B	8 kB
Käsittelyaika (RAJ)	17 µs	7 ms	3,3 ms	12 ms	140 ms
Avainten koko (SAL)	3,2 kB	1,0 MB	600 B	1,2 MB	128 B
CT/S koko (SAL)	1,5 kB	240 B	410 B	200 B	30 kB
Käsittelyaika (SAL)	3,8 µs	40 ms	143 ms	250 ms	300 ms

Taulukko 1. Esimerkialgoritmit valittu NIST:n 3 kierroksen kandidaateista. Selitteet: PKE: (Public-Key Encryption) Salaus- ja avaintenvaihtomenetelmät. DSS: (Digital Signature Scheme) Varmennemenetelmät. CT/S: (Ciphertext / Signature) Menetelmän tuottama salakieliteksti / allekirjoitus. (RAJ): Tällä hetkellä TLIV-tasoa lähinnä olevilla parametreilla. (SAL): Tällä hetkellä TLII-tasoa lähinnä olevilla parametreilla. Käsittelyaika ilmoitettu olettaen yhtä 3GHz ei rinnakkaistavaa CPU:ta, raskain operaatio.



PQC-algoritmeja on pyritty kehittämään erilaisten matemaattisten ongelmien pohjalta (ks. taulukko 1). Tämä ei ole mitenkään suoraviivaista: yleisesti ottaen laskennallisesti työläästä probleemasta (esim. NP-vaikeat ongelmat) saadaan vain harvoin hyviä salausjärjestelmiä. Kryptologian historia tuntee useita tapauksia, joissa jonkin probleeman päälle rakennetut salausyritelmät eivät ole turvallisia, vaikka alla oleva ongelma on edelleenkin hidas ratkoa. Nykyisin ei suositellakaan, että uusia salausalgoritmeja kehitetään pelkästään suljetussa yhteisössä sisäiseen käyttöön, vaan noudatetaan avoimia standardeja.

### PQC-standardointi

Yhteensopivuuden ja turvallisuuden takaamiseksi eri puolilla maailmaa käydään lävitse PQC-algoritmien standardointiprosesseja. Pääosa länsimaisia valtioita ja standardointiorganisaatiota odottaa USA:n teknologian standardointiorganisaation (NIST) järjestämän kisan tuloksia, mutta länsimaiden ulkopuolella ainakin Kiina on käynyt julkisesti lävitse oman PQC-standardointikisansa (jossa sekä kandidaatit että prosessi olivat melko lailla kopioita NIST:n kisasta, nopeutetulla aikataululla). Suljetut yhteisöt, kuten sotilasliittoumat, noudattavat jossain määrin omia standardointiprosessejaan, joissa kvanttiuhkan todettu kiireellisyys suhteessa standardointiprosessin hitauteen on johtanut erityyppisiin ratkaisumalleihin.

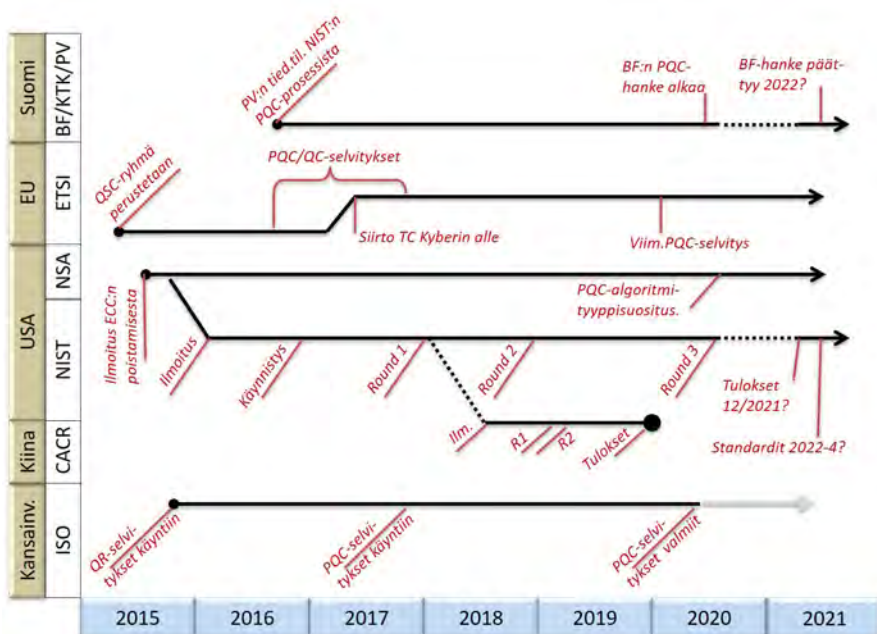
Koska itse PQC-algoritmien muuttaminen tarkoittaa muutoksia lukuisiin protokollisiin, PQC:hen epäsuorasti liittyvää standardointia ja selvityksiä tehdään lisäksi usealla taholla, mukaan lukien

- ISO (JTC1 / SC27): vie NIST:n standardit kansainväliselle tasolle aikanaan
- IETF (TLS, IPSEC, PKIX): mm. hybridiprotokollat, kunkin protokollan PQC-muutokset
- ETSI (TC Cyber WG QSC): PQC-toteutusohjeistukset ja -arviot.

Kansallisia aloitteita standardointiin ja kehitykseen on olemassa useammallakin taholla, ja näistä mainittakoon Kiinan CACR (Kiinan kryptologian kansallinen organisaatio) ja Britannian AquaSec, joka taas pyrkii rakentamaan kokonaisen ekosysteemin QKD:n ja PQC:n ympärille. Suomessa salausuotteiden hyväksyntäviranomaisen (NCSA, joka sijaitsee Kyberturvallisuuskeskuksessa) rooliin kuuluu tuottaa kriteeristö, jonka perusteella kotimaiset ratkaisut hyväksytään. Lisäksi Business Finland (BF) on käynnistänyt erillisen PQC-hankkeen tukemaan kotimaista tutkimusta ja kehittämistä.

NIST käynnisti PQC-standardointiprosessinsa noin vuosi USA:n NSA:n ilmoituksen jälkeen, jossa NSA kertoi siirtävänsä valtiollisen standardinsa salausalgoritmit kvanttikestäviksi. NIST:llä oli taustalla kaksi aiempaa salausalgoritmien standardointiprosessia lohkosalaimista (vuosina 1997–2001, tuloksena nyk. AES) ja tiivistefunktioista (vuosina 2007–2012, tuloksena nyk. SHA-3), joiden prosessia pidettiin maailmanlaajuisesti onnistuneena. Näiden prosessien tuloksena oli kuitenkin vain yksi algoritmi, kun taas tällä kertaa NIST on ilmoittanut valitsevansa algoritmiperheen, joka koostuu joukosta PKE:tä, KEX:ä ja DSS:ä. Tämä johtuu NIST:n mukaan pääasiassa siitä, että arvioinnin kohteena ovat epäsymmetriset (julkisen avaimen) salausalgoritmit, joiden evaluointi on kompleksisempaa, eivätkä kaikki todennäköisesti ole vertailukelpoisia keskenään. Kolmantena syynä on mainittu vaillinainen tietämys kvanttilaskennan kyvyistä; tämä voi tarkoittaa pelkästään sitä, että yksittäisen algoritmin kestävyys pitkässä juoksussa on itse asiassa kysymysmerkki, jolloin valmiiksi hyväksytyt rinnakkaiset algoritmit parantavat kokonaiskestävyyttä (ja että aikaa ei kuitenkaan ole odottaa tietämyksen kerääntymistä).

Standardointiprosessi etenee nk. kierroksittain ("Rounds"). Ensimmäisellä kierroksella ovat mukana kaikki, jotka täyttävät tietyt muoto vaatimukset. Myöhemmissä kierroksissa mukaan valitaan lupaavimmat. Tällä hetkellä kierroksen 3 alettua (07/2020) jäljellä ovat alkuperäisestä 69 kandidaatista enää seitsemän lupaavinta ja kahdeksan "vaihtoehtoista" (joiden oletetaan voivan kehittyä vielä lopulliselle tasolle).



Kuva 2. PQC-standardoinnin aikajana.

	Classical Security	Quantum Security	Examples
I	128 bits	64 bits	AES128 (brute force key search)
II	128 bits	80 bits	SHA256/SHA3-256 (collision)
III	192 bits	96 bits	AES192 (brute force key search)
IV	192 bits	128 bits	SHA384/SHA3-384 (collision)
V	256 bits	128 bits	AES256 (brute force key search)

Taulukko 2. NIST:n alkuperäiset turvallisuustasot PQC-algoritmeille.

Oleellisena osana algoritmien valintaa on niiden turvallisuus. Tässä NIST jakaa turvallisuuden sekä klassiseen (perinteiseen) turvallisuuteen että kvanttiturvallisuuteen. Perinteisessä turvallisuudessa nojaututaan viimeisiin yleisesti hyväksytyihin periaatteisiin asymmetristen salainten kryptografiassa. Kvanttiturvallisuudessa NIST päätyi määrittelemään turvallisuuden sidottuna olemassa oleviin symmetrisiin algoritmeihin – alun perin kvanttiturvallisuuden mitoissa olivat mukana arviot niiden lukuarvoista, mutta näiden kehittyessä eri suuntiin arvioituista NIST luopui niistä.

Standardointiprosessissa on ollut mukana monta melkein samanlaista algoritmia. NIST on kuitenkin ilmoittanut, että se ei tule suosimaan lopullisissa valinnoissaan useampaa samantyyppistä algoritmia vaan tällaiset karsitaan yhteen lupaavimpaan.

Standardointiprosessit eivät koskaan ole kokonaan vapaita politisoitumisesta: NSA:n tiedetään aiemminkin yrittäneen vaikuttaa NIST:n standardeihin, ja tälläkin kerralla NSA:n ”kyberdirektoraatti” on julkaissut virallisen lausunnon, jossa he ilmoittivat tukevansa ainoastaan kahta algoritmityyppiä (hilat ja tiivistepohjaiset). Vaikuttaminen on myös kansainvälistä: jotain kertoo sekin, että Saksan tiedetään tukeneen vahvasti koodipohjaisia ratkaisuja, ja näistä heidän suosikkinsa McEliece on päässyt Round 3:lle asti.

NIST:n standardointiprosessi itsessään on monikansallinen, ja myös suomalaista osaamista on nähty sekä itse standardointiryhmissä (vaihtotutkijoina VTT:ltä) että PQC-algoritmien kehittäjinä (nk. ”Hila5”, myöh. ”Round5”, joka selvisi toiselle kierrokselle asti).

## PQC-kehitystyö Suomessa

Puolustusvoimien tutkimuslaitoksessa ja sen edeltäjässä on seurattu kvanttilaskennan kehitystä vuodesta 2006 asti ja kvanttiturvallista salausta vuodesta 2014 asti. PVTUTKL osallistuu kvanttiturvallisen salauksen kansalliseen kehittämiseen ja normittamiseen yhteistyössä kyberturvallisuuskeskuksen kanssa.

Ensimmäiset laajamittaiset tiedotustilaisuudet suomalaiselle salaustekniikan yhteisölle PQC-standardoinnista pidettiin

PVTUTKL:n järjestämän kansallisen kryptoseminaarin yhteydessä vuonna 2016. Tämän jälkeen vaatimukset salaustuotteille kvanttikestävydestä Suomessakin ovat kasvaneet ja tarkentuneet siinä määrin, että teollisuuden, viranomaisten ja tutkimuskentän yhteisestä aloitteesta Business Finland käynnisti erillisen kvanttikestävien tekniikoiden ja tutkimuksen PQC-hankkeen.

Business Finlandin PQC-hanke ([www.pqc.fi](http://www.pqc.fi)) julkaistiin Digital Trust Finland ohjelman puitteissa 28.5.2020. Tiedotteen mukaan hankkeessa rahoitetaan 3 miljoonan euron tuotekehitysavustuksella kvanttiturvallisten salausten menetelmien kehittämistä, tavoitteena ”kiihdyttää Suomen luottamus- ja liiketoiminnan kasvua turvallisuuden ja luottamuksen ratkaisussa ja -palveluissa sekä ratkaisutoimittajien että hyödyntäjien näkökulmasta”. PQC-hanke voitti Finnish Security Awards 2020 tulevaisuuspalkinnon 17.12.2020.

Hankkeessa on mukana suomalaista ja eurooppalaista salausteollisuutta (Bittium, Insta, SSH, Advenica, Sectra ja Tosibox), suomalaisia tutkimusorganisaatioita (Helsingin yliopisto, Aalto-yliopisto ja VTT) sekä kansallisen turvallisuuden kannalta keskeisiä viranomaisia, mm. Puolustusvoimat. Hankkeen tavoitteet ovat tarkemmin seuraavat:

- suomalaisen osaamisen vahvistaminen kryptografian saralla, erityisesti kvanttiturvallisten menetelmien suhteen
- suomalaisten salaustuotteiden vientimahdollisuuksien parantaminen kansainvälisesti, erityisesti EU:ssa
- teknologisten rajapintojen kehittäminen sekä salausten menetelmien optimoiminen tärkeimmissä sovelluskohteissa
- kansallisten salausten menetelmien arviointikriteerien kehittäminen kvanttiturvallisille toteutuksille
- kansallisen ja kansainvälisen yhteistyön parantaminen salausten menetelmien ja kvanttitekniikoiden tutkijoiden välillä.

### Kirjoittaja:

Tekniikan tohtori Mikko Kiviharju toimii salaustekniikan tutkimusalaohjohtajana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen informaatiotekniikkaosastossa.

# COVID-19-mallinnus

Kun COVID-19-epidemia levisi 2020 alkukeväästä Eurooppaan ja Suomeen, suunnattiin Puolustusvoimien tutkimuslaitoksessa (PVTUTKL) aiemmin kehitetty verkostomallinnuksen (rakenteellisen leviämismallin) tutkimuskyvykkyys tuottamaan mallinnuksen keinoin tietoa epidemian mahdollisesta leviämisestä Puolustusvoimien toimintaympäristöön. Mallinnuksella haluttiin erityisesti selvittää viruksen leviämistapojen ja niiden ennalta ehkäisemisen vaikutuksia joukkoyksikössä, jossa palvelee varusmiehiä. Tavoitteena oli tukea oikea-aikaisesti ja tieteellisen lähestymistavan avulla Puolustusvoimien päätöksentekoa COVID-19:n vastaisia toimia suunniteltaessa. Teknisellä tasolla tavoitteena oli kuvata ja analysoida eri vastatoimenpiteiden vaikuttavuutta. Tutkimustulokset tuotettiin verkostomallinnuksella ja validoitiin vertaamalla SIR-menetelmän tuloksiin.

Tutkimuksellisen kyvykkyuden suuntaamisen nopeutta edesauttoi aktiivinen ja päättäväinen toiminta epidemian alkuvaiheessa yhdistettynä tutkijatasoisen tilanneymmärryksen epidemian mahdollisesta kehittymisestä. Näiden seurauksena tutkimuksen valmistelut aloitettiin jo ennen epidemian leviämistä Eurooppaan. Ylemmän johtoportaan tietoon tutkimuskyvykkyys tuotiin aivan epidemian alkuvaiheessa.

## Verkostomallinnuksen menetelmä

Tutkimuksessa mallinnettiin viruksen leviämistä perus- ja joukkoyksikössä. Mallinnusten tavoitteena oli kuvata ja analysoida eri vastatoimenpiteiden vaikutuksia viruksen leviämisen hidastamiseksi. Tulokset perustuivat varusmiesten välisen vuorovaikutuksen tilastotieteelliseen mallinnukseen. Mallinnusten kaikissa tapauksissa laskettiin viruksen leviämisen tasapainotila, joka edustaisi yksikön kokonaissairastavuutta mallinnuksessa määritetyissä olosuhteissa ja hyvin

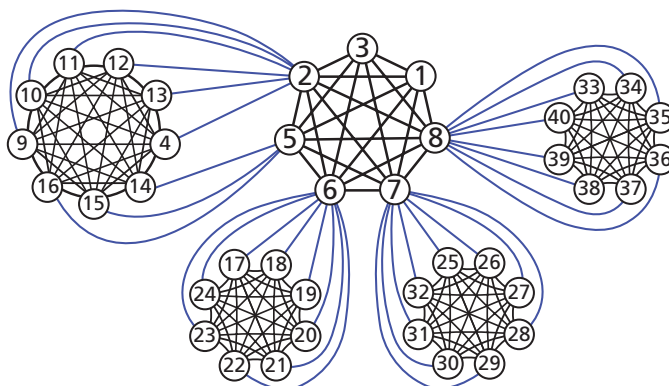
pitkällä aikavälillä. Todellisuudessa vastatoimet yksikössä aloitetaan luonnollisesti välittömästi tartuntoja tai altistumisia todettaessa. Mainittu tasapainotila on *laskennallinen* suure, jonka avulla voidaan *arvioida* eri vastatoimenpiteiden suhteellisia vaikutuksia ja vaikuttavuuksia.

Mallinnuksissa tutkittiin eristämisen, viruksen pääsyn estämisen ja rajaamisen, yhteistilojen rajoittamisen, tupakoon pienentämisen, hajautetun koulutuksen sekä viruksen tarttuvuusluvun  $r_0$  (joukkokohtainen, joka poikkeaa yhteiskunnan tarttuvuusluvusta  $R_0$ ) pienentämisen vaikutuksia yksikön sairastavuuteen.

Perusyksikkö mallinnettiin neljänä sodan ajan jääkärijoukkueena ja joukkoyksikkö neljän perusyksikön kokonaisuutena. Joukkojen välisten kytkentöjen voimakkuuksissa käytettiin seuraavia periaatteita:

1. Saman ryhmän (Squad) miehistön jäsenillä on vahvimmat kytkennät.
2. Aliupseeri- ja upseerivertaisilla on vahva kytkentä.
3. Suoraan komentoketjussa olevilla on kytkentä.
4. Saman joukkueen (Platoon) mutta eri ryhmien miehistön jäsenten välillä on kytkentä.
5. Eri joukkueissa palvelevien miehistön jäsenten välillä on vähäinen kytkentä.
6. Eri perusyksikössä palvelevien varusmiesten välinen kytkentä on vähäinen ja muodostuu yhteisten tilojen (ruokala, varusvarasto, sotilaskoti, jne.) vaikutuksesta.

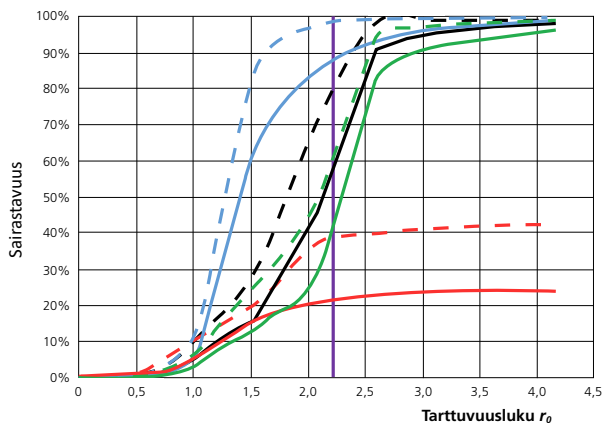
Joukkueen kytkennät on esitetty kuvassa 1. Joukkueen jokainen varusmies kuvataan mallinnuksessa solmuna (1–40). Joukkueen varusmiesjohtajat esitetään solmuina (1–8) ja eri ryhmien varusmiehet solmuina (9–40).



Kuva 1. Kaaviossa esitetään mallinnetun joukkueen varusmiesten (solmut 1–40) väliset kytkennät. Varusmiesjohtajat esitetään solmuina 1–8 ja miehistö solmuina 9–40. Mallinnetussa joukkueessa on yhteensä neljä ryhmää. (Grafiikka: Eemeli Mettovaara)

## Tulokset

Tulokset näyttävät merkittävän muutoksen täysin eristetyn ja heikosti kytketyn joukon sairastavuudessa. Lisäksi tulokset osoittavat eri vastatoimenpiteiden vaikutusten kumuloituvan.



Kuva 2. Sairastuneiden osuus koko yksiköstä eri tapauksissa ja tarttuvuusluvun ( $r_0$ ) suhteen. THL:n (Terveyden ja hyvinvoinnin laitos) arvioima  $r_0 = 2,2$  erottuu kuvassa violetina pystysuorana viivana. Kuvassa yksikön sairastavuus on esitetty eri vastatoimenpiteiden vallitessa yhden (yhtenäinen viiva) ja kahden (katkoviiva) levittäjän tapauksessa. Siniset kuvaajat esittävät tilannetta, jossa vastatoimenpiteitä ei ole toimeenpantu, punaiset joukkueiden (Platoon) täydellistä eristämistä toisistaan ja mustat joukkueiden osittaista eristämistä toisistaan. Vihreät kuvaajat edustavat tilannetta, jossa joukkueet on eristetty toisistaan osittain ja ryhmät kokonaisuudessaan.

Kuvassa 2 esitetään mallinnusten mukaiset kokonaissairastavuudet perusyksikössä eri tarttuvuusluvuilla ( $r_0$ ). Tuloksia tulkittaessa on huomioitava, että aikaskaala on hyvin pitkä eli sairastavuutta ei pidä ajatella absoluuttisina arvoina. Sairastavuuden avulla eri vastatoimenpiteiden suhteellisia vaikutuksia ja niiden yhteisvaikutusta pystytään analysoimaan. Mikäli joukko on hyvin eristetty ja lisäksi tartuntaketjut saadaan pidettyä lyhyinä, kokonaissairastavuus saadaan pidettyä pienenä. Eri vastatoimenpiteet voivat vahvistaa toisiaan merkittävästi erityisesti tarttuvuusluvun ollessa 1,5–2,5.

Heikosti eristettynä (musta käyrä) joukon sairastavuutta saadaan edelleen vähennettyä merkittävästi  $r_0$  pienentämisen kautta (esim. käsien pesu, ”social distancing”, kättelyn välttäminen).

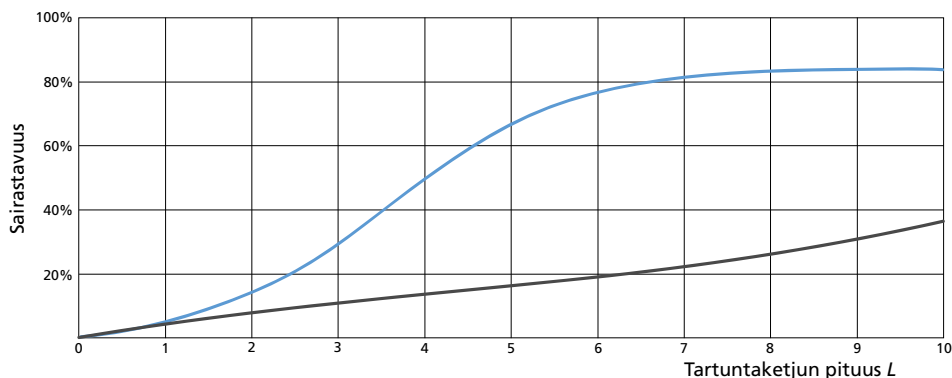
Tartuntaketjun ( $L$ ) lyhentämisellä osoitettiin olevan suuri vaikutus joukon sairastavuuteen (kuva 3). Tartuntaketjujen lyhentämisen kokonaisvaikutusta ei ole aikaisemmin kuvattu verkostomallinnuksella, eli tulokset ovat myös tieteellisesti uusia.

Tulosten yhteenvetona voidaan todeta, että rakenteellisen leviämismallin avulla saatiin arvioitua eri vastatoimenpiteiden vaikutusta yksiköiden sairastavuuteen. Eristämistoimien osoitettiin olevan tehokkaita kaikilla tutkituilla hierarkiataasoilla. Tarkastelluilla viruksen leviämisarvoilla nimenomaan joukkojen täysimittainen eristäminen toisistaan osoittautui toimivaksi menetelmäksi. Myös eri vastatoimien yhteisvaikutuksen osoitettiin olevan merkittävää. Käänteisesti yhteisvaikutuksen merkitys voidaan tulkita siten, että yhdenkin vastatoimenpiteen laiminlyönti voisi vesittää koko COVID-19-epidemian vastaisen taistelun.

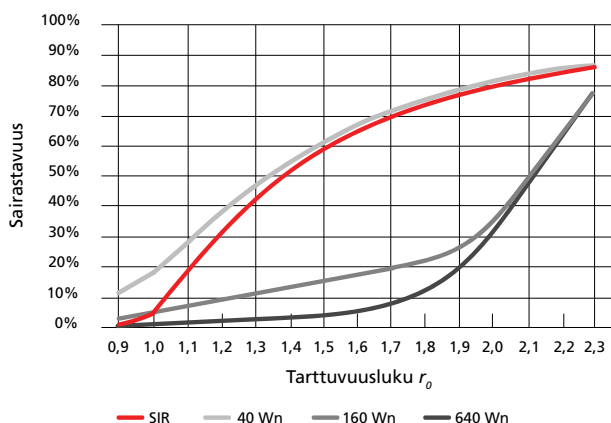
## Validointi SIR-menetelmän avulla

Testin tarkoituksena oli verrata SIR-menetelmän ja rakenteellisen leviämismallin ominaisuuksia ja tuloksia. Mallien tulokset kuvasivat tilanteita, jolloin leviäminen on edennyt tasapainotilaan. Solmujen painoarvoja käyttäen rakenteellisen leviämismallin arvot laskettiin 40 (joukkue), 160 (perusyksikkö) ja 640 (joukkoyksikkö) henkilön verkostoilla.

Ensimmäisessä vertailussa (kuva 4) kuvattiin tilanne, jossa kytkentöjen painoarvot edustavat SIR-mallin tarkinta mahdollista yksityiskohtien astetta. Rakenteellisen leviämismallin kuvan 4 tulokset edustavat lähinnä SIR-mallia olevaa, kuitenkin realistiset hierarkian ominaisuudet säilyttävää kuvausta. Tuloksista nähdään, kuinka verkostomallinnuksella mallinnettu joukkueen sairastavuus on lähellä SIR-menetelmällä laskettua. Vastaavasti 160 ja 640 henkilön verkostolla



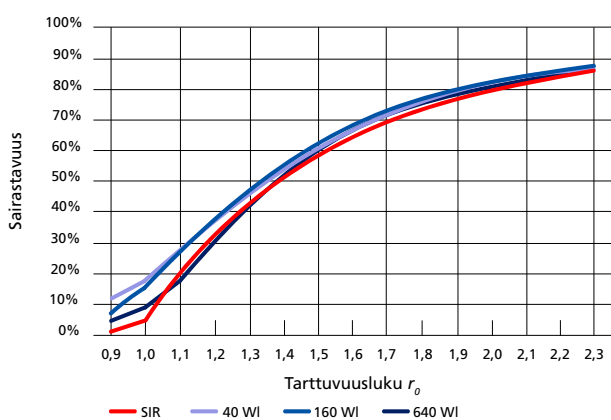
Kuva 3. Tartuntaketjujen ( $L$ , Path Length) vaikutus joukkueen sairastavuuteen, kun ryhmiä ei ole (sininen viiva) tai ne on (harmaa viiva) eristetty toisistaan. Tarttuvuusluvuna ( $r_0$ ) on käytetty arvoa 2,2.



Kuva 4. Tarttuvuusluvun ( $r_0$ ) vaikutus lopputilan sairastuneiden kokonaismäärään SIR-menetelmässä ja rakenteellisessa leviämismallissa käytettäessä kontakteille arvioituja linkkien painoarvoja. Punainen kuvaaja esittää SIR-mallin mukaisesti laskettua sairastavuutta. Vastaavasti muut kuvaajat esittävät rakenteellisen leviämismallin avulla laskettuja sairastavuuksia. Vaaleanharmaa kuvaaja esittää joukkueen, harmaa kuvaaja perusyksikön ja tummanharmaa kuvaaja joukkoyksikön sairastavuutta. Symboli Wn kuvaa linkkien välisiä painoarvoja.

arvot eroavat merkittävästi SIR-menetelmän arvoista, mikä tarkoittaa, että organisaatorakenteella voi olla suuri vaikutus kokonaissairastavuuteen.

Kuvasta 5 huomataan, että rakenteellisen leviämismallin arvot samoja linkkien painoarvoja käyttäen kaikilla kolmella verkostolla ovat lähellä SIR-menetelmän arvoja. Pienillä tarttuvuusluvun arvoilla ( $r_0 < 1$ ) rakenteellinen leviämismalli antaa jonkin verran suurempia sairastuneiden määriä kuin SIR-malli. Tämä tilanne voi syntyä, kun epidemia on saatu lähes tukahdutettua.



Kuva 5. Tarttuvuusluvun ( $r_0$ ) vaikutus lopputilan sairastuneiden kokonaismäärään SIR-menetelmässä ja rakenteellisessa leviämismallissa käytettäessä kaikille kontakteille samoja linkkien painoarvoja. Punainen kuvaaja esittää SIR-mallin mukaisesti laskettua sairastavuutta ja symboli WI kuvaa linkkien välisiä painoarvoja. Vastaavasti muut kuvaajat esittävät laskettuja sairastavuuksia. Lila kuvaaja esittää joukkueen, vaaleansininen perusyksikön ja tummansininen kuvaaja joukkoyksikön sairastavuutta.

## Johtopäätökset

Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen verkostomallinnuksen tutkimuskyvykkyydellä saatiin tieteellisin perustein tuotettua tutkittua tietoa suunnittelun ja päätöksenteon tueksi COVID-19-epidemian vastaisissa toimitissa Puolustusvoimissa.

Rakenteellisen leviämismallin soveltaminen vaikuttaa soveltuvan viruksen leviämisen analysointiin organisaation sisällä. Mallinnuksessa käytetyt organisaatiot olivat joukkue, perusyksikkö ja joukkoyksikkö. Mallinnetun organisaation jäsenten väliset kytkennät, niiden määrä ja voimakkuudet määräävät viruksen leviämispotentiaalin. Eri vastatoimenpiteet, varsinkin eristäminen, voivat pienentää merkittävästi viruksen leviämispotentiaalia. Erityisesti vastatoimenpiteiden yhteisvaikutus osoittautui merkittäväksi, joten vastatoimenpiteet on hyvä ajatella kokonaisuutena.

### Kirjoittajat:

Filosofian lisensiaatti, SHV-vakuutusmatemaatikko Vesa Kuikka toimii erikoistutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen informaatiotekniikkaosastossa johtamisjärjestelmät-tutkimusalalla.

Insinööri Jarkko Karinen toimii tutkimusinsinöörinä Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen informaatiotekniikkaosastossa johtamisjärjestelmät-tutkimusalalla.

Insinöörikapteeni, dosentti, filosofian tohtori Juha-Pekka Nikkarila toimii osastoinsinöörinä Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen informaatiotekniikkaosastossa tietoverkkosodankäynnin tutkimusalalla.

# Hengityksensuojainten puhdistusjärjestelmä – Ketterä kehittäminen ja projekti-toiminta monialaisessa asiantuntijaverkostossa

**Puolustusvoimien tutkimuslaitos toteutti yhteistoiminnassa useiden muiden Puolustusvoimien organisaatioiden sekä useiden asiantuntijaorganisaatioiden, valtion virastojen, ministeriöiden, sairaaloiden ja sairaanhoidopiirien kanssa huhti-kesäkuun 2020 aikana projekti-kokonaisuuden, jossa kehitettiin tarvittavat tekniset ja toiminnalliset järjestelyt FFP2- ja FFP3-hengityksensuojaimien puhdistamiseksi mahdollista uudelleenkäyttöä varten tilanteessa, jossa suojaimia ei olisi muutoin saatavana. Lisäksi rakennettiin tarvittava puhdistuslaitos sekä toteutettiin käytettyjen suojainten kerääminen, kuljettaminen ja puhdistaminen yhdessä kuukaudessa. Dekontaminointilaitosta ja sen toimintaan liittyvää laadunvarmistusta tarkastellaan seuraavissa artikkeleissa. Tämä artikkeli tarkastelee hengityksensuojainten puhdistusjärjestelmää monialaisessa asiantuntijaverkostossa toteutettuna projektina Puolustusvoimien näkökulmasta. Artikkelit perustuu projekteista laadittuihin raportteihin, keskusteluihin keskeisten toimijoiden kanssa sekä kirjoittajan omiin näkemyksiin ja havaintoihin.**

## Tausta ja tavoitteet

Pandemian aikana tarvitaan riittävästi työkykyistä ja hyvin motivoitunutta sosiaalialan ja terveydenhuollon henkilöstöä hoitamaan sairastuneita, minkä vuoksi heidän suojaamisensa tarunnoilta on äärimmäisen tärkeää. COVID-19-pandemia on aiheuttanut maailmanlaajuisia pulaa henkilökohtaisista suojarusteista, kuten hengityksensuojaimista. Vaikka suojainten valmistusta on suunniteltu Suomeen poikkeusolojen valmistuksena, vie tuotannon aloittaminen aikaa.

Hengityksensuojaimien kysynnän voimakas lisääntyminen globaalisti johti nopeasti tilanteeseen, jossa yritykset eivät kyenneet enää toimittamaan tuotteitaan markkinoille oikea-aikaisesti. Samalla paljastui, että globaalit toimitusketjut ovat erittäin alttiita häiriöille.

Jo maaliskuun lopussa FFP2- ja FFP3-hengityksensuojaimien loppumisen uhka lyhyen ajan kuluessa oli todellinen. Eräs keino varmistaa suojarusteiden riittävyyttä on käyttää niitä puhdistettuna uudelleen. Kertakäyttöisten suojarusteiden osalta tämä edellyttää säädösmuutoksia.

Päasesikunta käski Puolustusvoimien tutkimuslaitosta osallistumaan hengityksensuojaimien ja suojarusteiden uusiokäyt-

töön ja uusiotuotantoon liittyvään projektiin. Samalla annettiin tehtävä Puolustusvoimien logistiikkalaitokselle vastata hankkeen vaatimasta logistisesta tuesta sekä Puolustusvoimien tutkimuslaitokselle tilata kehittämisprojekti ja ottaa se johtovastuulleen. Tämä tapahtui noin kaksi viikkoa hankeidean syntymisestä ja noin viikko hankesuunnitelman valmistumisesta.

Kehittämisprojektin rinnalla käynnistettiin suojavälineiden puhdistamisen tuotantokyvyn rakentaminen ja testituotanto. Tässä vaiheessa hyödynnettiin kehittämisprojektin laajaa asiantuntija- ja tukiverkostoa. Tuotantolaitos oli rakennettu ja ensimmäiset koeajot toteutettiin jo 10 päivää projektin toimeksiannosta. Kolmessa viikossa saatiin ensimmäiset hengityksensuojaimet puhdistettua ja noin kuukauden kuluttua aloittamisesta saatiin osoitettua laboratoriotestein menetelmän ja laitoksen toimivuus. Seuraavassa vaiheessa kesäkuun aikana toteutettiin menetelmän ja prosessin toimivuuden osoittavia tutkimuksia, puhdistettiin kaikki kerätyt hengityksensuojaimet, tuotettiin edellytykset laitoksen operoinnin siirtämiseksi Millog Oy:n vastuulle sekä valmisteltiin ensimmäisen vaiheen perusteella määritetyt jatkotoimenpiteet puhdistuskyvyn integroimiseksi osaksi kansallista huoltovarmuutta.

## Kokonaisprosessi

Lähtötilanteessa Puolustusvoimien tutkimuslaitoksessa oli tutkittu pernaruttoitöitä jäljittelevien *Bacillus atrophaeus* (B.a.) -itiöiden VHP-dekontaminointia (puhdistaminen höyrystetyllä vetyperoksidilla) laboratoriomittakaavassa yhteistyössä Teknologian tutkimuskeskus VTT:n kanssa. Jo tällöin esitettiin, että VHP-tutkimuksissa syntyneet tulokset ja innovaatiot pyritään hyödyntämään kehitettäessä yhteiskunnan varautumista kemiallisiin ja biologisiin uhkiin. Vaikka tieteellinen pohja mikrobien tuhoamisesta oli olemassa, jouduttiin suuren mittakaavan dekontaminaatiolaitos kehittämään ns. puhtaalta pöydältä Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen ja VTT:n yhteistyönä.

Muun muassa suojainten käytöstä, sairaaloiden ohjeistuksista ja käyttöä ohjaavasta säädöspohjasta sekä tarvittavista laadunvarmennusmenetelmistä ei Puolustusvoimilla ollut tietoa eikä osaamista. Puolustusvoimien sisäisten ja ulkoisten toimijoiden muodostaman sidosryhmän (eng. stakeholder) tunnistaminen, roolittaminen sekä ohjaus ja koordinaatio olivat keskeisiä toimia Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen vastuulle käsketyin kokonaisprosessin toiminnan varmistamiseksi.

## Prosessi FFP2- ja FFP3-hengityksensuojainten dekontaminaation toteuttamiseksi Suomessa

### Kerääminen ja johtamisjärjestelmä

Ohje ja prosessit kertakäyttöisten hengityksensuojainten keräämiseen ja sen johtamiseen sairaaloissa.



sairaloissa tulee osata toimia hengityksensuojainten keräyksen aluetta



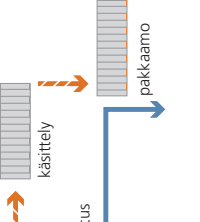
### Logistiikka 1/2

Ohjeistus ja prosessit logistiikan toteuttamiseksi HEDE-laitoksen suuntaan kriisitilanteessa.



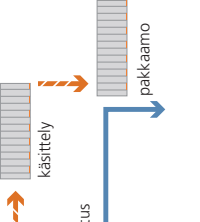
### Logistiikka 2/2

Ohjeistus ja prosessit puhdistettujen suojainten logistiikan toteuttamiseksi HEDE-laitoksesta eteenpäin.



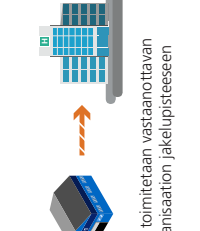
### Hengityksensuojainten dekontaminaatio HEDE

Ohjeistus ja prosessit kuljetusten vastaanottoon sekä hengityksensuojainten käsittelyyn, pakkaamiseen ja kuljetukseen eteenpäin varastoihin.



### Uudelleenkäyttö ja johtamisjärjestelmä

Ohje, prosessit ja johtaminen kertakäyttöisten hengityksensuojainten uudelleenkäyttöön liittyen.



...ja toimitetaan vastaanotavan organisaation jakelupisteeseen

koulutus, opastus ja harjoittelu katsotaan oleennaiseksi osaksi onnistunutta toimintaa

käsitellyt suojaimet kuljetetaan...

Projektien aikana kehitetty FFP2- ja FFP3-hengityksen-suojainten uudelleenkäytön mahdollistava kokonaisprosessi voidaan jakaa kuuteen vaiheeseen: suojainten kerääminen, kuljettaminen dekontaminointilaitokselle, dekontaminointi, kuljettaminen ja jakelu uudelleen käytettäväksi sekä uudelleenkäyttö.

### Sidosryhmien tunnistaminen

Puolustusvoimien lisäksi projektiryhmään kuului laaja joukko asiantuntijoita Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:ltä, Terveystieteiden tutkimuskeskus Työterveyslaitokselta, Lääkealan turvallisuus- ja kehittämiskeskus Fimeasta, LAB-ammattikorkeakoulusta ja Lappeenrannan-Lahden teknillisestä yliopistosta LUTista. Nämä toimijat osallistuvat hankesuunnitelman laatimiseen ja muodostivat projektin ohjausryhmän ytimen. Lisäksi projektin tukena toimi myöhemmänä kuvattuja muita työryhmiä.

Perusteellisessa projektisuunnittelussa oli tunnistettu puolustushallinnon ulkoiset sidosryhmät. Kokonaisprojektin johtovuudeksi sekä dekontaminointilaitoksen rakentajaksi ja operaattoriksi ryhtyminen kasvatti tarvittavien sidosryhmien määrää merkittävästi. Alkuperäisen tutkimuksellisen roolin lisäksi tarvittiin Puolustusvoimien ja puolustushallinnon sisäisiä sidosryhmiä ja asiantuntijoita muun muassa kuljetuksiin, materiaalihallintoon, hankintatoimintaan, talouteen, henkilöstöhallintoon, tuotantotoiminnan kehittämiseen, laitoksen rakentamiseen, laadunvarmennukseen, turvallisuustoimintaan, koulutukseen sekä viestintään.

### Sidosryhmien roolit ja työelimet Projektin johtaminen ja koordinointi

PVTUTKL vastasi kokonaisuuden johtamisesta ja Puolustusvoimien eri organisaatioiden liittämistä kokonaisuuteen toimijoina, mahdollistajina tai päätöksentekijöinä. Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT yhdessä LAB-ammattikorkeakoulun kanssa vastasi kokonaiskoordinoinnista, erityisesti puolustushallinnon ulkopuolisten toimijoiden osalta ja mahdollisti kokonaisuuden johtamisen ja ohjauksen. Jatkuvan koordinoinnin lisäksi projektilla oli noin viikoittain kokoontuva ohjausryhmä. Ohjausryhmän puheenjohtajana toimi LUTin edustaja ja vakiojäseninä olivat projektiryhmän edustajat. Muita asiantuntijoita kutsuttiin joustavasti tarpeen mukaan.

Kokonaisuuden johtaminen ja koordinointi sisälsi lukuisia osa-alueita, kuten hankesuunnitelman laatimisen ja neuvottelut rahoituksesta, hengityksensuojainten puhdistamisen testauksen laboratorioissa, rahoituksen hankinnan ja hallinnan, dekontaminointilaitoksen suunnittelun ja rakentamisen, tekniset koeajot, käyttöhenkilöstön koulutuksen, toiminnan turvallisuuden varmistamisen, toiminnan kehittämistä tukevien asiantuntijaryhmien perustamisen

ja ohjauksen, suojaimien keräyksen organisoimisen sairaaloista, palautteen keräämisen ja eri prosessien optimoimisen, hankkeen esittämisen sosiaali- ja terveysministeriölle jatkotoimia varten, raportoinnin ja dokumentoinnin järjestämisen sekä tietotaidon ja toimintavalmiuden jatkuvuuden turvaamisen.

### Sairaalayhteistyö

LAB-ammattikorkeakoulu koordinoi sairaaloiden kanssa käytettyjen hengityksensuojainten keräämisen turvallisesti. Keräämistä varten perustettiin työryhmä selvittämään tehohoitoa antavien sairaaloiden resurssit ja prosessit, joiden perusteella toteutettiin kahdessa vaiheessa hengityksensuojaimien (FFP2 ja FFP3) (ja myöhemmin suojatakien) keräämisen, säilyttämisen ja puhdistuslaitokseen kuljettamisen järjestelyt. Aluksi toiminta käynnistettiin kolmessa pilottisairaaloissa ja pilottivaiheen jälkeen se laajennettiin lähes kaikkiin muihin tehohoitoa antaviin sairaaloihin.

Suojaimien keräämisen toteutti ryhmä, jonka koordinaation ja valtaosan käytännön toiminnasta toteutti LAB-ammattikorkeakoulu. Sitä tukivat THL:n sekä PVTUTKL:n ja VTT:n asiantuntijat. Työryhmään kuuluivat sairaanhoito- sekä sosiaali- ja terveystieteiden infektio- ja hygieniatieteen, välinehuollon vastaavat. Pilottisairaaloissa kartoitettiin hengityksensuojainten käytön ja välinehuollon prosessien nykytilaa, sovittiin toimijat ja kartoitettiin mahdollista tilannetta, jossa puhdistettuja hengityksensuojaimia palautettaisiin sairaaloihin.

Hengityksensuojaimien kerääminen aloitettiin nopealla tahdilla pilottisairaaloissa. Kerääminen laajennettiin nopeasti yhdeksään, eli lähes kaikkiin, sairaanhoito- tai sosiaali- ja terveystieteiden sairaaloihin. Hengityksensuojaimien keräämisestä tehtiin sairaaloiden henkilökunnalle ohjeet, jotka sisälsivät suojaimien keräämisen tehohoitoyksiköissä, suojaimien siirtämisen tehohoitoyksiköistä sairaalan keräyspisteeseen, varastoinnin sairaaloissa ja kuljetuksen sairaaloista puhdistettavaksi.

### Kuljetuslogistiikka

PVTUTKL laati suojaimien säilytykseen ja kuljetukseen liittyvät ohjeet huomioiden tartuntavaarallisten jätteiden käsittelyn määräykset ja sairaaloiden omat toimintaprosessit. Ohjeita täsmennettiin prosessin aikana sairaaloiden palautteen mukaan. Yhteistyön sujuvoittamiseksi perustettiin Keräyskäytänteiden prosessiryhmä, jonka puheenjohtajana toimi LAB-ammattikorkeakoulun edustaja. Ryhmän kokouksiin kutsuttiin sairaaloiden vastuuhenkilöt, kuten hygieniahoidajat, välinehuollon esimiehet ja logistiikan asiantuntija. Kuljetukset toteutti Puolustusvoimien logistiikkalaitoksen ohjauksessa heidän sopimus-kumppaninsa.



## Dekontaminointilinjaston rakentaminen ja operointi

Dekontaminointilinjaston suunnittelu, työ- sekä turvallisuusohjeistuksen laadinta sekä linjaston rakentaminen toteutettiin PVTUTKL:n johtamana ja pääosin toteuttamana. Tähän vaiheeseen liittyi kartoitus Puolustusvoimien sisäisten ja ulkopuolisten organisaatioiden tuen tarpeesta toiminnan pilotoinnille sekä tuotantokäytölle. Käytännössä kaikki Puolustusvoimien ulkoiset sidosryhmät oli jo tunnistettu hankesuunnitelmassa ja sitoutettu projektiin. Puolustusvoimien sidosryhmäverkosto muodostettiin linjaston rakentamisen rinnalla perustuen pääesikunnan toimeksiantoon.

Millog Oy, PVTUTKL ja alkuvaiheessa Porin prikaatin henkilökunta ja varusmiehet operoivat puhdistuslinjastoa PVTUTKL:n johtamana. Linjaston operointi on varsin työvoimaintensiivistä ja edellyttää noin 20 henkilön työskentelyä jokaisessa työvuorossa. Prosessinohjaus sekä päivittäisen toiminnan suunnittelu tehtiin yhdessä PVTUTKL:n, VTT:n, LUTin ja Millog Oy:n kesken. VTT vastasi mikrobiologisista mittauksista ja laadunvarmistuksesta sekä osallistui laajasti tuotantotoiminnan tukemiseen asiantuntijana sekä tuotantotoiminnan ohjaukseen.

## Asiantuntijaryhmät

Puhdistettujen kertakäyttöisten hengityksensuojaimien uudelleenkäyttö edellyttää hallinnollisia päätöksiä. Päätösten mahdollistamiseksi projektin ensimmäisen vaiheen tuloksia esiteltiin ulkoisille asiantuntijaryhmille. Riippumattomien asiantuntijaryhmien käyttäminen voidaan nähdä eräänlaisena auditointina, jolla saadaan paras mahdollinen arvio saavutettujen tulosten tieteellisestä luotettavuudesta ja riittävydestä sekä siitä, että tulokset täyttävät hengityksensuojaimille määritetyt laatuvaatimukset. Asiantuntijaryhmät arvioivat puhdistettujen suojainten käyttöönottoon liittyvää lainsäädäntöä (STM, Työterveyslaitos, Fimea, THL, VTT, PVTUTKL sekä laki- ja muista asiantuntijoista koostuva säädösryhmä) sekä puhdistettujen suojainten puhtautta ja turvallisuutta (THL:n ja HY:n virologeista koostuva virusryhmä). Ensimmäisen projektin lopuksi monialainen maan johtavista asiantuntijoista koostuva ulkopuolinen asiantuntijaryhmä arvioi kokonaisuutta ja antoi projektista lausunnon sekä suositukset jatkotutkimuksesta ja -toimenpiteistä.

## Tunnistettuja menestystekijöitä ja haasteita

Seuraavassa tarkastellaan toteutettujen projektien menestystekijöitä ja haasteita, jotka ovat projektin ydinhenkilöistä koostuvan työryhmän tunnistamia sekä täydennetty kirjoittajan omilla näkemyksillä.

- + **Tarvittavien sidosryhmien tunnistaminen ja osallistaminen:** Projektin nopea suunnittelu ja toimeenpano onnistuu vain, mikäli jo suunnitteluvaiheessa saadaan oikeat asiantuntijat sekä projektin toteutukseen osallistuvat työskentelemään yhdessä. Muussa tapauksessa projektisuunnitelma saattaa jäädä ylimalkaiseksi tai jopa sisältää virheitä, jolloin johdon sitoutuminen, tehtävän toimeksianto ja resursointi sekä toimeenpano vaikeutuvat ja jatkosuunnitteluun tarvitaan enemmän aikaa. Toteutuissa suojavälineiden puhdistamiseen liittyvissä projekteissa voidaan jälkikäteen todeta, että lähes kaikki oleelliset toimijat saatiin mukaan jo projektin suunnitteluvaiheessa eikä toisaalta mikään taho osoittautunut tarpeettomaksi projektin suunnittelussa ja toteutuksessa.
- + **Johdon sitoutuminen:** Erityisesti julkishallinnossa, jossa eri viranomaisten tai vastaavien toimivalta on tarkoin määritetty ja tyypillisesti keskitetty organisaation ylimmille tasoille, on johdon sitoutuminen täysin välttämätöntä toiminnan mahdollistamiseksi. Projektin näkökulmasta tässä on keskeistä riittävän ja oikean tiedon sekä suositusten tuottaminen johdon tueksi. Tässä tapauksessa toiminnan käynnisti Puolustusvoimien ylin johto ja myöhemmässä vaiheessa STM esitti tukipyynnön.
- + **Toimeksianto ja resurssit:** Toimivaltaisen tahon antama selkeä toimeksianto on edellytys aiotun toiminnan tarkemmaksi suunnittelemiseksi. Toimeksiannon tulee sisältää myös tarvittavat resurssit tai perusteet niiden hankkimiseksi. Tässä tapauksessa onnistunut projektisuunnittelu ja sen perusteella tuotettu suunnitelma resurssitarvearvioineen muodostivat hyvän perusteen toimeksiannon nopealle valmistelulle. Nopea toimeksianto mahdollisti tarkempien resurssivarausten suunnittelun käynnistämisen sekä tarvittavien hankintojen valmistelun nopean käynnistämisen.
- + **Toiminnan vapaus:** Mikäli toiminta tulee saada käyntiin nopeasti, tulee toimeksiannon ja johtamistoiminnan mahdollistaa riittävä toiminnan vapaus jokaiselle johtamistasolle. Muussa tapauksessa toiminnan suunnitteluun ennen sen aloittamista on käytettävä enemmän aikaa, on varauduttava toiminnan kärsimiseen tarpeettomien rajoitteiden vuoksi tai on varauduttava toiminnan keskeytymiseen tai hidastumiseen uusia päätöksiä odottaessa. Tässä tapauksessa hyvä etukäteissuunnittelu, johdon tilanneymmärrys ja onnistunut toimeksianto tuottivat tarkoituksenmukaisen toiminnan vapauden.
- + **Selkeät johtosuhteet:** Julkishallinnossa johtosuhteet on tyypillisesti selkeästi määritetty lainsäädännössä ja alemman tason normeissa. Käytännössä nämä johto-

suhteet määrittävät myös toimivallan erilaisissa asioissa. Projektin näkökulmasta on keskeistä, että projektilla tai tarkemmin projektin johtajalla tai hänen suoranaisella esimiehellään on toimeksiannossa määritetty tai asemaan perustuva riittävä toimivalta. Tässä tapauksessa näin oli, ja sen perusteella projektit kykenivät muodostamaan vaadittavan toiminnan ja sen edellyttämän asiantunteumuksen perusteella optimoidun organisoinnin ja johtosuhteet. Projektien johtamisen näkökulmasta keskeistä oli kyetä erottamaan ne päätökset, jotka voitiin tehdä projektin johtosuhteiden mukaisesti, niistä päätöksistä, jotka piti viedä linjaorganisaation ratkaistaviksi.

- + **Viestinnän suunnittelu ja vastuutus:** Epäonnistunut viestintä voi haitata projektia ja sitä toteuttavaa organisaatiota monin tavoin. Esimerkkinä tästä voisi olla mainehaitta tai toiminnanvapauden ja resurssien kapenemista aiheuttava virheellinen tai ristiriitainen tieto projektin tilanteesta. Tässä tapauksessa päädyttiin toimivaksi osoittautuneeseen ratkaisuun, jossa kaikki viestintävastuu keskitettiin projekteista vastaavalle Puolustusvoimille ja noudatettiin linjaorganisaation johtosuhteisiin perustuvia viestintävastuita tietyin tarkennuksin. Projektin sisällä viestittiin kunkin osakokonaisuudesta vastaavan harkinnan mukaan välittömästi oman vastuualueen asiaankuuluville tahoille. Suojavarusteiden riittävyyden ollessa heikko ja projektin saadessa valtakunnallista näkyvyyttä oli aivan keskeistä määrittää puolustushallinnon ja STM:n yhteistoiminnassa ydinviestit, kuten se, että puhdistettujen hengityksen-suojainten käyttö on äärimmäinen vaihtoehto ja edellyttää säädösmuutoksia.
- + **Jatkuva seuranta ja tilannekuva, kokonaisuuden ymmärrys:** Toiminnan jatkuva seuranta kullakin toiminnan tasolla on perusta johtamisen edellyttämälle tilannekuvalle. Tässä tapauksessa muodollinen raportointi oli karsittu aivan minimiin henkilöresurssin kohdentamiseksi varsinaiseen tekemiseen. Muutamien muodollisten raporttien lisäksi seuranta toteutettiin keskustelemalla eri toimijoiden kanssa sekä jakamalla tilannetietoa säännöllisissä, mutta erittäin tiiviissä, eri ryhmien kokouksissa. Keskeistä on, että jokaisella johtamistasolla on riittävä ymmärrys vastuullaan olevasta ihmisten, tekniikan, toimintamallien ja informaation muodostamasta kokonaisuudesta mukaan lukien kyseisen kokonaisuuden liitynnät varsinaisen projektin ja oman organisaation ulkopuolelle. Siihen syntyy perusteet onnistuneessa sidosryhmien tunnistamisessa, ja ne on kuvattu projektisuunnitelmassa.
- + **Motivoitunut ja sitoutunut henkilöstö:** Motivoitunut ja sitoutunut henkilöstö on kaiken perusta. Erityisesti tässä tarkastellun kaltaisessa tilanteessa, jossa joudutaan jatkuvasti kehittämään uutta ja tuomaan innovaatioita jatkuvasti käytäntöön, on jokaisen osallistujan panos merkittävä uusien menetelmien ja toimintamallien löy-

tämiseksi. Kun tehdään jotakin täysin uutta, tulee myös yllätyksiä, jotka vaikeuttavat ennakkosuunnittelua. Henkilöstön motivaatio ja sitoutuneisuus mahdollistavat joustavuuden muuttuvien vaateiden edessä. Työn merkitys oli ilmiselvää kaikille osallistujille, ja asioiden hoitaminen niin projektiorganisaatiossa kuin linjaorganisaatiossakin toimi eräänlaisella "talvisodan hengellä".

- +/- **Hankintaprosessi ja rahoitusmekanismit:** Julkishallinnon hankintaprosessit perustuvat lainsäädäntöön ja ovat tyypillisesti hyvin määriteltyjä toimintatapoineen ja ratkaisuoikeuksineen. Sama pätee myös rahoitusmekanismeihin. Hankintamenettelyt antavat mahdollisuuksia prosessin nopeuttamiseen esimerkiksi yllättävään kiireeseen perustuen. Kriittisiin toimintoihin on mahdollista luoda kumppanuus- tai puitejärjestelyjä, joilla hankinnat saadaan ketterästi toteutettua. Mikäli olemassa olevaa sopimusrakennetta ei ole tai ei ole muuta perustetta toteuttaa hankintoja ilman kilpailutusta, on varauduttava jopa kuukausien viiveisiin tarpeen ilmenemisestä tilaukseen. Myös tiukassa budjettitaloudessa elävän organisaation yllättävät rahoitustarpeet aiheuttavat hallinnollista työtä ja viiveitä.
- **Hallinnon siiloituminen ja politiikka:** Erityisesti julkishallinnon toiminta perustuu vahvasti linjaorganisaatiorakenteeseen. Tämä saattaa aiheuttaa sen, että useiden organisaatioiden toteuttaman projektin toiminnan edellyttämiä päätöksiä tai resursseja joudutaan hakemaan varsin korkealta johtamisen tasolta. Mikäli projektisuunnittelu on onnistunut ja toimeksiannossa on annettu projektille riittävä toimivalta ja resurssit, tämä ei muodostu ongelmaksi. Suoraan projektin omistajan organisaatioon kuuluville voidaan tarvittava toimivalta määrittää toimeksiannossa ja delegoida projektin sisällä, kuten tässä tapauksessa onnistuneesti tehtiinkin. Projektiin osallistui useiden hallinnonalojen edustajia joko projektiryhmän jäsenenä tai perusteita ja vaatimuksia määrittävänä sidosryhmän edustajana ja asiantuntijana. Haasteeksi osoittautui muutamissa kohdin yksittäisten projektiorganisaation ulkopuolisten julkishallinnon edustajien virkaan tai tehtävään liittyvä rajoitettu toimivalta ja vastuu, mikä rajaa mahdollisuutta ottaa kantaa asioihin. Tällöin ratkaisevaksi jää tällaisen toimijan organisaation johdon tuki tai sen puute sekä organisaation yhteistoiminta muiden organisaatioiden kanssa. Vaikka projektista vastaavan organisaation johto antaa laajan toimintavapauden projektia toteuttavalle organisaatiolle ja projektipäällikölle, ei hänen toimivaltansa kuitenkaan ulotu organisaation ulkopuolisiin, esimerkiksi toisten hallinnonalojen, organisaatioihin tai toimijoihin. Tällöin on vaara, että nämä toimijat jäävät yksin ja ilman tehtävän edellyttämää toimivaltaa.

Kun asiat joudutaan viemään organisaatioiden, mukaan lukien ministeriöt, johtotasolle, asioiden käsittely



# Hengityksensuojainten dekontaminaatio (HEDE) Puolustusvoimissa

Maalis-huhtikuussa 2020 uutisointi suomalaisessa mediassa antoi ymmärtää hengityksensuojainten mahdollisesti loppuvan Suomesta kokonaan. Erityisesti kysymys oli FFP2- ja FFP3-luokan suojaamista, joita käytettiin sairaaloiden tehohoitoyksiköissä. Suojaimia ei siinä tautitilanteessa edes saisi mistään hankittua. Huoli asiantilasta sai pohtimaan vaihtoehtoisia ratkaisuja: voisiko kertakäyttöisiä hengityksensuojaimia puhdistaa uudelleenkäyttöä varten. Kun puhdistaminen olisi teoriassa hyvinkin mahdollista, perustettiin monialainen moniviranomaisyhteistyöprojekti hengityksensuojainten dekontaminaation (HEDE) toteuttamiseksi. Kyseiset suojaimet ovat kertakäyttöisiä, eikä niitä Suomen lain mukaan saa uudelleen käyttää. Puhdistaminen katsottiin siitä huolimatta tarpeelliseksi, kun vastausta kysymykseen – entä jos suojaimet loppuvat – ei ollut.

## Projektien ideointi

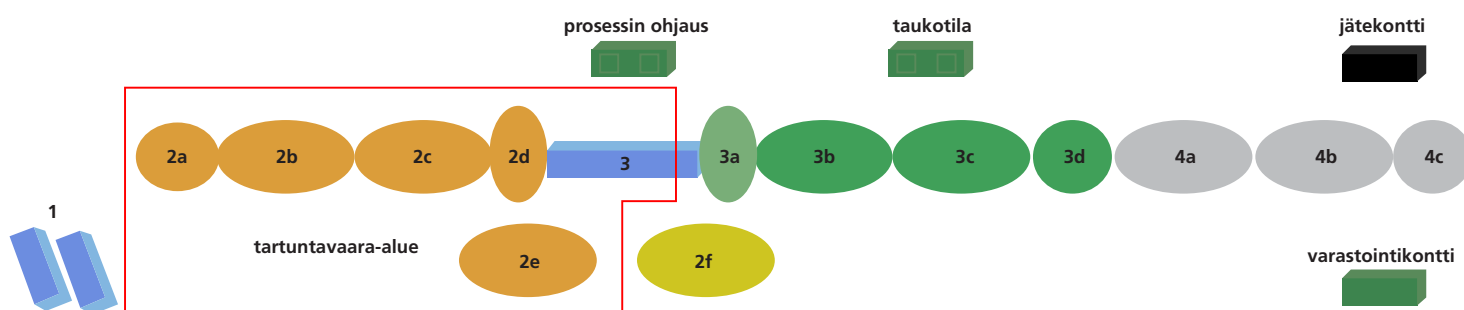
Akatemiatutkija Katri Laatikainen soitti 22.3.2020 professori Markku Mesilaaksolle tiedustellakseen vetyperoksidihöyryn soveltuvuudesta sairaalan tehohoidossa käytettyjen hengityksensuojainten dekontaminaatioon. Laatikainen oli toista vuotta aiemmin kuullut Helsingin Messukeskuksessa Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen (PVTUTKL) erikoistutkija Tarmo Humpin esitelmän vetyperoksidihöyryyn (VHP) perustuvista puhdistuskokeista. Kokeita oli tehty yhteistyössä Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:n kanssa Puolustusvoimien teknologiaohjelma 2013:ssa. Työ oli tuottanut uutta tietoa ja höyrytysmenetelmän, josta Humpi oli saanut Pääesikunnan suunnitteluosaston myöntämän keksintöpalkkion. VTT:n Ilpo Kulmala ja Kimmo Heinonen sekä Tarmo Humpi patentoivat menetelmänsä. Mesilaakso kertoi tuossa puhelinkeskustelussa Laatikaiselle, että puhdis-

taminen olisi mahdollista, ja Laatikainen soittikin heti asiaa Humpille ja Kulmalalle sekä sen jälkeen lukuisille muille. Alkoi projektisuunnitelman laadinta Laatikaisen toimiessa koordinaattorina. Projektia tarjottiin eri ministeriöille rahoitettavaksi, mutta niillä ei silloin ollut siihen valmiutta, joten Puolustusvoimain komentaja käski ensimmäisen projektin toteutuksen 6.4.2020. Puolustusvoimat rahoitti hankkeen.

## Projektit

Puolustusvoimat toteutti ja loi 6.4.–8.5.2020 projektissa ”Suunnitelma hengityksensuojainten puhdistustuotannon käynnistämiseksi Suomessa uudelleenkäyttöä varten sekä uusien välineiden tuotantoon” yhdessä laajan asiantuntijaverkoston kanssa kertakäyttöisten FFP2- ja FFP3-hengityksensuojaimien puhdistamistoiminnan. Projektissa kehitettiin suomalaiseen osaamiseen perustuva hengityksensuojaimien uudelleenkäytön mahdollistava puhdistamisen infrastruktuuri ja prosessit tilanteeseen, jossa käyttämättömiä hengityksensuojaimia ei ole saatavissa. Lisäksi varmistettiin puhdistusmenetelmäksi valitun vetyperoksidihöyrytyksen soveltuvuus ja höyrytykseen liittyvät parametrit FFP2- ja FFP3-hengityksensuojaimien puhdistamisessa ja kehitettiin suuren mittakaavan FFP2- ja FFP3-hengityksensuojaimien puhdistuslaitos varmistamaan sen toiminnan tehokkuus, laatu ja turvallisuus. Projektin aikana luotiin myös kertakäyttöisten suojaimien puhdistamisen toimintaverkosto.

Puolustusministeriö (PLM) pyysi 29.5.2020 Puolustusvoimia jatkamaan suojavälineiden puhdistustoiminnan kokeilua 1.6.–26.6.2020 projektissa ”Kertakäyttöisten FFP2- ja FFP3-hengityksensuojaimien puhdistuskokeilun jatkaminen puhdistusprojektissa”. Tässä artikkelissa kerrotaan hen-



Kuva 1. Kuvassa on yksiköiden numerointi: hengityksensuojainten vastaanotto kylmäkontteihin (1), suojaainten asettelu lankakoreihin ja rullakoihin (2a–2c), pukeutumistilat (2e–2f), VHP-kontti ja höyrytyskammio (3), jälkikäsitely (3b–3d), pakkaus (4a–4b) ja välivarasto (4c). Tartuntavaarallinen alue on punaisen viivatun alueen sisällä. Yksiköt olivat ilmakaarellisia 5x6 m:n ja 5x10 m:n sairaalateltoja, joihin hankittiin HEPA-suodattimet ja lämmittimet. Prosessin ohjaus- ja taukotilat olivat laajennettavia Morehouse-kontteja. Lämmitetty kontti toimi puhdistettujen suojaainten varastona.



Kuva 2. Ilmakuva 100 m pitkstä HEDE-linjastosta, joka rakennettiin PVTUTKL:n parkkipaikalle Ylöjärvellä. (Kuva: Puolustusvoimat / Samuli Haapala)

gityksensuojainten dekontaminaation menetelmästä ja projektien toteutuksesta.

### Tavoitteet

Projektin ensimmäisen vaiheen tarkoituksena oli kehittää suomalaiseseen osaamiseen perustuva hengityksensuojaimien uudelleenkäytön mahdollistava puhdistamisen infrastruktuuri ja prosessit. Tavoitteena oli myös varmistaa puhdistusmenetelmäksi valitun vetyperoksidihöyrytyksen soveltuvuus ja höyrytykseen liittyvät parametrit FFP2- ja FFP3-hengityksensuojaimien puhdistamisessa. Projektissa tuli kehittää ja käynnistää suuren mittakaavan FFP2- ja FFP3-hengityksensuojaimien puhdistuslaitos ja varmistaa sen toiminnan tehokkuus, laatu ja turvallisuus. Tavoitteena oli myös luoda kertakäyttöisten suojaimeiden puhdistamisen toimintaverkosto. Ensimmäisessä projektissa tehtiin suunnitelma myös hengityksensuojainten uustuotannon käynnistämiseksi Suomessa.

### Konsortio

Projekteihin osallistui Puolustusvoimista Puolustusvoimien tutkimuslaitos (PVTUTKL), Puolustusvoimien logistiikkalaitos (PVLOGL) ja Porin Prikaati (PORPR). Ulkopuolisia

projekteissa oli seuraavilta tahoilta: Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto (LUT), LAB-ammattikorkeakoulu (LAB), Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy (VTT), Terveystieteiden tutkimuskeskus (THL), Työterveyslaitos, Fimea ja sairaalapiirit. Ensimmäisen projektin loppuvaiheessa ja toisessa projektissa Millog Oy toimi operaattorina. Projekteihin osallistui reilusti yli sata henkilöä.

### Suunnittelu ja rakentaminen

Tieto suojaimeiden mahdollisesta loppumisesta Suomessa ajoi hanketta eteenpäin kiireellisessä aikataulussa. Tällaista ei Suomessa ollut ennen tehty teollisessa mittakaavassa. Laitos piti suunnitella ja rakentaa itse. Oli selvää, että siihen ei saataisi asian vaatimalla aikataululla juuri minkäänlaista automaatiota. Menetelmä olisi vetyperoksidihöyrytyksellä. Nopeasti alkoi hahmottua konttilinjasto, joka kuitenkin osoittautui liian hitaaksi toteuttaa, eikä budjetti sitä sallisi. Myös sairaalatelat olivat alussa vaihtoehto linjastolle. Toteutusta alettiin kuitenkin suunnitella lääkintätaltoista ajatuksella kytkeä niitä toisiinsa. Vetyperoksidihöyrytyksellä tapahtuisi jonkinlaisessa kammiossa, jota varten hankittiin käytetty 12 metrin kylmäkontti. Siihen toteutettiin 47 kuutiometrin tilavuinen VHP-kammio. Puolustusvoimien logistiikkalaitoksen (PVLOGL) asiantuntijoiden kuultua, että lää-



kintätelttoja jouduttaisiin vähän rikkomaan, jotta ne saataisiin tiiviisti toisiinsa, he ehdottivat linjaston rakentamista sairaalateltoista. Ehdotus vaikutti toimivalta ja kokonaistoteutuksesta tuli kuvien 1-2 mukainen. PVLOGL toteutti suunnitellun hengityksensuojainten dekontaminaatiolaitoksen pystyttämällä linjaston sairaalateltoista dekontaminaatiokammion ympärille.

## Tuotanto

Projekti perustui PVTUTKL:n ja VTT:n yhteistyönä toteutettuihin biologisen kontaminaation puhdistamisesta tehtyihin tutkimuksiin. Tutkimusten kohteena oli ollut vetyperoksidihöyrytys. VTT oli tehnyt laboratoriotestauksia vetyperoksidihöyrytyksellä toteutettavan dekontaminaation parametrien määrittämiseksi. Projektia varten PVTUTKL hankki ja yhteistyössä VTT:n kanssa suunnitteli ja rakensi vetyperoksidihöyrytykseen perustuvan suuren mittakaavan hengityksensuojaimien dekontaminaatiokammion. Vetyperoksidihöyryn tuottamiseen käytettiin suomalaisen Cleamix Oy:n valmistamia vetyperoksidigeneraattoreita.

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos (THL) ja LAB-ammattikorkeakoulu (LAB) yhdessä Puolustusvoimien logistiikkalaitoksen kanssa (PVLOGL) suunnittelivat ja ohjeisti-

vat käytettyjen hengityksensuojainten keräämisen sairaaloista sekä pakkaamisen, varastoinnin ja kuljettamisen PVTUTKL:n Ylöjärven yksikköön, ensin kolmen tehohoitoa antavan sairaalan kanssa ja hankkeen loppuun mennessä muutamaa lukuun ottamatta Suomen kaikkien tehohoitoa antavien sairaaloiden kanssa.

Puhdistustoimintaa varten laadittiin tuotantosuunnitelma, jossa oli kaikkiaan 53 liitettä 5 osassa. Osaan A laadittiin tuotantoprosessin yleiskuvaus, infran kuvaus, henkilöstösuunnitelma ja tuotannon suunnitelma. Osaan B tuli ohjeistus suojainten logistiikasta laitoksessa. Osassa C oli pelastus- ja turvallisuussuunnitelma ja turvallisuuden muut järjestelyt. Osaan D laadittiin laatua koskeva ohjeistus, ja osassa E oli koulutus.

Ennen tuotannon aloittamista laitoksella tehtiin pilottitestaus viikonloppuna 17.–19.4.2020. Pilottiin osallistui PVTUTKL:n räjähd- ja suojelutekniikkaosaston työntekijöitä, esikunnan ja asetekniikkaosaston työntekijöitä ja VTT:n työntekijöitä. Pilottitestaus onnistui, ja voitiin siirtyä tuotantoon.

Suojaimia puhdistettiin kahdessa projektissa yhteensä yli 30 000 kappaletta, joista hyväksyttäviä ja laadullisesti hyviä



Kuva 3. Vasemmassa kuvassa tyhjä VHP-kammio. Cleamix Oy:n vetyperoksidigeneraattorit asetettiin hyllylle. Konttiin asennettiin lämmitys ja sekoituspuhaltimia. Keskikuvassa näkyy hengityksensuojaimia rullakoissa VHP-kammiossa. (Kuvat: Markku Mesilaakso). Oikeanpuoleisessa kuvassa on puhdistettu suojain ja siinä uusi merkintä HEDE20. (Kuva: Hanna Haukipää)

suojaimeja oli noin 15 000. Suojaimissa olleet meikkien jäämät aiheuttivat suurimman määrän hylkäämisiä, ja jonkin verran tapahtui suojainten nauhojen tai nenäpehmusteiden irtoamisia.

### Prosessi

HEDE-laitoksen tuotantoa johdettiin pienellä tiimillä: johtaja, varajohtaja ja kunnossapitopäällikkö. Sairaaloista kerätyt suojaimet tuotiin autokuljetuksella ja ne sijoitettiin pakkauksissaan alueella oleviin kylmäkontteihin. Varastopäällikkö vei tuotantoerän suojaimia sisältävät säiliöt ja säkit kylmäkonteista asetteluteltan oven läheisyyteen. Tyvek-asuihin ja suojanaamareihin pukeutuneet asettelijat avasivat säkit ja säiliöt sekä asettelivat suojaimet koreihin ja korit rullakoihin. He asettelivat myös laaduntarkkailunäytteitä suojainten yhteyteen. Asettelijat veivät rullakot kammioon (kuva 3). Tuotantoinsinööri johti kammiossa tapahtuvan VHP-käsittelyn. Käsittelyn jälkeen kammiota huuhdeltiin ilmalla ja sen jälkeen suojaimet siirrettiin rullakoissaan jälkikäsittelyyn, jossa jäänösvetyperoksidi haihdutettiin. Laaduntarkkailunäytteet otettiin tässä vaiheessa tutkimuksiin. Jälkikäsittelystä rullakot siirrettiin pakkaamoon, jossa suojaimet tarkastettiin silmämääräisesti ja pakattiin. Vialliset suojaimet tai sellaiset, joissa oli jäämiä meikeistä, poistettiin jätteeksi. Suojaimet pakattiin pusseihin ja laatikoihin.

### Mikrobiologiset riskit ja työturvallisuus HEDE-puhdistuslaitoksessa

Laki edellyttää, että työnantaja ryhtyy toimenpiteisiin työntekijöiden suojelemiseksi, kun tehdään työtä, johon sisältyy vaara altistua vaarallisille biologisille tekijöille. Keskeinen asiaa koskeva lainsäädäntö on Työturvallisuuslain (738/2002) 40 § ja 40 a §, lain perusteella annettu Valtioneuvoston asetus työntekijöiden suojelemisesta biologisista tekijöistä aiheutuvilta vaaroilta (933/2017)

sekä STM:n asetus 921/2010 biologisten tekijöiden luokituksesta.

Työntekijöillä oli HEDE-laitoksessa työskennellessään riski altistua laadultaan tuntemattomille biologisille tekijöille niissä työvaiheissa, joissa käsiteltiin sairaaloista juuri saapuneita, vielä vetyperoksidihöyryllä käsittelemättömiä hengityksensuojaimia. Työntekijöiden suojaamiseksi ja mahdollisten vaarallisten mikrobin ympäristöön karkaamisen estämiseksi suojaimia käsiteltäessä käytettiin henkilökohtaista suojaruustusta (kuvat 4-5) ja HEDE-linjaston ilmanvaihto varustettiin mikrobit suodattavilla HEPA-ilmansuodattimilla. Käsittelemättömien suojainten kanssa työskentelyyn varatut tilat myös alipaineistettiin, jotta kaikki poistoilma kulkisi tiloista ulos kontrolloidusti suodatinten kautta. Työhön osallistuva henkilöstö perehdytettiin biologisiin riskeihin ja suojaruusteiden käyttöä koskeviin ohjeisiin. Henkilökunta puhdisti tai riisui suojaruusteensa aina mikrobiologisia riskejä sisältävästä työtilasta poistuttaessa. Työn päätyttyä nämä ”likaiset” työtilat puhdistettiin – milläpä muulla kuin vetyperoksidihöyrytyksellä.

### Puhtaita ja toimivia hengityksensuojaimia

Suojaimien mikrobiologisen puhtauden sekä suojainten suorituskyvyn säilyminen testattiin VTT:n, PVTUTKL:n ja Työterveyslaitoksen toimesta. Laboratoriotestauksissa ja suuren mittakaavan laitoksessa vetyperoksidihöyrypuhdistuksen todettiin tuhoavan FFP2- ja FFP3-hengityksensuojaimista standardina käytetyn mikrobiologisen indikaattorin ja malliviruksen. Käytettyjen ja vetyperoksidihöyrytyksellä puhdistettujen suojaimien suodatuskykyä ja hengitysvastusta sekä Työterveyslaitoksen tiiviyyttä koskevien testien tulosten perusteella suojaimet vastasivat vähintään FFP2-luokan suojainten suojauskykyä tutkimuksessa käytetyillä menetelmillä testattuna. Tulosten mukaan kertakäyttöiset puhdistetut FFP2- ja FFP3-hen-



Kuva 4. Vasemmassa kuvassa Tyvekeihin pukeutuneita asettelijoita tartuntavaarallisella alueella asettelun alkupäässä. Keskellä kuva asetteluteltasta (2c) ja kuvassa näkyvät rullakot lankakoreineen. Oikealla kuva pakkausteltasta (4a). (Kuvat: Markku Mesilaakso)

gityksensuojaimet voidaan uudelleen puhdistaa vähintään 20 kertaa.

### Asiantuntijaryhmät

Hankkeen aikana kokoontui useita moniviranomais-asiantuntijaryhmiä, joissa selvitettiin käytettyjen hengityksensuojainten keräämistä, varastointia ja toimittamista PVTUTKL:een (sairaalan henkilökunnasta koostuva sairaalaryhmä), puhdistettujen suojainten käyttöönottoon liittyvää lainsäädäntöä (laki- ja muista asiantuntijoista koostuva säädösryhmä) sekä puhdistettujen suojainten puhtautta ja turvallisuutta (virologeista koostuva virusryhmä). Näiden ryhmien työ oli arvokas tuki puhdistustoiminnalle ja kokonaisuuden näkökulmasta.

### Hengityksensuojaimien dekontaminaatio kriisivalmiusasiana

HEDE-projektia alettiin toteuttaa laaditun projektisuunnitelman perusteella, koska se oli ainoa, mitä oli käytettävissä siinä hetkessä. Suomessa ei ollut muita menettelytapoja asian hoitamiseksi. Tällaista ei ollut ennen tehty. Vastuuministeriöt ja niiden alaiset laitokset olivat tietoisia tästä projektista, ja monet niiden virkamiehet osallistuivat projektiin asiantuntijoina, mikä oli kokonaisuuden kannalta tärkeää. Asioiden valmistelu ja suunnittelu sekä toteutus eri hallinnonaloilla olisi kuitenkin vienyt huomattavan paljon aikaa asian oletettuun kiireyteen nähden. Siksi projektimuotoinen toiminta oli tässä asiassa paikallaan – se oli ketterä ja osoittautui toimivaksi. Kesäkuun projektin loppuraportissa on esitetty kokonaisprosessi, jossa kuvataan projektin toteuttajien näkökulmasta, mitä pitäisi olla olemassa, jotta Suomessa olisi hengityksensuojaimien puhdistuskyky seuraavan pandemian tullessa. Tällaisen asian hoitamisen ei kuitenkaan tulisi jäädä uudelleen projektin tasolle vaan perustua ennakkoon tehtyihin valmisteluihin yhteiskunnassa. Puhdistuksen suorituskyvyn pitäisi tulevaisuudessa olla osa suomalaista kriisivalmiutta.

### Opiksi otettavaa

Projektilla on alku, toteutuksen aika ja loppu. Projektin tavoite onnistui: pystyttiin toteuttamaan nopealla aikataululla olosuhteet, joissa hengityksensuojaimia voidaan puhdistaa ja ne tulevat puhtaaksi. Projektin tavoitteena ei ollut muuttaa lainsäädäntöä sallimaan kertakäyttöisten hengityksensuojainten käyttö puhdistuksen jälkeen. Projektin tavoitteena ei myöskään ollut luoda suomalaista kriisivalmiutta, vaikka samaa mallia voidaan käyttää tulevassa kriisissä. Raporttien haluttiin olevan laadittu niin, että toteutus joskus myöhemmin onnistuisi niiden sisältämien tietojen perusteella.

Yhteiskunnan kriisivalmiuden ei tulisi olla henkilöriippuvaista. Tästä syystä liittyvien strategioiden, konseptien, säädösten, ohjeiden ja valmiuden käytännöllisen rakentamisen tulee olla hallinnonaloilla ylhäältä käskettyä tehtävänä soveltuville tahoille. Valmiuteen liittyviä asioita tulee myös aika ajoin voida kouluttaa ja harjoitella.

HEDE-laitoksessa erilaisissa asioissa tehtiin operatiivisen toiminnan aikana monia parannuksia, mutta korjattavaakin jäi. Suomalaisen luonnon ääriolosuhteissa, lähellä nollaa tai 30 astetta hipovassa lämmössä, oli projektin toiminnassa haasteensa. Keväällä laitoksen telttoja piti lämmittää, ja kesällä taas jäähditys ei onnistunut riittävällä tavalla, jolloin toiminta siirrettiin yöaikaan tapahtuvaksi. Toimintaa koviilla pakkasilla ei koettu. Ratkaisuna tähän olisi linjaston toteutus sellaisista konteista, joissa lämmön säätäminen on mahdollista. Vaihtoehtoisesti linjasto sijoitettaisiin suureen halliin, jossa olisi vakioilämpötila.

Höyrytyskammiossa tulisi olla kosteuden ja lämmön ohjaus (kontrolli) vetyperoksidikäsittelyn aikana. Siihen tehtyjä ratkaisuja ollaan tätä kirjoittaessa testaamassa. Vetyperoksidihöyrygeneraattoreiden tulisi voida olla sijoitettu kammion ulkopuolelle, mikä teknisesti on mahdollista, mutta sitä ei ole vielä kokeiltu.





Kuva 5. Henkilökohtaisen suojarustuksen pukeminen. (Kuva: Puolustusvoimat / Samuli Haapala)

## Johtopäätös

Hankkeessa saatujen tulosten mukaan hengityksensuojaimien tehokas ja turvallinen puhdistaminen toteutuu vetyperoksidihöyrytyksellä. Tilanteessa, jossa uudet FFP2- ja FFP3-hengityksensuojaimet kerta kaikkiaan loppuvat, on mahdollista toteuttaa niiden dekontaminointi eli puhdistaminen uudelleenkäyttöä varten.

Lainsäädäntö ei Suomessa eikä Euroopan unionissa kuitenkaan toistaiseksi salli puhdistettujen hengityksensuojainten uudelleenkäyttöä, joten puhdistettujen suojainten käyttöön-otto vaatii lakimuutoksia tällaisen tilanteen mahdollisesti tullessa harkittavaksi.

Puhdistuksen suorituskyvyn pitäisi tulevaisuudessa olla osa suomalaista kriisivalmiutta.

## Kiitokset

Kirjoittajat haluavat mainita nimeltä seuraavat konsortiossa tärkeässä roolissa mukana olleet henkilöt: Katri Laatikainen, Ilpo Kulmala, Tarmo Humppi, Satu Salo, Petri Ruutu, Outi Lyytikäinen, Susanna Tella, Kristiina Helminen, Henri Karppinen, Erja Mäkelä, Heli Kähkönen, Tarja Vainiola, Kirsimarja Blomqvist, Marko Laaksonen, Jouni Koivisto, Samppa Astikainen ja Juha Koskinen. Lisäksi suuri määrä PVTUTKL:n Ylöjärven yksikön henkilöstöä teki hyvää työtä projektien onnistumiseksi.

Professori Markku Mesilaakso toimi ensimmäisessä projektissa puhdistustoiminnan johtajana ja osan aikaa toisessa projektissa samassa roolissa. Tutkimusalojohtaja Tuuli Haataja toimi osan aikaa toisessa projektissa puhdistustoiminnan johtajana. Linjasto suunniteltiin Mesilaakson johdolla.

### Kirjoittajat:

Professori Markku Mesilaakso toimii Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen räjähd- ja suojelutekniikkaosaston johtajana.

Filosofian maisteri, sotatieteiden maisteri Tuuli Haataja toimii tutkimusalojohtajana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen räjähd- ja suojelutekniikkaosastossa.

# Hengityksensuojainten laadunvarmistus

Laadunvarmistuksen ja testausten tavoitteena oli todentaa, että vetyperoksidihöyryllä (VHP) käsitellyt hengityksensuojaimet ovat turvallisia käyttää ja niiden mikrobiologinen ja muu puhtaus sekä suojausominaisuudet ovat säilyneet. Testauksilla pyrittiin estämään FFP2-tasoa heikompien hengityksensuojainten kierrättäminen uudelleenkäyttöön sekä kerättiin tietoa eri valmistajien hengityksensuojainten suojausominaisuuksista. Laadunvarmistusmittaukset tehtiin osin Puolustusvoimien tutkimuslaitoksella, osin VTT:llä ja osin Työterveyslaitoksella.

Laadunvarmistusmittaukset jaettiin karkeasti kolmeen osaan: vetyperoksidikammiossa hengityksensuojainten puhdistushöyrytyksen aikana tehtäviin mittauksiin, höyrytyksen jälkeen laboratoriossa tehtäviin mittauksiin ja suojainten pakkaamisen aikana tehtävään tarkasteluun.

## Vetyperoksidikammiossa höyrytyksen aikana tehdyt mittaukset

Vetyperoksidikammiossa höyrytyksen aikana tehdyillä mittauksilla osoitettiin, että vetyperoksidihöyryä oli riittävästi kammiossa ja että se oli levinnyt tasaisesti koko kammioon.



Kuva 1. Vetyperoksidihöyrytyksen tasaisen pitoisuuden ja leviämisen sekä dekontaminaatiotehokkuuden mittaamiseen käytettyjä indikaattoriliuskoja. (Kuva: Tuula Lehto)

Vetyperoksidihöyryn pitoisuus ja leviäminen kammioon mitattiin vetyperoksidimittareilla ja vetyperoksidipitoisuuden osoittavilla indikaattoriliuskoilla, jotka oli aseteltu tasaisesti ympäri kammiota suojainten sekaan. Lisäksi kammioon laitettiin indikaattoribakteeriliuskoja, joilla todennettiin vetyperoksidihöyryn dekontaminaatiotehokkuus.

## Höyrytyksen jälkeen laboratoriossa tehdyt mittaukset

Höyrytyksen jälkeen laboratoriossa tutkittiin, ovatko hengityksensuojaimet mikrobiologisesti puhtaita tutkimalla niistä kokonaisbakteeripitoisuus sekä hiivat ja homeet. Tutkimukset tehtiin heti höyrytyksen jälkeen sekä suojainten pakkaamisen jälkeen. Tyypillinen näytemäärä oli 5–10 näytettä.

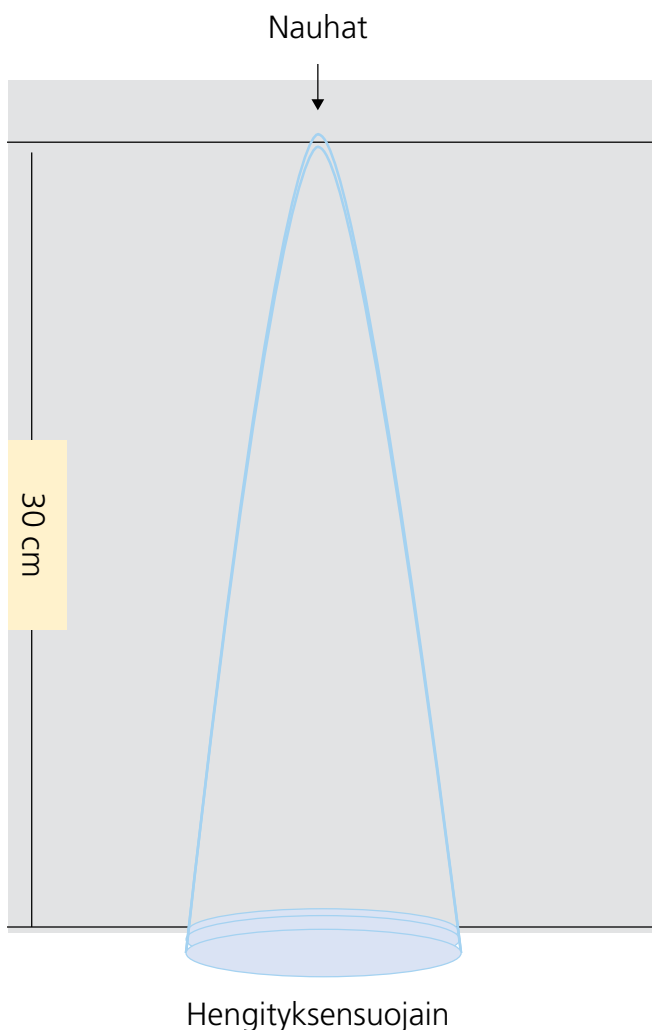
Laboratoriossa varmistettiin myös hengityksensuojainten suojausominaisuuksien säilyminen. Suojausominaisuuksista tutkittiin SFS-EN 149: Hengityksensuojaimet. Hiukkasilta suojaavat suodattavat puolinaamarit. Vaatimukset, testaus, merkintä -standardin vaatimusten mukaisesti seuraavat ominaisuudet:

- hiukkasläpäisy (FFP2-vaatimus 94 % pidätyskyky 0,6 µm hiukkasille)
- uloshengitysvastus (FFP2-vaatimus 240 Pa virtauksella 95 l/min)
- venttiilien toiminta hyväksytyllä hiukkasläpäisytestillä sen jälkeen, kun uloshengitysvirtaus oli ollut 300 l/min 30 sekuntia.

Hengityksensuojainten tiivystestissä ihmisellä käytettiin liikesarjana Health and Safety Executiven menettelyä (OC 282/28; HSE 2012), joka on yleisesti käytetty tiivystesteissä. Mittaukset tehtiin hiukkaslaskurilla. FFP2-vaatimuksena oli tiivyskerroin 100. Tiivystesti tehtiin 10 suojaimelle eri suojainmalleista.

Kuminauhojen vetolujuus verrattuna uusien suojainten kuminauhojen vetolujuuteen testattiin noudattaen artikkelin ”Assessment of filter penetration performance and fit for decontaminated N95 respirators” (NPPTL, NIOSH, CDC, 2020) periaatteita.

Mittalaitteiden näytteiden käsittelykapasiteetti ja perusoletamus siitä, ettei vetyperoksididekontaminointi muuta tuotteen alkuperäisiä suojausominaisuuksia, mahdollisesti



Kuva 2. Kuminauhoille pakkaamisen yhteydessä tehty venymistä.

harvennetun tarkastuksen näytemäärän ISO 2859-1: Sampling procedures for inspection by attributes – Part 1: Sampling schemes indexed by acceptance quality limit (AQL) for lot-by-lot inspection -standardin mukaisesti.

## Pakkaamisen aikana tehtävä tarkastelu

Pakkaamisen yhteydessä hengityksensuojainten kunto tarkastettiin visuaalisesti ja rikkiäiset ja värjäytyneet hylättiin. Lisäksi kuminauhoille tehtiin venymistesti, jossa kuminauhoja venytettiin hitaasti 30 cm ja tarkastettiin niiden kunto silmämääräisesti. Tämä tehtiin pakkaamisen yhteydessä kaikille hengityksensuojaimille.

## Tuloksia ja yhteenveto

Kaikki mitatut hengityksensuojaimet täyttivät FFP2-luokan hiukkassuodatuskyvyn valmistajasta ja mallista riippumatta. FFP3-luokan hengityksensuojaimista 93 % täytti suodatuskyvyn > 99 % ja 7 % alitti sen. Kuitenkin kaikki suojaimet täyttivät FFP2-luokan vaatimukset. Tulosten mukaan kertakäyttöisiä FFP2- ja FFP3-luokan hengityksensuojaimia voidaan puhdistaa uudelleen vähintään 10 kertaa ilman suojausominaisuuksien heikkenemistä.

Sairaalakäytössä hengityksensuojaimen kertyvää hiukkasten massaa voidaan arvioida seuraavilla oletuksilla:

- ilman hiukkaspitoisuus on 0,1 mg/m<sup>3</sup>
- hengitysilmapvirta on 30 l/min eli 1,8 m<sup>3</sup>/h
- suojainta käytetään 8 h päivän aikana, jonka jälkeen se hylätään.

Näillä oletuksilla hengityksensuojaimen kerääntyy pölyä kahdeksan tunnin yhtäjaksoisen käytön aikana 1,4 mg. Tämä on noin tuhannesosa hengityksensuojainstandardissa kuormitukseen käytettävästä pölymäärästä (1,5 g, SFS-EN149).

VHP-puhdistettujen hengityksensuojainten visuaalisista tarkasteluista, korkeana säilyneestä erotusasteesta ja verrattain alhaisesta painehäviöstä voidaan päätellä, että sairaaläkäytössä hengityksensuojain heitetään pois jo elinkaarensa alkuvaiheessa mahdollisen mikrobikontaminaation vuoksi.

### Kirjoittajat:

Filosofian maisteri Timo Kröger toimii tutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen räjähd- ja suojelutekniikkaosastossa CBRNE-teknologiat-tutkimusosastolla.

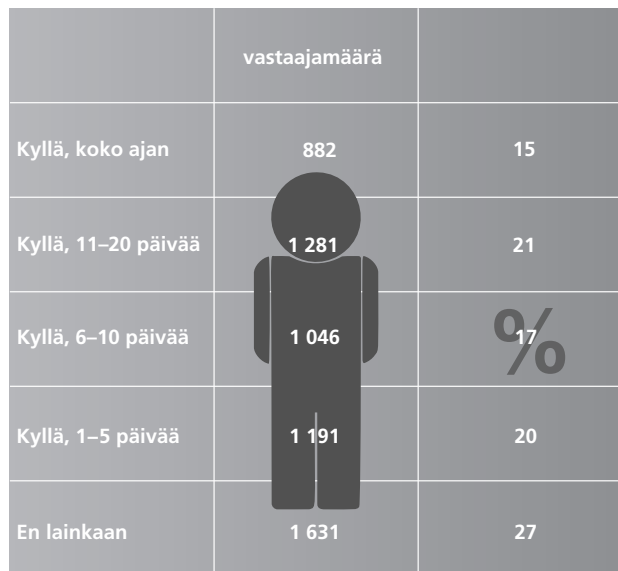
Filosofian tohtori Paula Maatela toimii erikoistutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen räjähd- ja suojelutekniikkaosastossa CBRNE-teknologiat-tutkimusosastolla.

# Koronapandemia muutti työnteon rutiineja

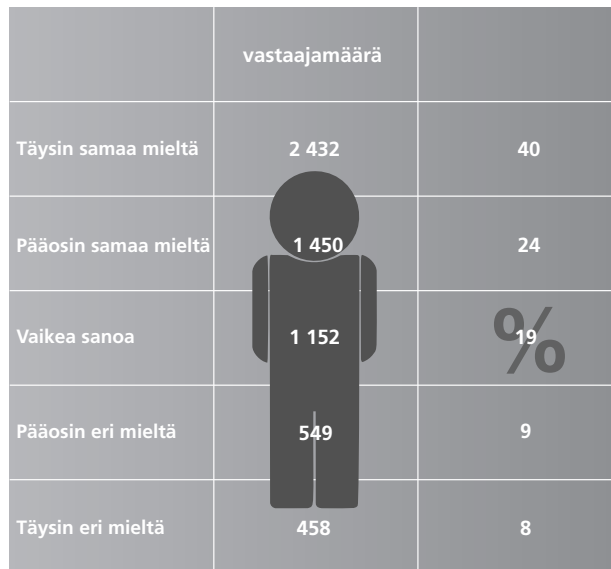
Kansallinen, COVID-19-virukseen liittyvä poikkeustila vaikutti välittömästi myös Puolustusvoimissa työskenteleviin. Maaliskuun 2020 alussa rajoitettiin virkamatkustamista (etenkin ulkomaan matkoja), kehoitettiin kokoustamaan virtuaalisesti, peruutettiin erilaisia tapahtumia sekä lievennettiin etätyöskentelyyn liittyviä normatiivisia rajoituksia. Edellisten ohella varusmieskouluttavissa yksiköissä jaksotettiin uudelleen koulutusryhmiä ja -rytmiä, niin henkilöstön kuin varusmiestenkin tartuntojen ehkäisemiseksi. Poikkeustilanteen vuoksi Puolustusvoimien henkilöstölle tehtiin huhtikuun 2020 alussa erillinen lyhennetty työilmapiirikysely (korona-kysely), jonka avulla haluttiin viivytyksettä selvittää henkilöstön jaksamista ja kykyä työskennellä poikkeuksellisissa olosuhteissa – keskityttiin uupuneisuuteen, työn imuun ja etätyön tekemiseen. Kyselyssä oli osittain samoja väittämiä kuin vakiintuneessa työilmapiirikyselyssä, joten eri kyselyiden ja vastauksien välinen vertailu mahdollistui.

## Etätyömahdollisuudet laajenivat

Verrattuna syksyllä 2019 tehtyyn, erilliseen etä- ja hajautettua työtä kartoittaneeseen henkilöstökyselyyn havaittiin etätyön tekemisen yleistyneen kevään aikana merkittävästi. Syksyn 2019 kyselyssä etätyötä oli tehnyt neljä vastaajaa kymmenestä (41 %), kun kevään 2020 korona-kyselyn mukaan etätyötä teki jo seitsemän vastaajaa kymmenestä (73 %). Eli etätyötä tekevien määrä oli melkein kaksinkertaistunut.



Oletko kyennyt tekemään etätyötä edellisen kuukauden aikana? (Lähde: korona-kysely huhtikuu 2020)



Etätyömahdollisuuksien laajentuminen vaikuttaa positiivisesti työhöni. (Lähde: korona-kysely huhtikuu 2020)

Korona-kyselystä havaittiin myös, että jopa kolmannes (36 %) vastanneista teki keväällä 2020 etätyötä yli normissa määritellyn enimmäismäärän eli 10 päivää kuukaudessa.

Etätyömahdollisuuksien laajentumisen yhteydessä voidaan kysyä, miten se vaikutti yksittäisen työntekijän työhön. Korona-kyselyyn vastanneista vain joka kuudes (17 %) koki sen vaikuttaneen kielteisesti ja joka neljäs (19 %) ei osannut sanoa. Kaksi kolmannesta (64 %) koki laajentumisen vaikuttaneen positiivisesti.

Tyypillisin vastaaja, joka oli kyennyt edellisen kuukauden aikana tekemään työtään kokoaikaisesti etänä, oli 35–44-vuotias siviililäinen, joka työskenteli esimerkiksi Pääesikunnassa tai sen alaisessa laitoksessa.

Niitä vastaajia, jotka eivät olleet keväällä kyenneet ollenkaan tekemään etätyötä, kuvaavat tyypillisimmillään seuraavat asiat: varusmieskouluttava joukko-osasto, aliupseerina toimiminen, mies sekä alle 35 vuoden ikä.

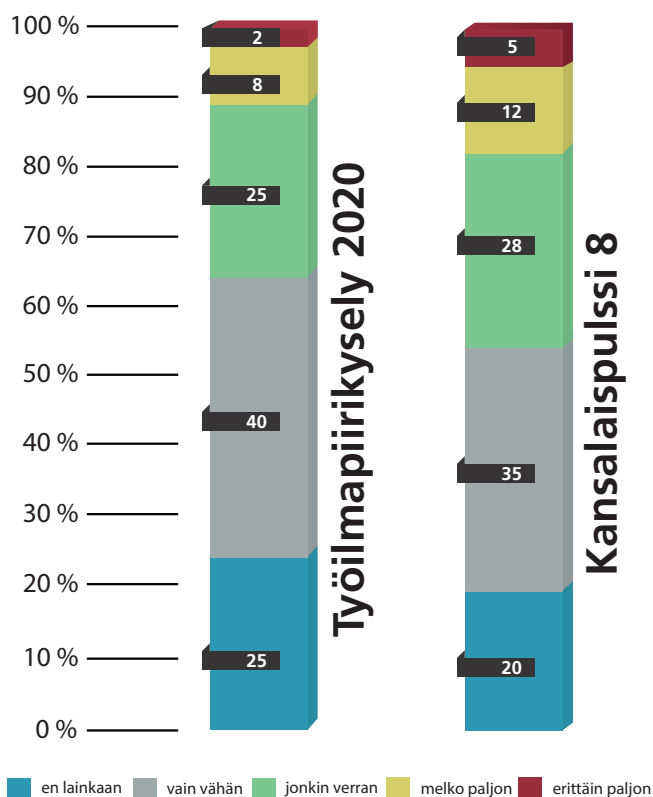
## Kiire, työtaakka ja stressin kokemukset helpotuiivat

Kolmen kyselykerran (työilmapiirikyselyt syksyllä 2019 ja 2020 sekä korona-kysely keväällä 2020) perusteella

näyttäisi siltä, että etätöiden laajentumisen ja virkamatkustuskiellon myötä henkilökohtaisen työmäärän ja kiireen koettiin keväällä 2020 jonkin verran helpottuneen ja niiden ongelmallisuuden vähentyneen. Syksyn 2019 ja 2020 työilmapiirikyselyissä kiireen ja työn kuormituksen raportoi joka viides (18 %) kielteisimmäksi työhön liittyväksi asiaksi, kun korona-kyselyssä näin koki vain joka kymmenes (12 %). Myös uupumisen ja jaksamisen haasteiden koettiin hiukan hellittäneen.

Työn ja perhe-/yksityiselämän yhteensovittamisen haasteet näyttäytyivät nyt poikkeusaikana todennäköisesti erilaisina. Normaalioloissa Puolustusvoimien henkilöstöllä on paljon esimerkiksi virkamatkustamista ja sotaharjoituksia (aluspalvelusta), jotka aiheuttavat poissaoloja perheen luota sekä haasteita työn ja perheen yhteensovittamiselle. Etätöitä ja -kokouksista tehtiin keväällä 2020 pääsääntöisesti kotona, jossa saattoi olla muitakin perheenjäseniä etätöissä tai -koulussa. Tämä ”pakollinen” kotonaolo saattoi aiheuttaa toisenlaisia haasteita (etä)työn ja perhe- tai yksityiselämän yhteensovittamiseen, eikä työn ja perheen suhteiden koettu juuri helpottuneen etätöiden myötä.

Kevään 2020 korona-kyselyssä ja syksyn 2020 työilmapiirikyselyssä kysyttiin kokemusta stressistä. Stressi määriteltiin



Koetun stressin suhteellinen määrä; vertailuna työilmapiirikysely 2020 ja Kansalaispulssi 8 (elokuu 2020). (Grafiikka: Valterri Vanhatalo)

tiin tilanteeksi, jossa ihminen tuntee itsensä jännittyneeksi, levottomaksi, hermostuneeksi tai ahdistuneeksi tai hänen on vaikea nukkua asioiden vaivassa jatkuvasti mieltä. Stressaantuneisuus ei tällä kysymyksellä mitattuna ollut lisääntynyt korona-keväen aikana. Edellisen lisäksi saman stressikysymyksen tuoreimmat tulokset (syksyn 2020 työilmapiirikyselyn ja suomalaisen tutkimuksen eli Kansalaispulssi 8:n) osoittavat, että Puolustusvoimien henkilöstö koki stressiä vähemmän kuin väestö keskimäärin.

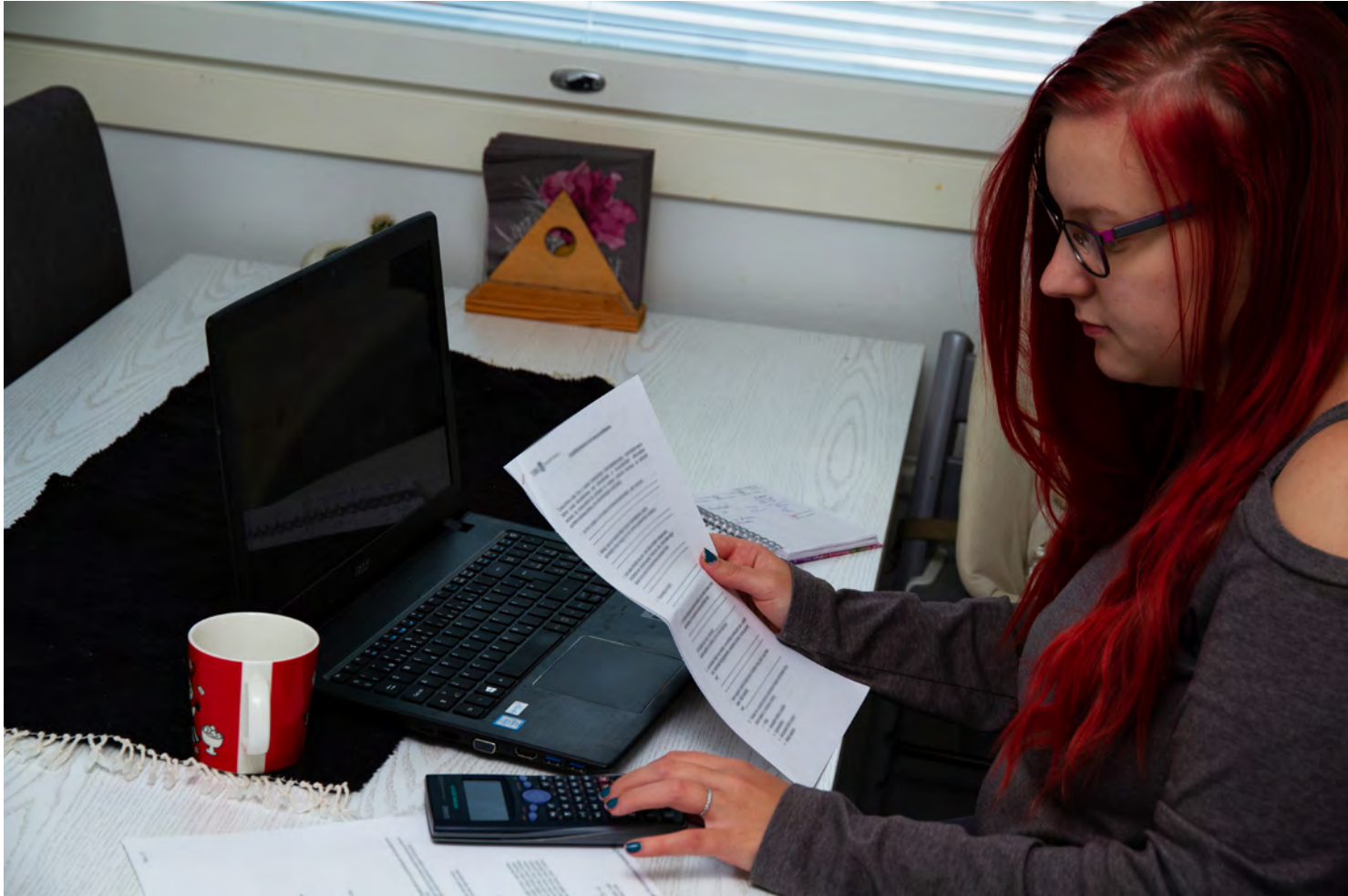
### Työn joustavuus tuli tärkeämmäksi

Edellä mainituissa Puolustusvoimien kyselyissä valitaan jokin erillisellä listalla mainittu asia työn parhaimmaksi puoleksi. Puolustusvoimissa tämä paras asia on perinteisesti ollut hyvä me-henki ja työilmapiiri – niin näissäkin kyselyissä. Joka kolmas vastaaja (31 %) valitsi hyvän me-hengen muiden ulottuvuuksien edelle. Eräs näistä listalla olevista asioista on työn joustavuus, jonka täsmennetään tarkoittavan esimerkiksi työaikajoustoja, vaikuttamismahdollisuuksia työn suorittamisjärjestykseen sekä työn ja muun elämän yhteensovittamista. Työn joustavuutta arvostetaan yhä enemmän, sillä reilu neljännes vastaajista (28 %) arvioi sen työn parhaimmaksi puoleksi. On mielenkiintoista seurata, muuttaako lisääntynyt ja vakioitunut etätöskentely näiden asioiden keskinäistä järjestystä ja tuleeko työn joustavuudesta siten yhteisen keä useammin valittu työn hyvä puoli.

Korona-kyselyssä keväällä 2020 kuusi vastaajaa kymmenestä (62 %) oli samaa mieltä työmäärän oikeudenmukaisesta jakautumisesta omassa työyksikössään. Tämä oli hiukan enemmän kuin normaaleissa työilmapiirikyselyissä. Lisääntynyt etätöiden tekeminen ja etätötehtävien suunnittelemisen olivat mitä todennäköisimmin tehneet sekä yksilö- että työyksikkötasolla työsuoritteet näkyvämmiksi ja ymmärrettävämmiksi.

### Etätöiden määrä vaikutti työn imuun

Työn imussa, jota mitattiin työssä koettuna tarmokkuutena, innostuneisuutena ja työstä tulevana tyydyttyneisyytenä, tapahtui korona-kyselyn tulosten mukaan vähäinen nousu. Nämä aiemmin kuukausittaiset koetut työn imun tunteukset tihtyivät lähemmäs viikoittaisia tuntemuksia. Tarkasteltaessa näitä kokemuksia etätöiden tekemisen luokissa havaittiin, että tehdyllä etätöiden määrällä (laskettuna työpäivinä) oli lineaarinen yhteys työn imuun: mitä enemmän etätöypäiviä, sitä enemmän koettiin imua. Selkein yhteys oli sen suhteen, tekeekö ollenkaan etätöitä tai tekeekö sitä yli 11 työpäivää kuukaudessa (työn imu oli matalampi niillä, jotka eivät tehneet ollenkaan etätöitä). Syksyn 2020 normaalissa työilmapiirikyselyssä työn imun kokemukset olivat edelleen hyvällä tasolla: työn imua koki useita kertoja viikossa tai päivittäin reilusti yli puolet (58–63 %) vastaajista.



(Kuva: Puolustusvoimat / Valteri Vanhatalo)

### Työnantajakuvaan positiivinen muutos

Syksyn 2019 ja 2020 työilmapiirikyselyissä kartoitettiin sisäistä työnantajakuva vertaamalla Puolustusvoimia työpaikkana sekä yksityissektorin että muihin valtionhallinnon tai kuntien työpaikkoihin. Vastaja arvioi tätä viisiportaisella asteikolla, paljon paremmasta paljon huonompaan. Kahden

kyselykerran välillä työnantajakuva oli jonkin verran parantunut myönteisesti vastanneiden määrän nousua useilla prosenttiyksiköllä (vuonna 2019 myönteisiä oli 59 % ja seuraavana vuonna 66 %). Tämä nousu tapahtui erityisesti verrattuna yksityissektorin työpaikkoihin. Arvostuksen nousu liittyy mitä ilmeisimmin muualla yhteiskunnassa tapahtuneisiin laajoihin lomautuksiin ja irtisanomisiin.

#### Kirjoittaja:

Yhteiskuntatieteiden maisteri Anitta Hannola toimii tutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen toimintakykyosastossa psykososiaalisen toimintakyvyn tutkimusalalla.

# Soveltuvuudenarvioinnit COVID-19:n aikaan



(Kuva: Pixabay/41330)

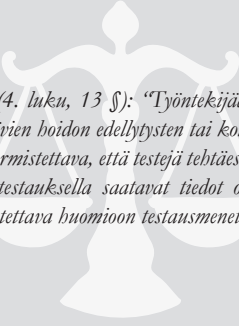
Psykologinen soveltuvuudenarviointi sisältyy Puolustusvoimien henkilövalintaprosesseihin niin palkatun henkilökunnan valinnassa kuin useimmissa varusmiesvalinnoissakin. Soveltuvuudenarviointi on prosessi, johon kuuluu varsinaista testausta edeltävinä vaiheina kohteena olevan tehtävän kuvaaminen, tehtävässä menestymisen kannalta olennaisten ominaisuuksien tai kompetenssien määrittely (arviointikriteerit), kyseisten ominaisuuksien arviointiin sopivien menetelmien ja testien valitseminen sekä mahdollisesti niiden kehittäminen. Arviointiprosessiin kuuluu myös testauksen jälkeen tulosten tulkinta, tulosten raportointi valintapäätöksen tukena, palautteiden antaminen ja seuranta.

Soveltuvuudenarviointien avulla varmistetaan mahdollisimman hyvin henkilöstön yhteensopivuus tehtävien asettamiin vaatimuksiin nähden sekä karsitaan todennäköisesti ongelmia aiheuttavat riskivalinnat. Laadukkaaseen soveltuvuudenarviointiin kuuluu useita eri menetelmiä, joiden avulla saadaan muodostettua mahdollisimman kattava kuva hakijoista ja heidän soveltuvuudestaan suhteessa tehtävän

kriteereihin. Puolustusvoimien soveltuvuudenarviointiprosessissa käytetään tietokoneilla (aiemmin optiset lomakkeet) tehtäviä persoonallisuus- ja kykytestejä, tehtävän vaatimuksiin räätälöityjä simulaatioita, ryhmätehtäviä ja psykologin haastattelua.

COVID-19:n aiheuttamien rajoitusten seurauksena tavanomaisia soveltuvuudenarviointikäytäntöjä ei ollut mahdollista toteuttaa tavanomaisesti. Tarve soveltuvuudenarviointien tekemiselle kuitenkin edelleen oli, ja piti ratkaista uudet menetelmät ja prosessit niiden toteuttamiselle. Oli huomioitava niin poikkeusolojen asettamat rajoitukset, soveltuvuudenarviointien laatuvaatimukset kuin tietoturva- ja oikeusturvaseikatkin (laki yksityisyyden suojasta työelämässä 4. luku, 13 §). Rajoitusten takia arvioinnit tuli viedä sinne, missä ihmiset olivat, eli kohteihin.

Puolustusvoimat käyttää soveltuvuudenarvioinnissa sekä Tutkimuslaitoksen toimintakykyosaston ja sen edeltäjien kehittämiä tieteellisesti validoituja ja sotilaallista toimintaympäristöä huomioivia että laajasti hyväksytyjä kauppal-



*Laki yksityisyyden suojasta työelämässä (4. luku, 13 §): "Työntekijää voidaan hänen suostumuksellaan testata henkilö- ja soveltuvuusarvioinnein työtehtävien boidon edellytysten tai koulutus- ja muun ammatillisen kehittämisen tarpeen selvittämiseksi. Työnantajan on varmistettava, että testejä tehtäessä käytetään luotettavia testausmenetelmiä, niiden suorittajat ovat asiantuntevia ja testauksella saatavat tiedot ovat virheettömiä. Tietojen virheettömyyttä varmistettaessa on otettava huomioon testausmenetelmä ja sen luonne."*

lisia testejä. Kaupallisten testien lisenssi- ja jakeluoikeudet Suomessa omistaa Hogrefe Psykologien Kustannus Oy.

Ennen arviointiprosessin käynnistämistä tuli ratkaista tietoturvaan liittyvät kysymykset. Yhteistyössä Hogrefe Psykologien Kustannus Oy:n kanssa suunniteltiin toimintamalli, jossa hakijat pystyivät vastaamaan anonyymisti siten, että henkilötietosuoja saatiin säilytettyä ja tiedot hakijoista olivat vain Puolustusvoimissa soveltuvuudenarviointeja käsittelevien henkilöiden hallussa. Tämä tarkoitti sitä, että hakijoille luotiin koodit, joiden avulla saatiin yhdistettyä oikea tulos oikeaan vastaajaan.

Keväällä Toimintakykyosastoa työllistivät Maanpuolustuskorkeakoulun (MPKK), aliupseerien sekä siviilien eritasoiset arvioinnit. MPKK:n kadettikokelaiden arviointi työllisti ja massatestauksen onnistuminen huoletti osastollamme luonnollisesti eniten – varsinkin kun jo muualta yhteiskunnasta oli havaintoja merkittävistä epäonnistumista yliopistovalintojen toteuttamisessa. MPKK:n etätestausta edeltävien järjestelmätestausten ja testauspäivänä mahdollisiin teknisiin haasteisiin varauduttiin usean henkilön voimin. Testauspäivä toteutui ilman merkittäviä haasteita, mikä heijastui myös oikaisuvaatimuksiin, joista yksikään ei kohdistunut soveltuvuudenarviointiprosessiin.

Arviointien toteutuessa ei-valvotuissa olosuhteissa väärinkäytöksen mahdollisuus piti myös arvioida jo suunnitteluvaiheessa. MPKK:n kanssa arvioitaville lähteviin ohjeisiin kirjattiin uusintatestauksen mahdollisuus pelotteena kurssipaikan saaneille, mikäli huijausta epäiltäisiin. Käytännössä kuitenkin vilpin mahdollisuus ja merkitys arvioitiin vähäiseksi, sillä varsinkaan persoonallisuustesteissä ei ole yhtä oikeata vastausta tai vain yhdestä muotista veistettyä kadettia.

COVID-19:n aiheuttamien rajoitusten vuoksi Toimintatapa-analyysejä (TTA) ei joukko-osastoissa myöskään ollut enää mahdollista toteuttaa. Ratkaisuksi tähän sovittiin, että hakijoille teetettiin Hogrefe Psykologien Kustannus Oy:ltä ostettu etätestipaketti, jonka Puolustusvoimien psykologi analysoi ja raportoi joukko-osastoon päätöksenteon tueksi. Prosessi oli aiemman siviileille teetetyn palvelukseenottotesti 2:n (POT2) kaltainen sillä erotuksella, että testit tehtiin etänä. Sotilastehtäviin tehtävät palvelukseenottotesti 2:t (POT2) toteutettiin lähes totuttuun

malliin. Laajimman tason psykologisissa soveltuvuudenarvioinneissa, palvelukseenottotesti 3:ssa (POT3), etätestausta täydensi psykologien videohaastattelu.

Testausten sovittaminen rajoituksiin aiheutti osastolla lisääntyneitä työkuormaa: linkkien lähettäminen, uudenlaisten testien ja tulosteiden opettelu, lausuntojen antaminen niissä arvioinneissa, jotka normaalioloissa tehdään joukko-osastoissa itsenäisesti (mm. TTA-testit), sekä stressi etätestien onnistumisesta. Työmäärän lisäksi testaukset aiheuttivat myös suurempia taloudellisia kustannuksia etätestauslisenssikustannuksina.

### Mitä opittiin?

Haastatteluissa osa informaatiota jää väkisininkin puutteelliseksi silloin, kun niitä ei pystytä toteuttamaan kasvotusten paikan päällä. Videohaastattelu on luonnollisesti toiseksi paras vaihtoehto, vaikka siinäkin osa elekielen antamasta lisäinformaatiosta jää usein saamatta. Suurin osa videopuheluista onnistui hyvin, vaikka välillä tekniikka tai inhimillinen tekijä aiheutti lisäksi sen, että yhteys ei toiminut ja oli pakko tyytyä perinteiseen kasvotomaan puheluun. Puolustusvoimissa käytössä olleet testit kyettiin kohtuudella korvaamaan kaupallisilla etätesteillä, joskin erityisesti Puolustusvoimissa kehitettyjä sotiluutta, sotilasjohtajuutta ja niihin liittyvää paineensietoa arvioimaan kehitettyjen testien puute nousi yhdeksi keskeiseksi haasteeksi.

Kokonaisuudessa etätestaus onnistui kuitenkin hyvin ja rohkaisi sen käyttöön tarvittaessa muulloinkin, vaikka vanhassa systeemissä omat selkeät vahvuutensa onkin. Osaa osaston omia testejä kaivattiin, ja emme, ainakaan vielä, saaneet simulatioita taikka ryhmätehtävää etänä toteutettua arvioinnin tueksi.

Seuraavien rajoitusten tullen olemme viisaampina ja valmiina!

#### Kirjoittajat:

Psykologian maisteri Anu Heikkinen työskentelee psykologina Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen toimintakykyosastossa.

Psykologian tohtori Petteri Simola työskentelee tutkimusalojohtajana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen toimintakykyosastossa.

Psykologian maisteri Kai Nyman työskentelee erikoistutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen toimintakykyosastossa.





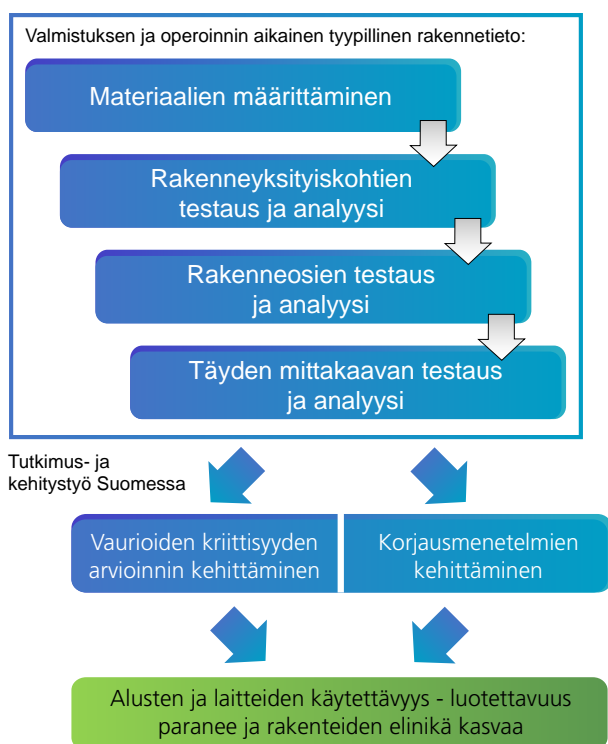


## **Puolustusvoimien logistiikkalaitos**

# Materiaalien ja rakenteiden kokeellinen tarkastelu DIC-menetelmällä

Rakenteilla ja materiaaleilla on merkittävä rooli erilaisten sotilaallisten alusten ja laitteiden toiminnan kannalta. Uusien materiaalien ja konseptien kehittämisen lisäksi tehdään tutkimustyötä merkittävästi myös nykyisten käytössä olevien materiaalien ja rakenteiden mekaanisen käyttäytymisen ymmärtämiseksi erilaisten kuormitusten ja olosuhteiden alaisena. Kokeellinen testaustoiminta on tärkeässä osassa rakenteiden ja materiaalien käyttäytymisen ymmärtämisessä erityisesti vaurioiden kannalta. Kokeellinen testaustoiminta ulottuu yksinkertaisista koekappaleista aina täyden mittakaavan rakenteisiin.

Testaustoiminnan tuloksia voidaan hyödyntää laskennallisten analyysimenetelmien kehittämisessä. Testaus- ja analyysimenetelmien kehittämistä voidaan hyödyntää vaurioiden kriittisyyden arviointiin mutta myös korjausmenetelmien kehittämiseksi. Näiden kehitysalueiden tutkimuksen tavoitteena on viime kädessä parantaa kaluston käytettävyyttä (kuva 1).



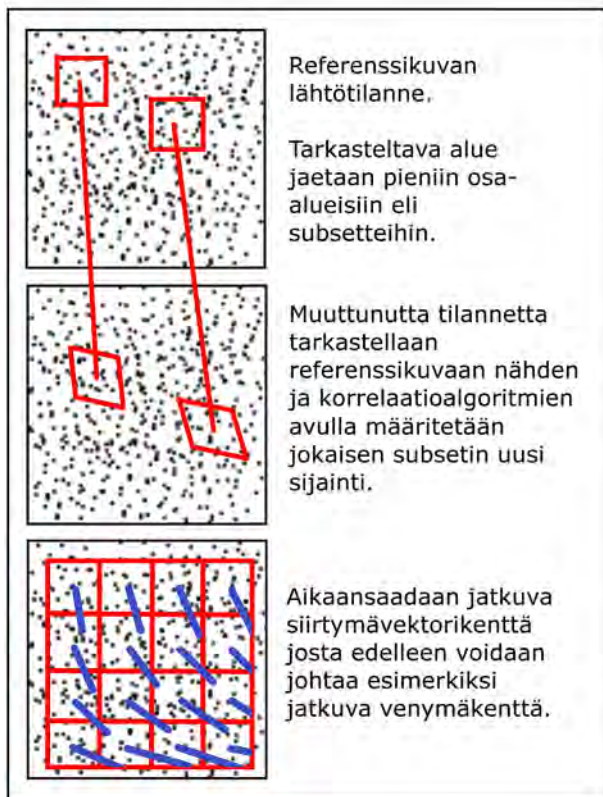
Kuva 1. Testaus- ja analyysimenetelmien kehittäminen suhteessa rakennetietoon.

Tampereen yliopiston Muovi- ja elastomeeritekniikan ryhmä on yhdessä Järjestelmäkeskuksen Ilmajärjestelmäsoston kanssa kehittänyt testaus- ja laskentamenetelmiä viime vuosina lentokonerakenteiden eliniän hallinnan tukemiseen. Tehdyssä työssä on keskitytty erityisesti komposiittirakenteiden ja liimaliitosten tutkimiseen. Työssä on aktiivisesti ollut myös mukana Patria Aviation Oy.

## Digital image correlation (DIC)

Kokeellisessa testauksessa halutaan tarkastella koekappaletta tai näytettä mahdollisimman tarkasti koko testin aikana eli kerätä mahdollisimman paljon tietoa analysoitavaksi. Perinteisen rakenteiden mekaanisen testauksen esimerkkinä koekappaleen muodonmuutoksia määritetään pistemäisesti muun muassa siirtymäantureita ja venymäliuskoja käyttäen. Tämä menettely tuottaa siirtymä- ja venymätietoa yksittäisistä kohdista. Tämä edellyttää näiden mittapisteiden tarkkaa määrittämistä etukäteen. Lisäksi saavutettava mittapisteiden määrä koekappaleella on riippuvainen testauksen resursseista eli käytettävien sensorien (kanavien) määrästä, ja puolestaan tulosten laatu on riippuvainen jokaisen käytetyn sensorin toiminnasta. Laitteiden ja ohjelmistojen kehityksen myötä 2000-luvulla on materiaalien ja rakenteiden tutkimuksessa yleistynyt kuvankäsittelyyn pohjautuvan DIC-menetelmän (Digital Image Correlation) eli digitaalisen kuvakorrelaation soveltaminen. DIC-menetelmässä koekappaleesta saatava muodonmuutostieto ei ole riippuvainen yksittäisistä kohdista.

DIC-menetelmän toimintaperiaatetta on havainnollistettu kuvassa 2. DIC-menetelmässä kappaleeseen luodaan satunnaisista muodoista koostuva kuviointi, jonka liikettä ja muutoksia seurataan kuvadatan perusteella. Kuviointi luodaan tyypillisesti maalilla. Se voidaan valita käytössä olevien rakenteiden testauksen tapauksessa helposti poistettavaksi tai toteuttaa myös erilaisilla teippauksilla halutun mittaus-tarkkuuden rajoissa. Kuvia otetaan normaaleilla mutta hyvin valituilla ja laadukkailla kameroilla. Käytettäessä kahta kameraa on mahdollista määrittää kappaleen muodonmuutokset kolmessa ulottuvuudessa (3D), kun tason muodonmuutosten (2D) määrittelyyn riittää yksi kamera. Kuvista määritettyjen muutosten perusteella voidaan laskennallisesti määrittää kappaleiden muodonmuutokset. Matemaattisen jälkikäsitteilyn perusteella muodonmuutoksista voidaan



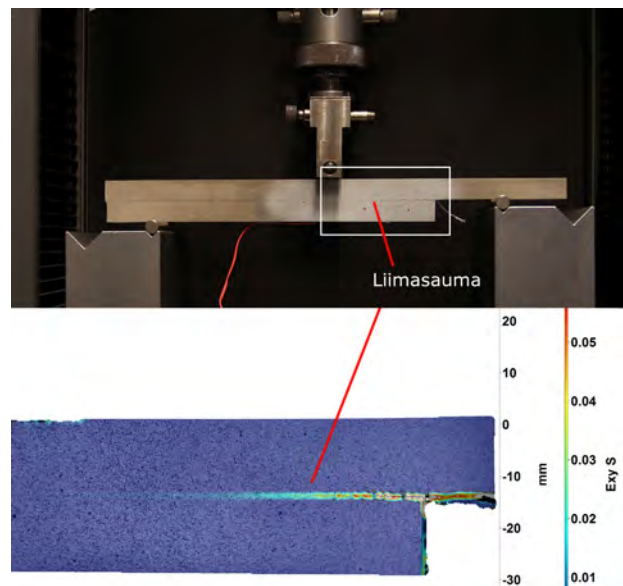
Kuva 2. DIC-menetelmän toimintaperiaatteen kuvaus.

laskea siirtymä- ja venymäsuureet koko kuvatulla pinnalla. DIC-menetelmää voidaan käyttää erikokoisten testattavien kappaleiden kuvaamiseen, eli muodonmuutosten määrittäminen onnistuu pienten millimetriluokkaa olevien kappaleiden tai yksityiskohtien muodonmuutosten mittaamisesta aina useiden metrien kokoluokkaan. Eri kokoluokkien kuvauksessa on toki asetuseroja tarkkuuden, kuvioinnin ja valaistuksen suhteen. Erityisesti kameroiden optiikka pitää valita tarkasti, sillä mittauksen kuva-ala sekä suurennossuhde ovat tärkeitä tekijöitä.

### Liimattujen rakenteiden tutkimus

Esimerkki Ilmajärjestelmäosaston kanssa tehdystä tutkimuksesta on liiman ja liimaliitosten mittaaminen. Kun liimasauman paksuus on millimetrin kymmenysten luokkaa, on liimassa etenevän särön havaitseminen hyvin vaikeaa. Kuvassa 3 on esitetty DIC-menetelmällä tehtävää liimasauman käyttäytymisen tarkastelua tapauksessa, jossa liimaan kohdistuu sekä avaavaa että leikkaavaa kuormitusta. Samaa tarkastelumenetelmää on käytetty myös liimaliitoksen särönkasvun seurauksessa väsyttävässä kuormituksessa.

Toinen esimerkki liimasauman tarkastelusta on esitetty kuvassa 4. Kuvassa 4 on esitetty hiilikuitulaminaatin ja titaanin liitos, jonka vaurioitumista on haluttu selvittää. Kyseisen liitoksen vaurioituminen kuormitettuna on hyvin nopea



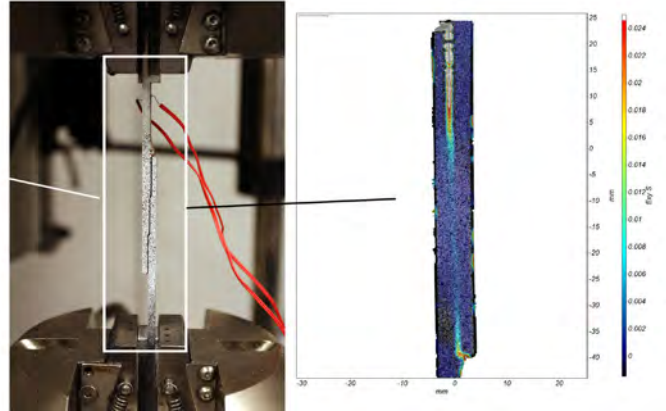
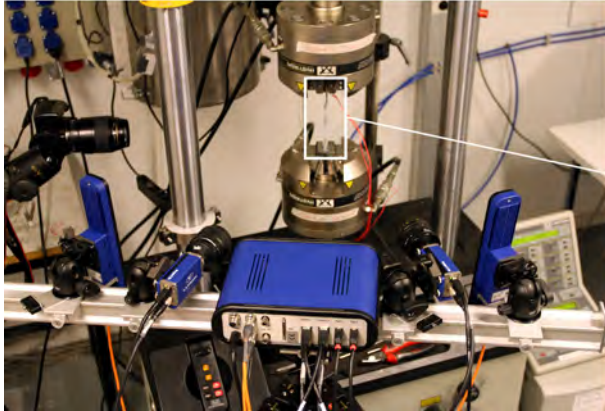
Kuva 3. Liimasauman käyttäytymisen tarkastelua taivutuskuormituksessa DIC-menetelmällä. (Kuva: Olli Orell)

prosessi. DIC-menetelmän avulla on ollut mahdollista määrittää vaurion alkamiskohta ja eteneminen. Esimerkin kaltaisissa rakenteissa vaurio voi edetä useassa paikassa ja eri materiaaleissa. Tällaisen lähempänä todellista olevien rakennyskohtien tarkastelu on ennen perustunut pääosin vain testajan subjektiiviseen näköhavaintoon.

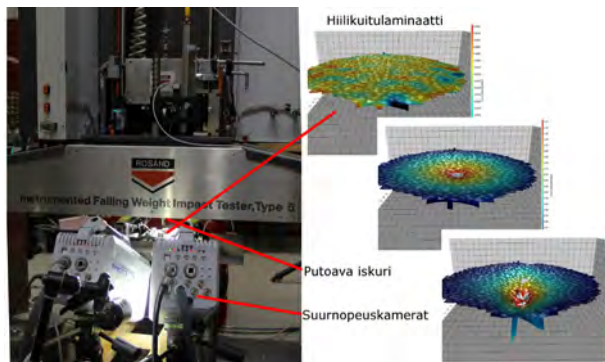
Tehtyä kokeellista tutkimusta on hyödynnetty erityisesti laskennallisten mallien ja menetelmien kehittämisessä. Laskennallisten mallien kehittäminen vaatii merkittävää määrää kokeellista toimintaa, josta voidaan määrittää erilaisia laskennallisia parametrejä mutta myös varmentaa laskennallisten mallien toimivuutta. Laskennallisten menetelmien etuna on mahdollisuus tarkastella helposti useita erilaisia kuormitustapauksia. Laskennallisilla menetelmillä on myös mahdollista ennustaa materiaalien ja rakenteiden vaurioitumista useissa eri tapauksissa. Näitä kehitettyjä laskennallisia menetelmiä on jo hyödynnetty lentokoneiden eliniän hallinnassa.

### Iskukuormitukset

DIC-menetelmällä voidaan tarkastella rakenteiden muodonmuutoksia ja vaurioitumista myös iskukuormitusten alaisena. Tampereen yliopistolla on soveltuvat laitteistot myös suurinopeuksisten iskujen kuvaamiseen, ja korkein kuvaustaajuus on noin 200 kHz. Kuvaustaajuuden kasvaessa käytettävissä oleva kuvan resoluutio kuitenkin heikkenee, ja tyypillisesti kuvaustaajuutena iskumaisten kuormitusten tarkkailussa käytetäänkin muutamista tuhansista muutamiin kymmeniintuhansiin kuviin sekunnissa. Laitteiston avulla saadaan täten hyvin lyhytkestoisista tapahtumista riittävästi informaatiota DIC-analyyysien suorittamiseksi. Nopeissa iskukuormituksissa kerättävä datamäärä kasvaa suureksi,



Kuva 4. Liimatun porrasliitoksen vaurioitumisen tarkastelu käyttäen DIC-menetelmää. (Kuva: Olli Orell)



Kuva 5. Iskukuormitetun laminaatin mittaus ja DIC-datan käsittely laminaatin pinnalta mitattuna. (Kuva: Olli Orell)

jolloin tallennetun tapahtuman kokonaisaika on yleensä maksimissaan muutama sekunti. Esimerkki DIC-laitteiston käyttämisestä iskukuormituksen tarkasteluun on esitetty kuvassa 5. Kuvassa on tarkasteltu iskukuormituksen aiheuttamaa muodonmuutosta vaurion syntymishetkellä ohuessa hiilikuitulaminaatissa pudotusiskulaitteiston avulla.

### Suurten rakenteiden tutkimus

DIC-laitteiston etuna on myös sen liikutettavuus. Mittausten tekeminen on mahdollista erilaisissa halli- ja ulkotiloissa yliopiston tilojen ulkopuolella. Käytännön rajoitteina ovat lähinnä kameroiden sopiva asettelu tarkasteluun nähden sekä riittävän tasaisen ja stabiilin valaistuksen luominen. Toistaiseksi Tampereen yliopistolla testatut suurimmat rakenteet ovat olleet muutamien metrien kokoluokassa, mutta erilaisia sovelluksia tarkastellaan tulevissa projekteissa. Kuvassa 6 nähdään esimerkki kolme metriä pitkän lasikuituputkiprofilin taivutuksesta. Maail-



Kuva 6. Usean metrin pituisen onton komposiittiputken taipuman määrittäminen DIC-kuvauksella. (Kuva: Olli Orell)

maalla tekniikkaa on hyödynnetty muun muassa lentokoneen siipien muodonmuutosten määrittämisessä sekä lentokoneen rungon pudotusiskussa aiheutuvien nopeiden tapahtumien tarkastelussa.

### Yhteenveto

DIC-menetelmä tarjoaa merkittäviä mahdollisuuksia kokeelliseen testaukseen. Menetelmän sovellusalue on laaja, aina pienistä yksityiskohdista suuriin täyden mittakaavan rakenneosiin. Menetelmää on jo hyödynnetty toteutetuissa tutkimuksissa ja niistä saatuja tuloksia on jalkautettu myös käytäntöön kaluston elinkaaren hallinnassa. Menetelmän käyttökohteiden laajentamiseksi on meneillään projekteja Tampereen yliopiston yhteistyökumppaneiden kanssa. Tieteellistä tutkimustyötä tehdään erityisesti DIC-mittausten ja laskennallisten simulaatiotulosten vertailemiseksi – tämä työ johtaa edelleen suunnittelussa ja korjauksissa käytettävien mallien ja menetelmien luotettavuuden paranemiseen.

#### Kirjoittajat:

Tekniikan tohtori Jarno Jokinen toimii tutkijatohtorina ja projektipäällikkönä, diplomi-insinööri Olli Orell tutkijana ja tekniikan tohtori Mikko Kanerva professorina (associate) Tampereen yliopiston muovi- ja elastomeeritekniikan tutkimusryhmässä.

# Maailmanlaajuinen terveys- turvallisuusohjelma ja varautuminen biologisiin uhkiin

Kulkutaudit ja niitä aiheuttavat mikrobit eivät tunnusta ihmisten tekemiä rajoja ja siksi vakaviin epidemioihin, kuten pandemioiden varautumisen on oltava maailmanlaajuisia. Suomessa biologisiin uhkiin on varauduttu poikkialaisen kansallisen sekä myös kansainvälisen avoimuutta korostavan yhteistyön kautta. Luonnollisten epidemioiden ennaltaehkäisy jo rajojemme ulkopuolella sekä kansainvälisen bioasevalvonnan tukeminen vähentävät biologisia uhkia ja niiden aiheuttamia seurauksia myös kotimaassa.

Vaikka kehittyneissä maissa olikin viime vuosien aikana varauduttu esimerkiksi influenssa A -viruksen aiheuttamiin pandemioiden, on tarttuvia tauteja näissä maissa pidetty ensisijaisesti uhkana ihmisten terveydelle eikä niinkään maiden taloudelle tai muulle turvallisuudelle. Kulkutaudit ovat

kuitenkin olleet jatkuva uhka kehittyville maille, ja klassisesti infektioepidemioiden ovat aiheuttaneet sodissa enemmän uhreja kuin itse sotatoimet.

Eri maiden sotilasorganisaatioilla on kriisitilanteissa valmiuksia siviiliviranomaisten auttamiselle. Maailman terveysjärjestö WHO:ssa tämä tunnistettiin jo ennen nykyisen COVID-19-pandemian puhkeamista ja siviili-sotilasyhteistyötä on heidän toimestaan pyritty parantamaan. Suomessa Yhteiskunnan turvallisuusstrategian mukainen poikkihallinnollinen ja koko yhteiskunnan toimintojen huomioiminen varautumisessa on kansainvälisesti esimerkillistä, ja Puolustusvoimat on kantanut oman vastuunsa kansallisesta varautumisesta. Puolustusvoimat on myös kansainvälisesti haluttu yhteistyökumppani biosuojelulääketieteellisen tutkimuksen ja varautumisen sarjoilla.

**Biouhka** on mikrobin tai biologisen materiaalin aiheuttama joukkosairastuminen tai sen uhka, kun tauti ei tartuntavaaransa vuoksi ole hoidettavissa normaalitoiminnan puitteissa, tai kyseessä on laaja joukkosairastuminen, jonka hallitsemiseen sairaalan tai sairaanhoitopiirin tavanomaiset resurssit eivät riitä. Kyseessä voi myös olla mikrobin tai toksiinin tahallinen levitys, kuten bioterrorismi tai biologinen sodankäynti.

**Bioturvallisuus** (biosafety) suojaa työntekijää ja ympäristöä mikrobilta.

**Bioturvaaminen** (biosecurity) estää valikoitujen mikrobin pääsyn vääriin käsiin ja niiden väärinkäyttöön.

**Käsitteelliset tutkimukset.** Käsitteellisiä ovat sellaiset tuotteet, tieto ja teknologia, joilla on sekä hyvä ja laillinen käyttötarkoitus että mahdollisuus vaarallisiin sovelluksiin pahantahtoisissa käsissä.

**Terveysturvallisuus** merkitsee kykyä ehkäistä, varautua ja vastata sekä luonnollisesti syntyneisiin että vahingossa tai tahallisesti levitettyihin tarttuviin tauteihin ja biouhkiin. Terveysturvallisuus on olennainen osa yhteiskunnan kokonaisturvallisuutta.

Yhdistyneitten kansakuntien alaisen Maailman terveysjärjestö WHO:n keskeinen instrumentti taistelussa tartuntatauteja vastaan on **Kansainvälinen terveysjärjestö** (IHR, päivitetty 2005). Terveysjärjestö velvoittaa jäsenmaat ilmoittamaan tautitapauksista, joihin liittyy kansainvälinen kansanterveydellinen uhka, sekä velvoittaa jäsenmaita kehittämään, vahvistamaan ja ylläpitämään valmiutta vastata tehokkaasti näihin uhkiin.

**Maailmanlaajuinen terveysturvallisuusohjelma, GHSA** (Global Health Security Agenda) on vuonna 2014 perustettu rajat ylittävien bio- ja terveysturvallisuusuhkien torjuntaan keskittyvä yhteenliittymä, johon kuuluu 69 osallistujamaata, keskeisiä kansainvälisiä järjestöjä sekä muita järjestöjä ja kaupallisia yrityksiä. Suomen puheenjohtajakaudella 2015 kehitettiin ja toimeenpantiin osallistujamaiden vapaaehtoisia, ulkoisen asiantuntijaryhmän tekemiä arviointikäyntejä, joista saatuja hyviä kokemuksia hyödyntäen WHO otti käyttöönsä IHR:n toimeenpanoa tukevat ulkoiset JEE-arvioinnit vuoden 2016 alusta alkaen (Joint External Evaluations).

**Biologisten uhkien osaamiskeskus** (BUOS) on vuonna 2005 perustettu biosuojelulääketieteen ja biologisten uhkien hallinnan kansallinen asiantuntijaorganisaatio, jonka toimintaan osallistuvat Terveystieteiden ja hyvinvoinnin laitos, Puolustusvoimat ja Ruokavirasto. BUOS:n ohjausryhmässä on lisäksi edustus sosiaali- ja terveysministeriöstä, puolustusministeriöstä sekä maa- ja metsätalousministeriöstä.



Henkilökohtainen suojautuminen on tärkeä osa bioturvallisuutta. Tansanian bioturvahankkeessa koulutetaan paikallisia asiantuntijoita ja viranomaisia esimerkiksi suojarusteiden oikeaoppiseen käyttöön. (Kuva: TKOS:n arkisto)

COVID-19-pandemian muusta kuin luonnollisesta alkulähteestä ei ole uskottavaa tieteellistä näyttöä. Tästä huolimatta vastaavan tapahtumaketjun uusiutumisen ehkäisyn varmistamiseksi epidemian alkulähde tulisi perin pohjin selvittää. Pandemia onkin jälleen kerran virittänyt keskustelua monella foorumilla tiedon avoimuuden tärkeydestä biouhka-agenssien tutkimuksessa.

### **Maailmanlaajuinen terveysturvallisuusohjelma (GHSA)**

Maailmanlaajuinen terveysturvallisuusohjelma (GHSA) perustettiin tukemaan Maailman terveysjärjestö WHO:n koordinoimaa varautumista ja vastetta vakavia infektiopidemiaita vastaan juuri ennen Länsi-Afrikkaa vuosina 2014–2016 koetellutta ebolavirus-epidemiaa, jossa yli 28 000 ihmistä sairastui tautiin ja heistä menehtyi yli 11 000. Epidemia muistutti mieleemme, miten infektiopidemat eivät uhkaa ainoastaan ihmisten terveyttä vaan vaikutukset ulottuvat koko yhteiskuntaan ja sen kehitykseen.

Suomen GHSA-puheenjohtajuuden aikana vuonna 2015 kehitetty maiden ulkoinen terveysturvallisuuden arviointimekanismi osoittautui niin käyttökelpoiseksi ja osallistuja-

maiden parissa suosituksi, että se on otettu tietyn lisäyksen WHO:n Kansainvälisen terveysturvallisuuden tueksi vuodesta 2016. Ensimmäinen WHO:n koordinoima ulkoinen Joint External Evaluation arviointi (JEE) toteutettiin Tansaniassa helmikuussa 2016. Vuoden 2019 loppuun mennessä yhteensä 113 maata on arvioitu ja Suomen arviointi suoritettiin vuonna 2017 turvallisuuskomitean valtuutuksella. Meneillään oleva koronaviruspandemia ja sen aiheuttamat matkustamisrajoitukset ovat toistaiseksi keskeyttäneet näiden avoimuutta ja eri toimialojen interaktiivisuutta korostavien arviointien järjestämisen vuonna 2020.

JEE-prosessissa kunkin maan kyvyt 19 osa-alueella arvioidaan liikennevalomallilla ja numeerisin mittarein, joiden edistymistä voidaan seurata tulevissa arvioinneissa. Kyseessä ei ole tarkastus, vaan vapaaehtoinen arviointi tehdään yhteistyössä ulkoisen arviointiryhmän, isäntämaan eri hallinnonaloja edustavien asiantuntijoiden ja johdon kanssa. Isäntämaan sitoutuminen arviointiryhmän tekemille toimenpide-ehdotuksille onkin siksi vahva. Arvioinnin tulokset ja toimenpide-ehdotukset julkaistaan WHO:n toimesta, ja niiden pohjalta isäntämaa laatii kansallisen terveysturvallisuuden parantamissuunnitelman.

## WHO:n JEE-arviointien tuloksia – Bioturvallisuudessa ja bioturvaamisessa kehittämistä

Vuoden 2020 aikana riehunut COVID-19-pandemia on osoittanut, että infektiotaudit eivät kehittyneissäkään maissa ole vain terveydenhuoltosektorin huoli vaan vaikutukset ovat koko yhteiskuntaa koskevia.

Jo alun perin GHSA-ohjelmaa perustettaessa yksi tärkeimmiksi koetuista alaohjelmista oli Bioturvallisuus ja bioturvaaminen (Biosafety & Biosecurity). Vaikka monissa maissa työntekijöiden turvallisuutta takaava bioturvallisuus olikin hyvällä mallilla, ei biouhka-agenssien väärin käsiin leviämisen uhkaan vastaava bioturvaaminen niinkään ollut kaikkien siviilitoimijoiden tai ohjelmaan osallistuvien maiden huomion keskipisteenä. Useat kehittyneissä maissa biouhka-agensseiksi koetut taudinaiheuttajat ovatkin kehittyvissä maissa ihmis- tai eläintauteja aiheuttavia tavanomaisempia kotoperäisiä (endeemisiä) terveydellisiä uhkia.

GHSA:n Bioturvallisuus ja bioturvaaminen -alaohjelman heinäkuun lopussa 2020 julkaiseman lausunnon mukaan tutkittujen maiden varautumista kuvaavan GHS-indeksin perusteella 66 %:lla maista puuttui riittävät linjaukset bioturvallisuudelle ja 81 %:lla maista puuttui riittävät linjaukset bioturvaamiselle. Lisäksi lähes kaikilta mailta puuttui riittävä valvonta potentiaaliselle kaksikäyttötutkimukselle erityisen vaarallisilla taudinaiheuttajamikrobeilla. Näin ollen terveys- ja turvallisuudesta vastuullisten tahojen tulisi nykytilanteessa olla erityisen varuillaan SARS-CoV-2- ja muihin patogeeneihin liittyvistä bioturvallisuus- ja bioturvaamisriskeistä.

Maat eivät ennen nykyistä koronaviruspandemiaa tehtyjen selvitysten perusteella olleet myöskään riittävästi varautuneet maailmanlaajuiseen katastrofaaliseen biologiseen tapahtumaan, kuten uuden luonnollisen patogeenin leviämiseen tai ihmisen manipuloiman tahalliseen tai vahingossa levittämään taudinaiheuttajaan.

### Tansanian bioturvahanke

Yksi Suomen GHSA-panostuksista on ollut ulkoministeriön (UM) rahoittama ja Sotilaslääketieteen keskuksen yhdessä Tansanian eläinlääkintälaboratorion (Tanzania Veterinary Laboratory Agency, TVLA) toteuttama ja UM:n sekä puolustusministeriön ohjaama Tansanian bioturvahanke. Meillä potentiaalisina bioterrorin ja biosodankäynnin välineinä tunnetut mikrobit aiheuttavat kehitysmaissa luonnollisia epidemioita eläimille ja ihmisille. Tansanian kenttäolosuhteissa tekemämme tutkimus on siten luonut ainutlaatuisia valmiuksia tunnistaa biouhka-agensseja vaativissa kenttäolosuhteissa ja antanut mahdollisuuksia kouluttaa henkilöstöämme biologisten tunnistusmenetelmien käytön todellisissa eikä vain simuloituissa olosuhteissa.

Yhdysvaltalaisen EcoHealth Allience -järjestön suorittamassa ulkoisessa arvioinnissa huhtikuussa 2017 hankkeen todettiin olevan aikataulussaan ja saavuttaneen sille asetetut laajat tavoitteet. Hankkeen vaikuttavuuden paikallisella, kansallisella ja kansainvälisellä tasolla todettiin olleen kiitettävää. Tansania on mm. hankkeen aikana ratifioinut Biologiset aseet kieltävän kansainvälisen sopimuksen (BWC). Hankkeemme onkin herättänyt toteutukseltaan ja saavutuksiltaan kansainvälisesti positiivista huomiota, ja Puolustusvoimat koetaan haluttavaksi yhteistyökumppaniksi.



(Kuva: Puolustusvoimat / Jarno Kovamäki)

#### Kirjoittaja:

Professori Simo Nikkari on Sotilaslääketieteen keskuksen tutkimus- ja kehittämisosaston osastonjohtaja. Hän on toiminut myös Biologisten uhkien osaamiskeskuksen johtajana ja vara-johtajana vuodesta 2005 sekä asiantuntijana GHSA-JEE-prosesseissa ja Tansanian bioturvahankkeen tieteellisenä johtajana.







**Maasotakoulu, Maavoimien tutkimuskeskus**

# Arjen välineet johtamisen tukena

**Paikallispuolustuksen rooli ja paikallispataljoonien tehtävät ovat hioutuneet vuodesta 2016 alkaen järjestetyissä paikallispuolustusharjoituksissa. Osaan harjoituksia on sisällytetty tutkimus- ja kokeilutoimintaa, joissa on selvitetty arjen välineiden soveltumista paikallispuolustuksen johtamiseen. Paikallispuolustuksen kehittämiseen tähtäävä tutkimustyö jatkuu Maavoimissa, joten aihepiiri on edelleen ajankohtainen.**

**Tämän artikkelin näkökulmana on paikallispataljoonan yksiköiden sisäiseen johtamiseen soveltuvat arjen ratkaisut. Artikkelin perustuu kirjoittajan Kehä219- ja Kehä220-paikallispuolustusharjoitusten yhteydessä tekemiin havaintoihin, haastatteluihin ja kyselyihin.**

## Asevelvollisten valmiudet

Asevelvollisilla on hyvät arjen välineisiin liittyvät perusvalmiudet. Niissä harjoituksissa, joissa asevelvolliset ovat käyttäneet johtamisvälineinä älypuhelimia ja niihin varta vasten asennettuja sovelluksia, ratkaisujen käyttöönotto on lähes poikkeuksetta onnistunut hyvin.

Ulkopuoliset tutkimukset tukevat havaintoa. Traficomien 30.6.2020 julkaiseman Viestintäpalvelujen kuluttajatutkimus 2020:n mukaan 90 %:ssa suomalaisia kotitalouksia on matkapuhelin, jolla voi soittaa sekä puheluja että käyttää internetyhteyttä. Älypuhelimien käyttö on myös hyvin yleistä. Tilastokeskuksen Väestön tieto- ja viestintätekniiikan käyttö tutkimus 2019:n mukaan 93 % alle 45-vuotiaista on käyttänyt internetissä pikaviestipalveluja älypuhelimella.

Ennen paikallispuolustusharjoituksia asevelvollisilta kysyttiin puolistrukturoidulla lomakehaastattelulla, aikovatko he ottaa oman arjen välineen mukaan tulevaan harjoitukseen.

### Arjen käsitteet

**Arjen väline** tarkoittaa jokapäiväisessä elämässä käytettyjä päätelaitteita, tietoliikenneverkkoja, ohjelmia ja palveluja. Esimerkkeinä älypuhelin, LTE-matkapuhelinverkko ja mobiilidatapalvelu. Arjen väline voi olla suunniteltu yhtä lailla niin kuluttaja- kuin yrityskäyttöönkin.

**Arjen ratkaisu** tarkoittaa arjen välineillä toteutettua tietyn käyttötapauksen toteuttavaa kokonaisuutta. Esimerkkinä pikaviestiratkaisu, jonka osia ovat pikaviestisovellus ja tähän liittyvä pilvipalvelu.

**Arjen järjestelmä** tarkoittaa arjen ratkaisuista koostuvaa järjestelmäkokonaisuutta. Esimerkkinä tiedustelujohtamisjärjestelmä, jolla voi välittää paikkatietoon sidottuja kuvia sisältäviä tiedustelutietoja ja joka rakentuu pikaviestiratkaisun ja paikannusratkaisun varaan.

Vastaajista 99 % (kuva 1) vastasi kysymykseen myöntävästi. Tulos on hyvin linjassa muihin harjoituksiin osallistuneiden asevelvollisten vastausten kanssa.

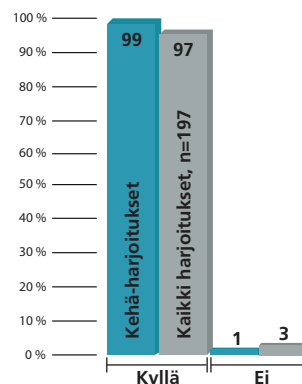
Kun kartoitettiin oman arjen välineen harjoituskäyttöön liittyviä erityisehtoja (kuva 2), korostuivat laitteen vakuuttaminen harjoituksen järjestäjän taholta, käyttöön annettava ilmainen SIM-kortti, harjoituskäyttöön annettavat suoja-kuoret sekä ohjelmistojen ja muiden lisäosien asennuskielto ilman omistajan erillistä lupaa. Ainoana muuna ehtona esitettiin, että Puolustusvoimat korvaisi laitteelle sattuvat mahdolliset vahingot. 40 % vastaajista ei asettanut mitään erityisehtoja oman laitteen käyttöön.

Ennakkoon mainituista ehdoista huolimatta Puolustusvoimat ei vakuuttanut asevelvollisten omia arjen välineitä paikallispuolustusharjoituksissa. Molemmilla harjoituksilla kuitenkin jaettiin kaikille AR-käyttäjille ennakkoon maksettu SIM-kortti, jonka saldo mahdollisesti rajoittamattoman mobiilidatan käytön koko harjoituksen ajan. Molemmat toimintamallit ovat loppujen lopuksi olleet ilmeisen onnistuneita.

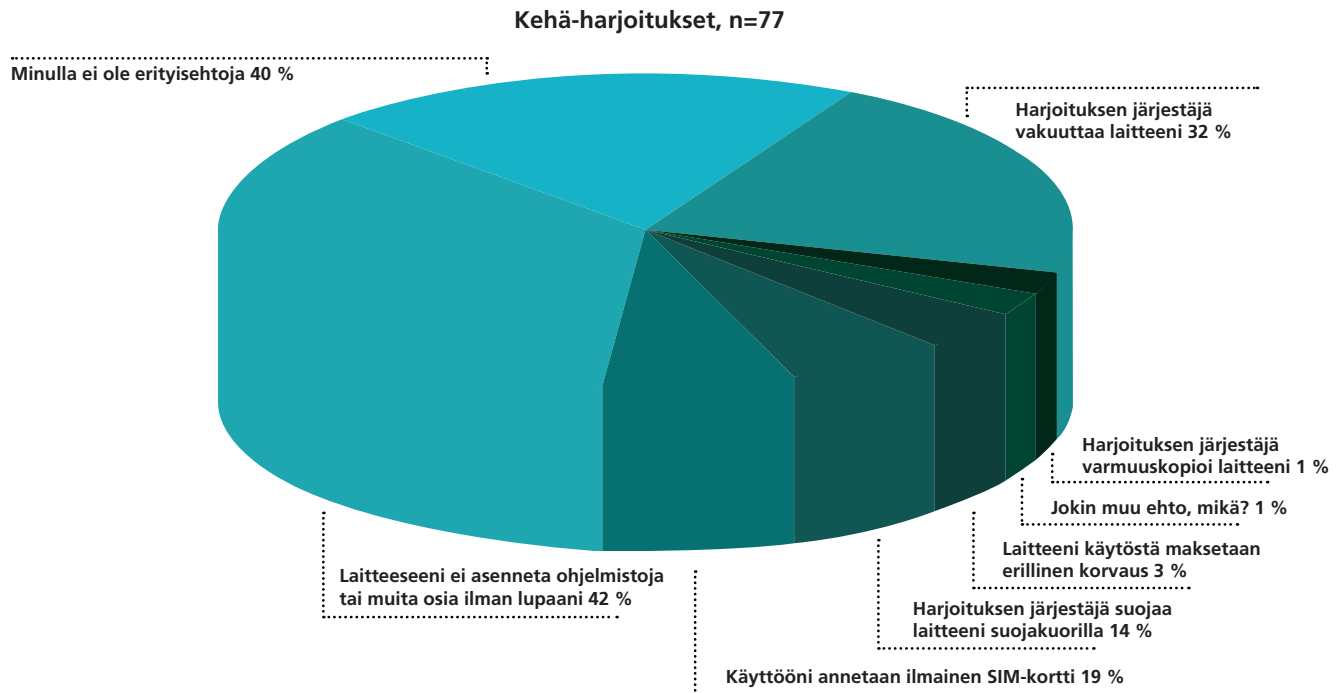
## Arjen ratkaisut tehtävissä

Syksyn 2019 paikallispuolustusharjoituksessa arjen ratkaisujen pääkohderyhmänä oli varusmiehistä koostuva sotilaspoliisikomppania. Vuotta myöhemmin Kehä220-harjoituksessa arjen johtamisjärjestelmä oli käytössä koko paikallispataljoonan laajuudessa tärkeimpinä käyttäjinä reserviläisistä muodostettu maakuntakomppania ja varusmiehistä koostuva sotilaspoliisikomppania.

Maakuntakomppanialle tyypillisiä tehtäviä ovat kohteiden suojaus, alueen valvonta, virka-aputehtävät ja erikoisjouk-



Kuva 1. Otatko oman arjen välineen mukaan seuraavaan harjoitukseen? (Grafiikka: Valtteri Vanhatalo)

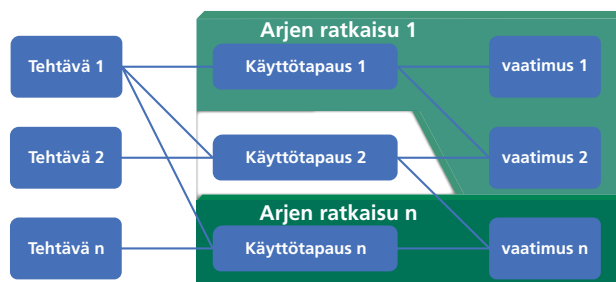


Kuva 2. Oman arjen välineen harjoituskäyttöön liittyvät erityisehdot. (Grafiikka: Valtteri Vanhatalo)

kojen vastainen toiminta. Vastaavasti sotilaspoliisikomppanialle tavallisia tehtäviä ovat etsintä- ja kiinniottotehtävät, alueen valvonta, yhteistoiminta poliisin kanssa ja sotavankitehtävät. Paikallispuolustusharjoituksissa arjen ratkaisut olivat pääasiassa käytössä yksiköiden harjoittelemassa alueen valvonta- (ALVA), etsintä- ja kiinniotto- (ETKO) sekä kohteensuojaus (KOSU) -tehtävissä.

### Käyttötapaukset ja vaatimukset ratkaisuvaihtoehtojen taustalla

Harjoituksiin sopivien arjen ratkaisujen valinta edellytti tehtäviin liittyvien käyttötapausten tunnistamista ja vaatimusten keräämistä. Nämä tehtiin henkilökunnan kanssa käytyjen keskustelujen pohjalta. Kehä219-harjoitusta edelsi lisäksi haastattelututkimus, jonka avulla kartoitettiin käyttötapausta.



Kuva 3. Tehtävien, käyttötapausten, vaatimusten ja arjen ratkaisujen väliset riippuvuussuhteet.

Kartoituksen tuloksena syntyi malli (kuva 3), jonka mukaan tehtävään voidaan liittää yksi tai useampi käyttötapausta. Käyttötapausta vuorostaan sisältävät yhden tai useampia vaatimuksia. Käyttötapausta ja tähän liittyvien vaatimusten kokonaisuutta voidaan kutsua arjen ratkaisuksi.

Vaatimukset jakautuivat toiminnallisiin ja ei-toiminnallisiin vaatimuksiin. Toiminnallisilla vaatimuksilla tarkoitetaan vaatimuksia, jotka liittyvät käyttäjän ja ratkaisun väliseen suoraan vuorovaikutukseen, esimerkiksi 'puheen tulee välittyä puhekanavalle painettaessa kuulopuhelimen painiketta'.

Paikallispuolustusharjoituksissa havaittiin mm. seuraavat tehtävittäin ryhmitetyt käyttötapausta:

#### ALVA-käyttötapausta

- (1) Partion tulee kyetä ilmoittamaan havaintonsa pikaviesteinä, jotka sisältävät tekstiä ja kuvia.
- (2) Kommentaarin tulee kyetä tarkastelemaan partion sijaintia tosiaikaisesti karttapohjalla.
- (3) Kommentaarin ja partion välille tulee voida muodostaa salattu puheluyhteys.

### ETKO-käyttötapaukset

- (4) Pikatilanteessa tulee kyetä käyttämään taktista puhetta tehtäväkohtaisessa puheverkossa.
- (5) Taktista puhetta tulee voida käyttää kaikissa tilanteissa ilman, että arjen välinettä kaivetaan esiin varustuksesta.
- (6) Käytetyn matkapuhelinverkon peiton tulee mahdollistaa dataliikenne sekä kohteen sisällä että sen ulkopuolella.

### KOSU-käyttötapaukset

- (7) Komentopaikan ja vartiopaikkojen välille tulee voida muodostaa sekä taktinen puheyhteys että salattu puheluyhteys.
- (8) Arjen välinettä tulee voida käyttää vähintään yksi vuorokausi ilman uudelleen latausta.
- (9) Joukon johtajalle tulee voida jakaa kohteen rakentamiseen liittyviä ei-turvaluokiteltuja salattuja asiakirjoja.

Harjoituksissa tehtiin lisäksi havaintoja ei-toiminnallisista ratkaisun toimintaa tai ominaisuuksia yleisemmin kuvavista vaatimuksista. Seuraavassa joitakin ei-toiminnallisia vaatimuksia:

- (a) Kaiken puheyhteyksillä siirretyn tiedon tulee kulkea päästä päähän salattuna.
- (b) Kaikki pikaviesteihin liitetty tieto, teksti, ääni, video ja paikka, tulee siirtää päästä päähän salattuna ja mahdollisesti yksityisen virtuaalisen erillisverkon yli.
- (c) Arjen välineiden tulee sulautua yleiseen matkapuhelinverkon sähkömagneettiseen spektriin mahdollisimman hyvin ja tarjota suojaa vihollisen tiedustelua vastaan.

### Arjen ratkaisuvalinnat

Molempia harjoituksia varten kasattiin 3–5 hengen tiimi aktiivireserviläisiä. Tiimien ensimmäisinä tehtävinä oli analysoida ja tunnistaa käyttötapauksien ja ei-toiminnallisten vaatimusten pohjalta harjoituksiin parhaiten sopivat arjen

ratkaisutyypit. Kehä-harjoituksissa kokeiltiin osittain samoja ja osittain eri ratkaisuja (taulukko 1).

Ratkaisutyypien tunnistamisen jälkeen tiimit kartoittivat vaihtoehtoisia sovelluksia ja palveluja, jotka soveltuisivat harjoituskäyttöön. Kartoitusprosessin aikana vaihtoehtoja listattiin mm. lukemalla sovellusvertailuja Internet-sivuilta, tekemällä Internetiin hakusanahakuja, keräämällä vertais-suosituksia reserviläiskerhoista ja omien kokemusten perusteella.

Molemmissa harjoituksissa oli käytössä sekä pilvipalveluja että paikallisille palvelimille asennettuja palveluja. Osa ratkaisuisista perustui avoimeen lähdekoodiin, ja siksi ne olivat vapaasti käytettävissä. Osaan ratkaisuja käytettiin kaupallisia tuotteita, joiden kokeilun mahdollistivat ilmaiset kokeilulisenssit.

Kokeilutoiminnalla kerättiin tietoa eri ratkaisujen soveltuvuudesta eri tehtäviin sekä syvennettiin käyttötapauksiin liittyvien toiminnallisten ja ei-toiminnallisten vaatimusten ymmärrystä. Vaikka käytetyt sovellukset ja palvelut eivät itsessään olleet kokeilutoiminnan keskiössä, saatiin näiden ominaisuuksista, käytettävyydestä ja skaalautuvuudesta hyvä kuva samalla, kun ymmärrys arjen välineiden sotilaallista käyttöä rajoittavista ja toisaalta mahdollistavista piirteistä kasvoi.

### Ratkaisujen soveltuvuuden arviointi

Kokeiltuja arjen ratkaisuja voidaan epäilemättä käyttää kaikissa harjoitelluissa tehtävätyypeissä (ALVA, ETKO, KOSU). Silti on nähtävissä, että toiset ratkaisut soveltuvat toisiin tehtäviin paremmin kuin toisiin. Erot johtuvat itse tehtävistä, toimintaympäristöistä ja käyttäjistä. Arjen ratkaisujen sopivuutta eri tehtäviin voidaan tarkastella tehtäväluokkien avulla. Tällaisia ovat *tehtävän tempo, tehtävän kesto ja tehtäväalueen laajuus*.

Arjen ratkaisutyypit	Kehä219	Kehä220	Liittyy käyttötapaukseen ja/tai vaatimukseen
Taktinen puhe	X	X	4, 5, 6, 7, 8, a, c
Salattu puhelu		X	3, 6, 7, 8, a, c
Pikaviesti	X	X	1, 6, 8, b, c
Tilannekuva/paikannus	X	X	6, 8, c
Digitaalinen kartta	X	X	2
Tiedoston jako		X	9

Taulukko 1. Kehä-harjoituksissa kokeillut ratkaisutyypit ja näihin liittyvät käyttötapaukset ja vaatimukset.



Tilanteen mukaista johtamista arjen välineellä, VHF-radiolla ja VIRVE-päätelaitteella Kehä220-harjoituksessa. (Kuva: Puolustusvoimat)



Arjen ratkaisut Kehä219-harjoituksessa sotilaspoliisikomppanian komentopaikalla. (Kuva: Tatu Tahkokallio)

## Tempo vaikuttimena

Harjoituspalautteiden myötä on käynyt selväksi, että nopea-tempoiset tehtävät vaativat taisteluteknisellä tasolla tuekseen puheen mahdollistavat johtamisvälineet. Perinteisesti tällaisia ovat olleet VHF-radiot. *Taktinen puhe* vastaa VHF-puhetta ja on käyttötapausten (4) täyttävä arjen välineellä toteutettu ratkaisu. Taktisen puheen käytettävyyttä ovat hankaloittaneet kaupallisesti saatavilla olevien älypuhelimiin liitettävien PTT (push-to-talk) -lisälaitepainikkeiden puutteet: painonapit ovat pääsääntöisesti olleet liian pieniä, virrankulutus on ollut liian suurta tai napit ovat jättäneet puhekanavia auki.

Muihinkin ongelmiin on törmätty. Käyttäjälähteissä on tuotu ilmi, että laitteet ovat liian alttiita rikkoutumiselle, kuulokemikrofonijohdot ovat liian ohuita, liittimet eivät ole yhteensopivia tai laitteita ei voi käyttää samalla, kun toinen käsi operoi asetta.

Huolimatta ongelmista arjen ratkaisujen soveltuvuutta nopea-tempoisiin tehtäviin voidaan edistää ja toteuttaa käyttötapausten (5) ja (8) käyttämällä sopivia lisälaitteita. Tällaisia ovat mm. Bluetooth-yhteydellä älypuhelimiin paritettavat pelkän PTT-ominaisuuden toteuttavat painikkeet, joilla taktisen puheen käyttökokemus on lähempänä VHF-radioa, ja erilliset keveähköt USB-varavirtalähteet, joiden kapasiteetti voi olla jopa kymmenkertainen älypuhelimien omaan

akkuun nähden. Myös taktiseen käyttöön suunnitellut älypuhelimien kantovarusteet parantavat käytettävyyttä ja antavat niille suojaa.

Nopeatempoisiin tehtäviin sopivat kaikki sellaiset arjen ratkaisut, jotka eivät vaadi käyttäjältä jatkuvaa interaktiota ja toimivat älypuhelimessa taustalla. Tällainen ratkaisu on esimerkiksi *tilannekuva/paikannus*, jonka avulla voidaan toteuttaa käyttötapausten (2).

Mikäli tehtävä on hidastempoinen tai ei vaadi aseensa jatkuvaa ja aktiivista käyttöä, sopiva arjen ratkaisu on käyttötapausten (1) mahdollistava *pikaviesti*-ratkaisu.

## Keston vaikutus tehtävään

Tehtävän pituudella voi olla kaksijakoinen vaikutus arjen välineen virrankulutukseen. Jos käytetään paikannusratkaisua, joka saa GPS-vastaanottimelta paikkatiedon ja joka lähettää oman paikkansa tilannekuvajärjestelmälle usein, voi akku kulua hyvin nopeasti.

Toisaalta pitkäkestoisissa tehtävissä voi olla helpompi löytää hetkiä ja paikkoja, joissa arjen välineen saa lataukseen laitteen toiminta-ajan ylläpitämiseksi ja pidentämiseksi. Tehtävän kestolla voi olla myös vaikutusta siihen, kykeneekö taistelija kaivamaan laitteen varusteiden suojasta esille ja keskittymään esim. vastaan-



Reserviläisen oma PMR-radio taisteluliiviin kiinnitettynä.  
(Kuva: Tatu Tahkokallio)

otettujen viestien tai tiedostojen lukemiseen. Voidaan todeta, että *pikaviesti-* ja *tiedostojen jako* -ratkaisut soveltuvat lähtökohtaisesti paremmin pidempi- kuin lyhytkestoisiin tehtäviin.

### Tehtäväalueen vaikutus

Laaja tehtäväalue itsessään puoltaa arjen ratkaisuiden käyttöä. Tämä on käynyt ilmi harjoitusten palautekeskusteluissa, kun vertailukohtina ovat olleet taistelunjohtamiseen tarkoitettut VHF-radiot tai reserviläisten harjoituksiin tuomat PMR- (Professional Mobile Radio) tai metsästyksen tarkoitettut VHF-radiot. Toimivaa matkapuhelinverkkoa hyödyntävät arjen välineet mahdollistavat laajalle alueelle ryhmitetyn joukon johtamisen ja nojaavat käyttötapaukseen (6).

*Salattu puhelu* tukee laajalla tehtäväalueella toimimista erityisesti silloin, kun tarvitaan kaksisuuntaisia puheyhteyksiä kahden pisteen tai ryhmien kesken, vaikkapa tilannekatsauksen tai käyttötapauksien (3) tai (7) toteuttamiseksi.

Tehtäväalueiden laajuuden vuoksi kartan käyttö on yleensä käytännössä pakollista, jolloin *digitaalinen kartta* on luonteva ratkaisu. Myös *tilannekuva/paikannus* soveltuu hyvin, kun halutaan todentaa esimerkiksi joukkueiden tai ryhmien ryhmitys tai seurata niiden muutoksia.

Kartat ja paikannus voivat soveltua myös suppeisiin tehtäväalueisiin, mikäli ratkaisuilla kyetään esittämään esimerkiksi rakennuksen pohjapiirros ja joukko sen sisällä. Tällaiseen tilanteeseen voi soveltua oivallisesti myös käyttötapauksessa (9) hyödynnettävä *tiedoston jako* -ratkaisu.

### Pohdinnat ja johtopäätökset

Paikallisuuspolustusharjoitusten myötä on osoitettu, että arjen ratkaisuja voidaan tietyin rajoituksin käyttää paikallispataljoonien sisäiseen johtamiseen. Joukoilla on perusvalmius käyttää arjen ratkaisuja, ja siviilitarpeisiin suunnitellut ratkaisut tukevat sotilaallista johtamista vähintään tyydyttävästi.

Harjoituksissa tavattiin joukkoja, jotka olivat omaehtoisesti omaksuneet arjen ratkaisut osaksi tehtävätaktiikkaansa. Tällainen oli mm. komppania, jonka toimintamallissa arjen ratkaisua käytettiin taistelukosketukseen saakka ja vasta tästä eteenpäin VHF-radiota. Toinen joukko käytti sisäiseen johtamiseensa omia PMR-radiota. Arjen ratkaisut ovat tulleet jäädäkseen osaksi paikallisuuspolustusjoukkojen johtamista.

Siviiliratkaisujen nopea kehitys tekee arjen välineistä liikkuvia maaleja. Mm. SIM-kortteihin perustuvia liittymäidentiteettejä korvataan jo nyt digitaalisilla eSIM-identiteeteillä matkapuhelinverkoissa. Jäämme mielenkiinnolla seuraamaan, miten arki tukee ja muuttaa paikallisuuspolustuksen toimintamalleja tulevaisuudessa.

#### Kirjoittaja:

Diplomi-insinööri Tatu Tahkokallio toimii erikoistutkijana Maavoimien tutkimuskeskuksessa. Työn ohessa Tahkokallio tekee väitöskirjatutkimusta arjen ratkaisujen soveltamisesta sotilaalliseen käyttöön MPKK:n operaatiotaidon ja taktiikan laitoselle.







## **Merisotakoulu, Meritaistelukeskus**

# Merenpohjan sedimenttien laadun arviointi

**Merivoimien yksi tärkeimmistä merenpohjan kuvantamismenetelmistä on viistokaikumosaiikit (SSS-mosaiikit). Merellisissä operaatioissa tarvitaan nopeita ja tehokkaita merenpohjan tunnistus- ja luokittelumenetelmiä. Merenpohjan tunnistaminen ja luokittelu voidaan tehdä useilla eri menetelmillä, mutta tässä artikkelissa keskitytään CIELAB-värianalyysiin ja Gabor-filtointiin.**

Viistokaiku (Side Scan Sonar = SSS) on kaikuluotainjärjestelmä, jota käytetään luomaan kuva suhteellisen laajasta merenpohjan alueesta. Viistokaikuluotain tutkii merenpohjan muotoja sekä ensimmäisiä sedimenttikerroksia. Viistokaikuluotain luo kuvan merenpohjasta lähettämällä äänisignaalin, jonka kaiusta muodostuvista peräkkäisistä viivoista muodostuu kuva.

Viistokaiun kuvilta pystytään tulkitsemaan, onko pohjan koostumus pehmeää vai kiinteää ainesta. Kuvista pystytään erottamaan isot lohkarit ja erilaiset esineet, kuten hylyt, ankkurit ja kaapelit. Ääniaalto lähetetään perässä tai sivulla hinattavan kaikuluotaimen sivuilta, ja se muodostaa luotaimen kummallekin puolelle viuhkamaisen säteen, jolla mitataan merenpohjaa useita kertoja sekunnissa. Takaisin palaavat signaalit (kaiku) tallennetaan sekä prosessoidaan reaaliaikaisesti kuvaksi merenpohjasta.

Tutkimuksen tavoitteena on löytää työkalu merenpohjan luokitteluksi kahteen luokkaan; pehmeisiin (geoteknisesti määriteltynä: ei-kantava sedimentti) ja koviin (kantavat sedimentit) sedimentteihin. Suomen merialueiden pohjasedimenttien luokittelu on haastavaa, koska jääkauden vaikutusten vuoksi merenpohjan sedimenttien spatiaalisuus on hyvin suurta. Merenpohjan diversiteettiin eli monimuotoisuuden vaikuttavat sedimenttien laatu, geomorfologia ja merenpohjan kasvillisuuden määrä ja laatu. Viistokaikukuvien luokittelu on mahdollista tehdä manuaalisesti ihmisilmän tunnistusta käyttäen, mutta tämä menetelmä on aika vievää. Luotainkuvien erittäin tekstuurisen ulkonäön vuoksi tekstuurianalyysitekniikat ovat yleinen valinta merenpohjan akustisten kuvien analysoimiseksi.

## K-means-klusterointi

Klusterointi on datan havaintojen jakamista ryhmiin siten, että mahdollisimman samankaltaiset havainnot ovat omissa ryhmissään (klustereissa) ja ryhmien väliset erot samankaltaisuuden suhteen olisivat mahdollisimman suuret.

Klusterointialgoritmit voidaan jaotella osittaviin (partitional clustering), hierarkkisiin (hierarchical clustering) ja malliperustaisiin menetelmiin (model-based clustering).

K-means-algoritmi kuuluu osittaviin menetelmiin. Se on vanhin ja tunnetuin osittava klusterointimenetelmä. Merenpohjan luokittelussa K-means on valintana luonnollinen, koska haettavien klustereiden (luokkien) määrä on ennalta tunnettu. K-means tunnetaan myös nimellä Lloydin algoritmi. Algoritmin idea kehitettiin jo 1950-luvulla (Hugo Steinhaus, Stuart Lloyd). Käyttäjän kannalta K-means-algoritmi on käytännöllinen, koska ainoat parametrit ovat klustereiden lukumäärä  $k$ , klustereiden alustaminen ja etäisyysmitta. Näistä parametreista klustereiden lukumäärän valitseminen on kaikista tärkein.

Tässä tapauksessa K-means-algoritmi on tuotettu seuraavasti, algoritmi 1:

1. Valitaan satunnaisesti ensimmäisten klustereiden keskuskeskukset.
2. Lasketaan kaikille havainnoille etäisyydet pisteestä klustereiden keskuksiin.
3. Määritetään jokainen havainto klusterin lähimpään keskuskeskukseen.
4. Lasketaan havaintojen keskiarvo jokaisessa klusterissa, jotta saadaan uusien keskuskeskusten paikat.
5. Toistetaan kohdat 2–4, kunnes klustereiden keskipisteet eivät enää muutu.

## CIELAB-väriavaruus

CIE (International Commission on Illumination) esitteli vuonna 1976 uuden väriavaruuden, CIELAB. CIELABia suositellaan käytettäväksi värierojen mittauksiin, sillä se on yhtenäisempi kuin CIEXYZ-väriavaruus. CIELAB on käänteisväriavaruus, ja sillä on kolme akselia:  $L^*$  (valoisuus) sekä  $a^*$  (punainen–vihreä) ja  $b^*$  (sininen–keltainen), jotka ovat käänteisvärien koordinaattisuunnat. Värierojen mittaaminen  $L^*a^*b^*$ -väriavaruudessa on mahdollista laskemalla kahden väripisteen euklidinen etäisyys eli kahden pisteen välille piirretyn suoran pituus.

Tutkimuksessa hyödynnettiin MatLabin väriperusteista segmentointia, jota käytettiin yhdessä K-means-klusteroinnin kanssa.

Algoritmi 2 toteutettiin seuraavasti:

1. Luetaan kuva.
2. Konvertoidaan kuva RGB-väriavaruudesta Lab-väriavaruuteen.
3. Luokitellaan värit 'ab'-avaruudessa K-means-klusteroinnin avulla.
4. Luodaan kuvat, jotka segmentoivat alkuperäisen kuvan värien avulla.
5. Segmentoidaan kuva värydinten perusteella.

### Gabor-filtteri

Gabor-filtteri (Gabor-suodatin) kuvankäsittelyssä on lineaarinen suodatin, jota käytetään tekstuurianalyysissä. Käytännössä kuvan suunnattua taajuussisältöä havainnoidaan analysoidun kuvapisteen ympäristössä. Gabor-suodatuksella voidaan toteuttaa monikaistasuodattimia, jotka oletettavasti toimivat samoin kuin ihmisen näköjärjestelmä. Gabor-menetelmillä on saatu varsin hyviä tuloksia monissa vertailututkimuksissa.

Käytetty algoritmi 3 muodostettiin seuraavasti:

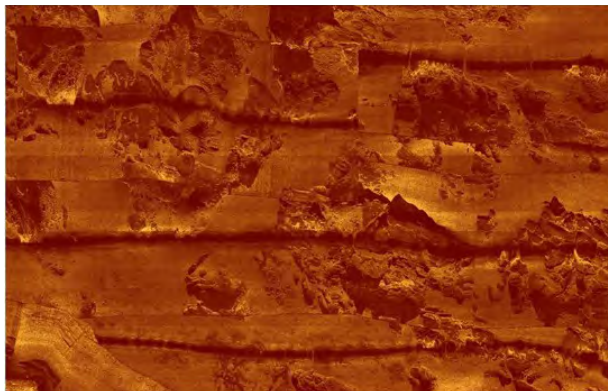
1. Luetaan kuva.
2. Segmentoidaan kuva kahteen alueeseen käyttäen K-means-klusterointia.
3. Luodaan 24 Gabor-filtteriä, jotka kattavat kuusi eri aallonpituutta ja neljä eri suuntaa.
4. Konvertoidaan kuva harmaasävyyden.
5. Suodatetaan kuva Gabor-filttereiden läpi.
6. Pehmennetään jokainen filttteriöity kuva, jotta saadaan poistettua paikalliset vaihtelut.
7. Täydennetään jokainen pikseli spatiaalisella paikkatiedolla.
8. Yhdistetään kunkin pikselin intensiteetti-, lähialuetekstuuri- ja paikkatieto.
9. Segmentoidaan kuva kahteen alueeseen käyttämällä K-means-klusterointia täydennetyllä ominaisuusjoukolla.

### Tulokset merenpohjan luokittelusta

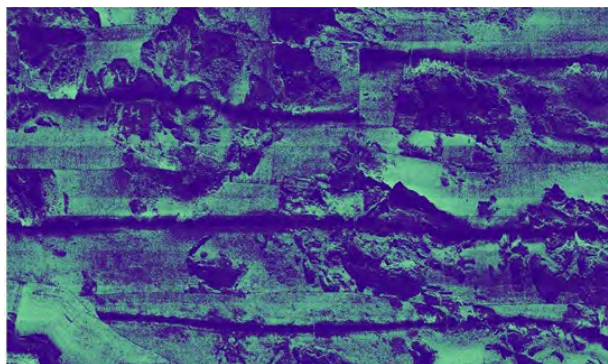
Kaikissa tässä kokeilluissa menetelmissä hyödynnettiin osittain K-means-klusterointia segmentoimaan viistokaiku- luotaimen antama kuva. Tässä on esimerkkituloksia käyttämällä alkuperäistä kuvaa, joka oli nimetty "kivikkoinen kalliainen pohja".

### Segmentointi käyttäen K-means-klusterointia

K-means-klusterointi on ohjaamaton oppimisalgoritmi, joka tuottaa kuvasta k-alueita, jotka ovat laskennallisesti lähinnä toisiaan.



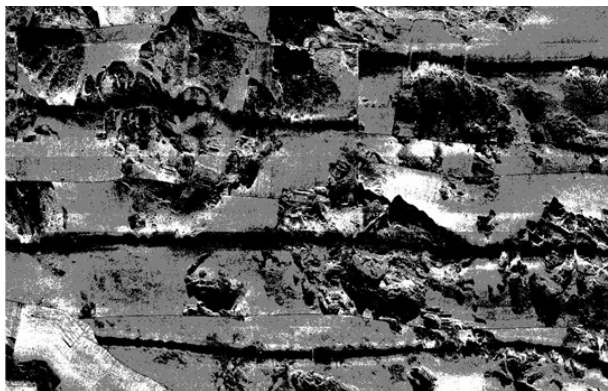
Kuva 1. Alkuperäinen SSS-kuva 'kivikkoinen kalliainen pohja'.



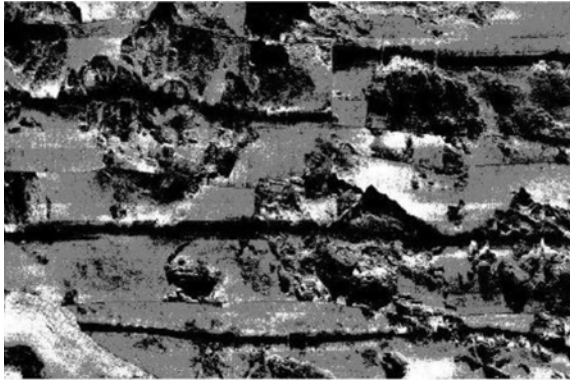
Kuva 2. SSS-kuva 1 jaettuna kahteen alueeseen käyttäen K-means-klusterointia.

### Segmentointi käyttäen CIELAB-väriavaruutta

Ensin kuva konvertoidaan RGB-väriavaruudesta Lab-väriavaruudeksi. Seuraavassa vaiheessa luokitellaan värit ab-avaruudessa käyttäen K-means-klusterointia. Väritiedot ovat ab-väriavaruudessa, ja kohteet ovat pikseleitä, joiden arvo on a tai b. K-meansilla kuva ryhmitellään kolmeen klusteriin, joissa kuva on jaettu pikseleiden väritietoihin. Näin saavutamme seuraavan kuvan 3.



Kuva 3. SSS-kuva jaettuna klustereihin.



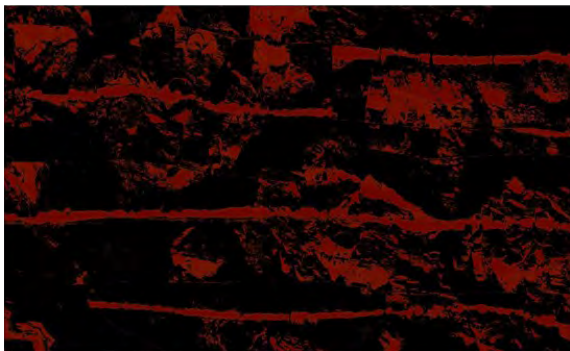
Objects in cluster 2



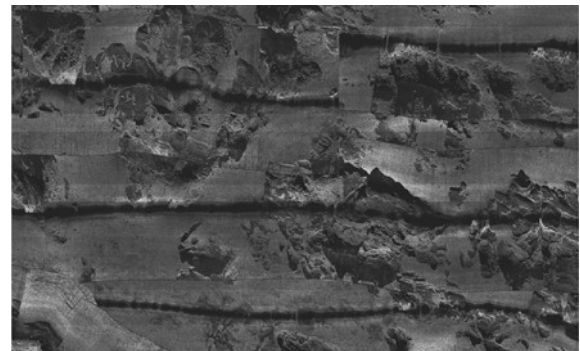
Objects in cluster 3



Kuva 4. Lab-väreihin perustuva klusterointi: kuvan 'kivikkoinen kalliainen pohja' jokainen kuvapikseli merkittynä ylä-vasen, klusteri 1 ylä-oikea, klusteri 2 ala-vasen, klusteri 3 ala-oikea.



Kuva 5. Klusterin 3 tummanpunaiset väriytimet.



Kuva 6. SSS-kuva 'kivikkoinen kalliainen pohja' harmaasävyisenä.

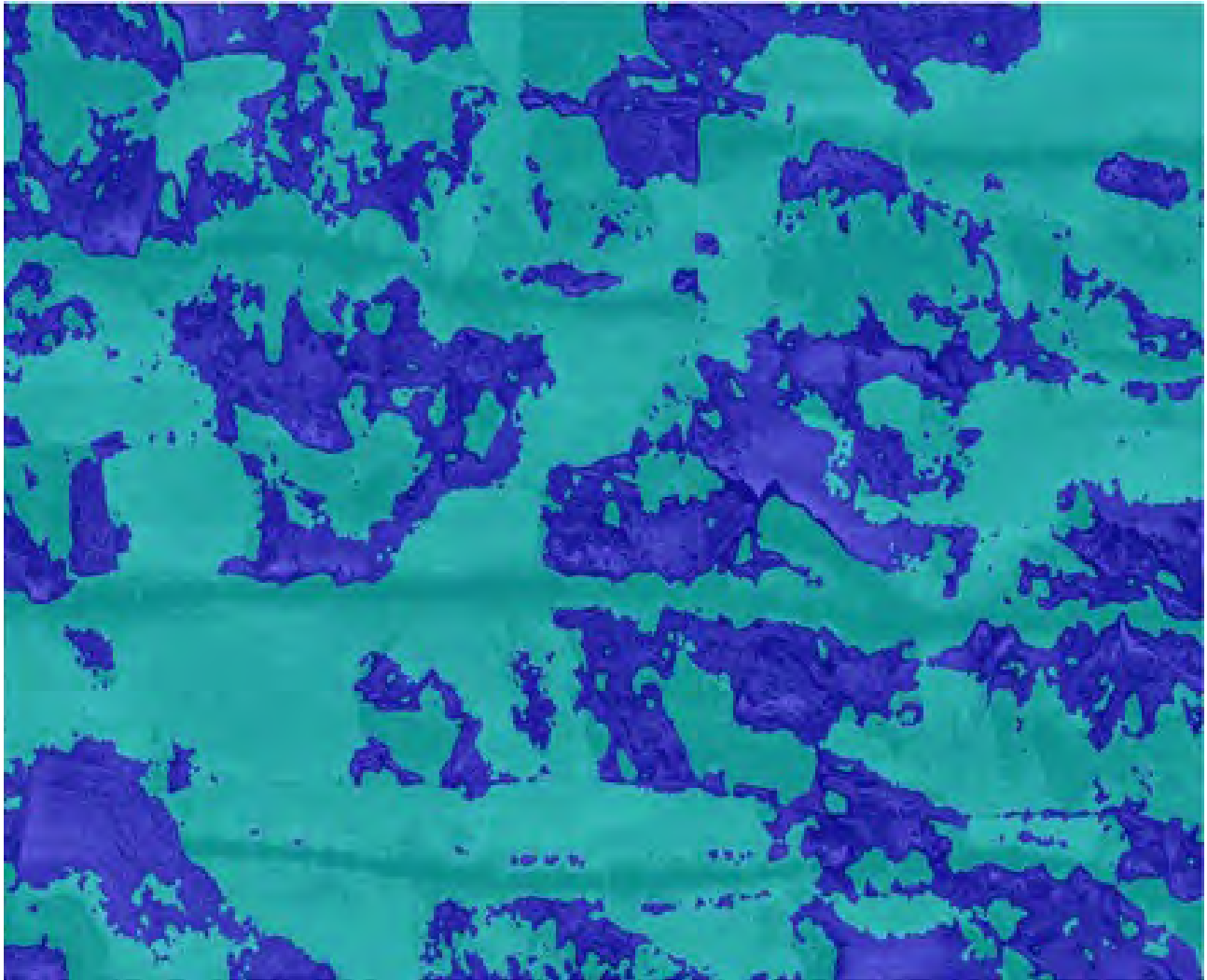
Klusteri 1 sisältää punaisia värejä. Siinä näkyy tumman- ja vaaleanpunaisia kohteita. Tummanpunainen saadaan erotettua vaaleanpunaisesta hyödyntämällä valoisuutta eli ns. L-kerrosta Lab-väriavaruudessa. Väriytimet ovat tässä tummanpunaisia.

### Segmentointi käyttäen Gabor-suodatusta

Tässä parannetaan K-means-klusterointia, joka esitetään kuvassa 2, lisäämällä kuvaan informaatiota jokaisesta pikselistä ja sen ympäristön tekstuurista. Jotta saadaan teks-

tuuri-informaatio käyttöön, suodatetaan harmaasävykuva Gabor-filttereillä. Tätä varten luotiin 24 Gabor-filtteriä, jotka kattavat kuusi aallonpituutta ja neljä suuntaa.

Kun kuva 6 on suodatettu ja pehmenetty, täydennetään jokainen pikseli spatiaalisella paikkatiedolla. Lisätieto auttaa K-means-klusterointia suosimaan ryhmittelyjä, jotka ovat lähellä toisiaan. Seuraavaksi yhdistetään kunkin pikselin intensiteetti-, lähialuetekstuuri- ja paikkatieto. Lopuksi segmentoidaan kuva kahteen alueeseen käyttämällä K-means-klusterointia täydennetyllä ominaisuusjoukolla.



Kuva 7. SSS-kuva 'kivikkoinen kalliainen pohja' jaettuna kahteen alueeseen käyttäen K-means-klusterointia lisätyllä kuvainformaatiolla.

## Yhteenveto

K-means-klusteroinnilla tehtyä segmentointia on mahdollista parantaa käyttämällä CIELAB-väriavaruutta ja Gabor-filtteröintiä. CIELAB-väriavaruuden käyttö oli suhteellisen hidasta ja vaati myös paljon käsityötä, mikä oli menetelmän heikkous. Toisaalta Gabor-filtteröinnin antamat lupauvat tulokset antoivat viitteitä sen käytöstä automaattisessa

merenpohjan luokittelussa. Gabor-filtteröinnissä ihmistyömäärä on myös huomattavasti pienempi. Menetelmän suurin heikkous on siinä, että filtteröintien lopputulokset eivät ole aivan ortogonaaliset, mikä oletettavasti vaikuttaa tekstuurien korrelaatioon. Tulevaisuudessa tekstuurianalyysia on mahdollista kehittää hyödyntämällä aaltomuotoa, koska tiedetään, että aallonpituuden energiakertoimet ovat hyviä erottelemaan merenpohjan laatua.

### Kirjoittajat:

Filosofian tohtori Sari Penttinen toimii osuushdeasantuntijana Merisotakoulun Meritaistelukeskuksessa vedenalaisensodankäynnin tukitietokeskuksessa.

Filosofian tohtori Kalle Saastamoinen toimii tutkijana Maanpuolustuskorkeakoulun sotatekniikan laitoksella.





**Satakunnan lennosto, Ilmataistelukeskus**



# HX-hankkeen sotilaallisen suorituskyvyn arviointi

## HX-hankkeen taustaa

HX-hankkeen tehtävänä on löytää parhaiten Suomen suorituskykyvaatimukset täyttävä ja toimintaympäristöön soveltuva monitoimihävittäjään perustuva kokonaisratkaisu. Tällä ratkaisulla korvataan vuosina 2025–2030 poistuva HN-kaluston suorituskyky aina 2050-luvun loppuun saakka. Hanke käynnistyi syksyllä 2015 puolustusministeriön tekemän esiselvitysraportin julkaisun jälkeen. Keväällä 2016 lähetettiin tietopyyntö (Request For Information - RFI) Ison-Britannian, Ranskan, Ruotsin ja Yhdysvaltojen hallituksille. Tietopyyntövastaukset saatiin viideltä valmistajalta, jotka olivat BAES (Eurofighter), Boeing (Super Hornet), Dassault (Rafale), Lockheed Martin (F-35) ja Saab (Gripen E). Hankkeen ensimmäisen neuvotteluvaiheen käynnisti vuonna 2018 lähetetty alustava tarjouspyyntö (Request For Quotation - RFQ). Ensimmäisen tarjouspyynnön vastausten ja käytyjen neuvottelukierrosten tuloksena laadittiin tarkennettu tarjouspyyntö, joka lähetettiin kandidaateille vuonna 2019. Lopullinen tarjouspyyntö (Best And Final Offer - BAFO) viimeisteltiin hankkeen aikana saatujen tietojen ja käytyjen neuvotteluiden perusteella ja lähetettiin vuoden 2020 alussa. Puolustusvoimien esitys hankittavaksi kokonaisratkaisuksi valmistuu tämän vuoden loppupuolella. Lopullisen valintapäätöksen tekee valtionneuvosto.

## HX-hankkeen ylöspäin suuntautuva optimointimalli ja sotilaallinen suorituskyky

HX-hankkeessa käytetään ylöspäin suuntautuvaa optimointimallia (kuva 1), jonka tavoitteena on muodostaa yhteistyössä jokaisen HX-kandidaatin kanssa Suomen kannalta paras kokonaisratkaisu. Jotta päästään sotilaallisen suorituskyvyn arviointiin, on määritettävä kokonaisratkaisu, joka täyttää asetetut huoltovarmuusvaatimukset, mahtuu elinkaarikustannuksiltaan annettuun budjettiin ja vastaa teollisen yhteistyön vaatimuksiin. Prosessi on luonteeltaan iteratiivinen. Tällä arviointimallilla vältytään perinteiseltä monikriteeriarvioinnilta, sen edellyttämiltä painokertoimien asettamiselta ja toisistaan riippumattomien asioiden keskinäiseltä arvottamiselta.

Sotilaallisen suorituskyvyn päätösalue muodostuu kahdesta osa-alueesta (kuva 2). Vaikuttavuuden ja soveltuvuuden osa-alueella arvioidaan HX-kandidaatin suoriutumista asetetuista tehtävistä suomalaisessa toimintaympäristössä. Arvio suoriutumisesta kuvaa, kuinka kandidaatin kokonaisratkaisu täyttää asetetut operatiiviset suorituskykyvaatimukset. Tarkastelussa käytetään laadullisia ja määrällisiä arviointia, jotka perustuvat kunkin HX-kandidaatin kyvykkyyksiin ja järjestelmiin. Arviointimenetelmä huomioi kunkin



Kuva 1. HX-hankkeen arviointimalli.

HX-kandidaatin toimintatavat ja niiden vaikutuksen tehtävistä suoriutumiseen. Tässä artikkelissa keskitytään vaikuttavuuden ja soveltuvuuden osa-alueeseen.

Kehityspotentiaalın osa-alueella arvioidaan HX-kandidaatin säilymistä suorituskykyisenä Suomen toimintaympäristössä aina elinkaarensa loppuun saakka. Arvioinnissa syntyy määrällinen ja laadullinen arvio HX-kandidaatin kehityspotentiaalista, jota määrittävät uskottavuus, vaikuttavuus ja soveltuvuus. Osa-alueen arvioita käytetään herkkyyksianalyysiin lopullisessa kokonaisarviossa tarkastelemalla, muuttuuko HX-kandidaatin kokonaisarvio otettaessa kehityspolkujen tuoma suorituskykyisiä huomioon.

### Vaatimusten asettaminen ja jäsentäminen

Sotilaallisen suorituskyvyn arviointi on tutkimusongelmana erittäin mielenkiintoinen, haastava ja monitahoinen kokonaisuus. Viiden toisistaan poikkeavan HX-ratkaisun yhteismitallinen arviointi edellyttää huolellista suunnittelua, laajaa tiedonhankintaa, monimenetelmällisyyttä ja analyttistä lähestymistapaa. Sotilaallisen suorituskyvyn arviointi voidaan nähdä tutkimusprojektina. Monimutkaisen ja laajan ongelmanratkaisun edellytys on hahmottaa itse ongelma, jäsentää se hallittaviin osakokonaisuuksiin ja löytää oikeat menetelmät osaongelmien ratkaisemiseksi.

HX-hankkeen vaatimusten asettamisessa on käytetty Top Down -menetelmää (kuva 3), jossa HX-kandidaateille ase-

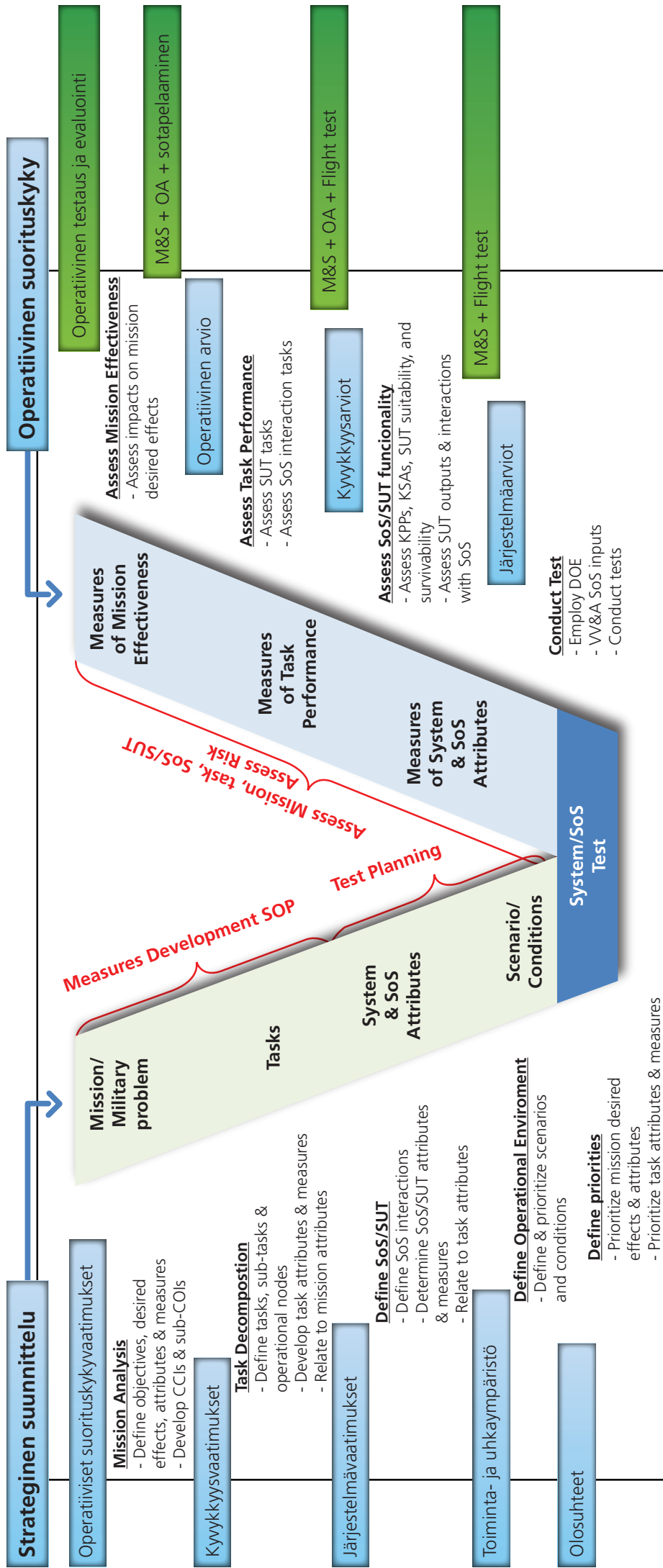
tetut vaatimukset on ryhmitelty kolmelle tasolle ja kytketty toisiinsa. Vaatimukset on luokiteltu erikseen kriittisiin, ensisijaisiin ja toissijaisiin vaatimuksiin. Ensimmäisenä on tunnistettu operatiivisen tason suorituskykyvaatimukset, jotka ovat johdettu Puolustusvoimien tehtävistä ja strategisen suunnitteluprosessin puolustusjärjestelmälle asettamista vaatimuksista. Yhtenä kriittisenä operatiivisena suorituskykyvaatimuksena HX-hankkeessa on kyky hankkia ilmanhallintaa. Operatiivisten suorituskykyvaatimusten täyttyminen edellyttää erilaisia kyvykkyyksiä, joilla halutut vaikutukset tuotetaan ja joilla kyetään selviytymään taistelussa. Näillä perusteilla on johdettu kyvykkyyksivaatimukset, jotka kytkeytyvät operatiivisiin suorituskykyvaatimuksiin. Ilmanhallinnan hankkiminen edellyttää esimerkiksi kykyä tuottaa vaikutuksia kohteisiin. Kyvykkyydet puolestaan tuotetaan erilaisilla järjestelmillä ja niiden yhdessä muodostamalla järjestelmäkokonaisuudella. Järjestelmävaatimuksessa edellytetään tiettyä toiminnallisuutta tai suorituskyvyn raja-arvon saavuttamista. Kyky tuottaa vaikutuksia kohteisiin edellyttää esimerkiksi asejärjestelmää, jolla on riittävä kantama. HX-ratkaisun on lisäksi sovelluttava suomalaisiin olosuhteisiin, toiminta- ja uhkaympäristöön.

### Vaatimusten täyttymisen arviointi ja käytettävät menetelmät

Vaatimusten täyttymisen arviointi sotilaallisen suorituskyvyn kokonaisuudessa toteutetaan Bottom Up -menetelmällä (kuva 3). Arviointi koostuu kolmesta eri vaiheesta.



Kuva 2. Sotilaallisen suorituskyvyn osa-alueet HX-hankkeessa.



Kuva 3. HX-hankkeen vaatimusten asettamiseen ja niiden täyttymisen todentamiseen käytetty V-malli.

Ensimmäisessä vaiheessa arvioidaan, onko yksittäisten järjestelmien suorituskyky HX-kandidaatin vastauksissaan ilmoittaman mukainen. Arviointi perustuu kandidaatin toimittaman tiedon analysointiin, lentotutkimukseen sekä simulointiin ja mallinnukseen. Kandidaatin toimittamasta tiedosta arvioidaan sen laatua, uskottavuutta ja yhdenmukaisuutta. Järjestelmien suorituskyvystä saatu tieto pyritään todentamaan lentotutkimuksella, jossa pistemäisellä otannalla varmistetaan, että järjestelmien suorituskyky vastaa ilmoitettua. Suorituskykyä voidaan lisäksi arvioida laboratoriossa erilaisilla mallinnustyökaluilla.

Ilmataistelukeskus on yhdessä muiden Puolustusvoimien tutkimusorganisaatioiden ja kumppaneiden kanssa rakentanut mallinnus- ja simulointityökaluja. Näihin työkaluihin voidaan mallintaa kandidaattien järjestelmät. Mikäli järjestelmän suorituskykyä ei kyetä uskottavasti todentamaan tai siitä jää epävarmuus, käytetään arvioinnissa pessimistisiä arvoja. Järjestelmäarviossa muodostetaan lisäksi ymmärrys kokonaisjärjestelmän toiminnasta. Tyypillisiä mitta-arvoja järjestelmäarviossa ovat mm. havaintoetäisyydet, erottelukyky, polttoaineen kulutus, havaittavuus ja tiedonsiirtokapasiteetti (verkottuminen). Järjestelmäarvio toimii syötteenä kyvykkyyсарvioinnille.

Toisessa vaiheessa arvioidaan kyvykkyyssvaatimusten täyttymistä. Kyvykkyyсарvion perusteena ovat järjestelmäarviot. Kyvykkyyсарvioinnissa hyödynnetään kandidaattien toimittamia vastauksia, joista arvioidaan, kuinka eri kyvykkyyksiä hyödynnetään ketjutetuissa tehtäväpoluissa eri käyttötapauksissa. Kyvykkyyssastolla arviointimenetelminä käytetään osin lentotutkimusta, lentosimulaattoreita, operaatioanalyysityökaluja sekä mallinnusta ja simulointia. Lentotutkimuksella voidaan arvioida, kuinka kandidaattien ilmoittamat kyvykkyydet todellisuudessa ovat käytettävissä. Lentosimulaattoreilla kyvykkyyksien hyödyntämistä voidaan arvioida haastavammassa toiminta- ja uhkaympäristössä. Samalla kyetään lisäämään ymmärrystä ratkaisuun liittyvistä toiminta- ja käyttöperiaatteista. Operaatioanalyysityökaluja hyödynnetään mm. voiman riittävyden ja kohdentamisen arvioinnissa. Mitta-arvoina kyvykkyyssastolla käytetään mm. kykyä tuottaa vaikutuksia ja selviytyä taistelussa. Kyvykkyyсарvio toimii edelleen syötteenä operatiiviselle arviolle.

Kolmannessa vaiheessa arvioidaan operatiivisten suorituskyvyvaatimusten täyttymistä. Arvioinnin lähtökohtana käytetään kyvykkyyсарvioita. Ensimmäisenä arvioidaan, kuinka

HX-ratkaisu kykenee tuottamaan halutut vaikutukset eri skenaarioissa. Samalla arvioidaan mm. käytettyjä resursseja, selviytymiskykyä, joustavuutta, tilannekuvan jakamista ja läsnäoloa. Perusteina arviolle käytetään kandidaattien tuottamia vastauksia, alemman tason arvioita, operaatioanalyysityökaluja, simulointia ja mallinnusta. Mitta-arvoina käytetään operatiivisten suorituskyvyvaatimusten täyttymistä. Lopullinen arvio kandidaatin operatiivisesta suorituskyvystä muodostetaan pitkäkestoisessa simuloitussa sotapelissä, jossa toteutetaan useita peräkkäisiä ilmaoperaatioita suomalaisessa operaatioympäristössä. Sotapelin perusteena käytetään tarjouspyynnön perusteena olleita skenaarioita, joita käytetään taustalla myös alemmien tasojen arvioinneissa. Tukeutumiskonseptin joustavuuden ja soveltuvuuden arviointi toteutetaan Suomen olosuhteissa, toiminta- ja uhkaympäristössä. Soveltuvuuden mitta-arvoina käytetään mm. lentosuoritusten tuottamista, tehtäväkelpoisuutta, lentoonläh- tö- ja laskusuoritusarvoja, tehtävänvalmistelua, -purkua ja raportointia.

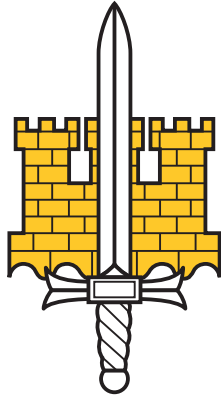
## HX EVAL -projekti

HX EVAL -projekti on päävastuullinen sotilaallisen suorituskyvyn arvioinnin valmistelussa, suunnittelussa, toteuttamisessa ja raportoinnissa. Projektin henkilöstöllä on pitkä kokemus ja monipuolinen osaaminen operatiivisesta toiminnasta, lentotutkimuksesta, operaatioanalyysistä sekä simuloinnista ja mallinnuksesta. Sotilaallisen suorituskyvyn arvioinnin mallia on kehitetty vuosien aikana iteratiivisesti ja se on altistettu ulkopuolisen auditoijan kritiikille. Projektin henkilöstö on osallistunut kaikkiin HX-hankkeen aikana toteutettuihin todentamistapahtumiin ja suunnitellut tiedonhankinnan ja todentamisen kokonaisuuden hankejohdon ohjauksessa. Kaikille kandidaateille on hankkeen aikana tarjottu tasapuoliset mahdollisuudet todentaa oman ratkaisunsa suorituskykyä yhteisesti valituilla tavoilla. Tarvittavan tietopohjan muodostaminen on koostunut kandidaattien toimittamien vastausten ja niihin liittyvän dokumentaation analysoinnista, laboratoriovierailuista, teknisistä selostuksista, lentotutkimuksesta ja simulaattorilennoista. Kerättyä tietoa on hyödynnetty jatkuvasti jokaisen kandidaatin parasta kokonaisratkaisua määriteltäessä.

### Kirjoittaja:

Everstiluutnantti Mika Kulkas toimii Satakunnan lennostossa Ilmataistelukeskuksen johtajana.





# Maanpuolustuskorkeakoulu

# Kuinka väkivallan ja terrorin mediaesitysten tarkastelu on (maan)puolustustutkimusta?

**Globaali, kiihkeämpöinen hybridi media on nykyään väkivaltaisen vaikuttamisen ja informaatiokamppailun keskeisin areena. Maanpuolustuskorkeakoululla toimivassa Suomen Akatemian HYTE-hankkeessa tarkastellaan, kuinka ei-valtiolliset toimijat käyttävät mediaympäristöä hyödykseen ja levittääkseen väkivaltaisia viestejään. Nykyisen mediaympäristön ja logiikan sekä väkivaltaisten mediatapahtumien rakentumisen ymmärrys on tärkeää paitsi mediatutkimuksellisesti myös yhteiskunnallisen vakauden ja turvallisuuden näkökulmasta sekä puolustustutkimuksellisesta näkökulmasta.**

Maanpuolustuskorkeakoulun (MPKK) johtamisen ja sotilaspedagogiikan laitoksella toimii Suomen Akatemian rahoittaman ”Terroristinen väkivalta globaalina mediatapahtumana” (HYTE)-tutkimuskonsortion osahanke. HYTE-hankkeessa tarkastellaan terroristisen väkivallan mediatapahtumien rakentumista ja logiikkaa nykyisessä hybridissä mediaympäristössä. MPKK:n osahankkeessa keskitytään erityisesti siihen, kuinka ei-valtiolliset terroristiset toimijat käyttävät toiminnassaan strategisesti hyväkseen – tai aseellistavat (Weaponize) – nykyistä moninaista globaalia mediaympäristöä saadakseen huomiota sekä edistääkseen ideologia ja poliittisia päämääriään.

Tultuani Maanpuolustuskorkeakoululle hankkeen tutkijaksi on minulta kysytty useampaan otteeseen, kuinka tutkimus, jota konsortiossa tehdään, palvelee Puolustusvoimia, eli mitä hyötyä siitä on organisaatiolle, kuinka se on puolustustutkimusta. Vaikka kysymykseen ei sinänsä olekaan vaikeaa vastata, olin kuitenkin kysymyksestä historian tutkijana, kriittisenä yhteiskuntatieteilijänä ja vapaan tieteen nimien vannovan yliopiston kasvattina ensi alkuun hämilläni. Ajattelin jopa, että eihän tällaista sovi kysyä! Yliopistolla tottuu lähinnä kuulemaan, että tutkimus on kiinnostavaa, ajankohtaista, uutta luovaa tai kunnianhimoista – tai vaihtoehtoisesti, että se ei ole näitä. Tutkimuksen hyödyllisyyden ja suoran käytettävyyden penäämistä pidetään akateemisissa yhteyksissä jopa vapaan ja riippumattoman tieteen periaatteiden valossa kyseenalaisena. Puolustustutkimuksellisessa kontekstissa kysymys sovelluttavuudesta tai jopa tutkimuksen organisaatiolle tuottamasta hyödystä taas on keskeinen ja usein tutkimusotteen sisään rakennettu, eikä kysymys akateemisuudesta ja akateemisesta vapaudesta ole keskeinen. Tässä kirjoituksessa pohdinkin tieteellisen tiedon tuottami-

sen premissien ja motiivien eroja tiedeyliopistoissa ja Maanpuolustuskorkeakoulussa eli puolustustutkimuksellisessa kontekstissa. Lisäksi avaan sitä, kuinka terrorin ja väkivaltaisten tapahtumien medialogiikan tutkimus voidaan nähdä puolustustutkimuksena eli karrikoidusti Puolustusvoimien näkökulmasta hyödyllisenä tutkimuksena. HYTE tuottaa uutta tietoa akateemisella tasolla, mutta hankkeen antia voi tarkastella myös käytännöllistä maanpuolustuksellista hyötyä, yhteiskunnallista vakautta ja nykytilanteen ymmärrystä tuottavana.

## Tutkimus, puolustus ja turvallisuus

Yliopistolaissa (2009) ja laissa Maanpuolustuskorkeakoulusta (2008) todetaan molempien instituutioiden ja opinahjojen tehtäväksi noudattaa hyvää tieteellistä ja eettistä käytäntöä, tarjota tutkimukseen perustuvaa opetusta ja kasvattaa opiskelijoita ”palvelemaan isänmaata ja ihmiskuntaa”. Molempien tehtäviksi mainitaan pyrkimys edistää jatkuvaa oppimista, tutkimuksen yhteiskunnallista vaikuttavuutta ja vuorovaikutusta muun yhteiskunnan kanssa. Lisäksi yliopistojen tehtäväksi nimetään sivistyksen ja vapaan tutkimuksen edistäminen, kun taas Maanpuolustuskorkeakoulun tehtäväksi sotatieteellisen tutkimuksen edistäminen. Instituutioiden perustehtävät eivät kuulostakaan toisistaan kovin kaukaisilta. Ainoa selkeä ero lainkirjaimen tasolla onkin MPKK:n kapeampi keskittyminen juuri sotatieteeseen ja sen kehittämiseen.

Mitä sotatiede sitten on? Useimmiten se määritellään tutkimukseksi, joka varsin laaja-alaisesti ja monitieteisesti käsittelee sotiin, kriiseihin ja turvallisuusuhkiin sekä turvallisuusuhkien ehkäisyyn liittyviä aiheita. Näin ollen sotatiede ei tyhjene vain perinteisten aseellisten uhkien pohtimiseen vaan laajemmin käsitettyyn turvallisuuteen sekä laveampaan ajatukseen puolustuksesta. Suurin ja ilmeisin ero yliopistojen ja Maanpuolustuskorkeakoulun välillä on tietysti se, että MPKK on osa Puolustusvoimia. Puolustusvoimien tehtäviin taas kuuluu sotilaskoulutuksen ja aseellisen maanpuolustuksen ohella taata kansan elinmahdollisuudet ja perusoikeudet sekä laillinen yhteiskuntajärjestyksemme. Ja näistä näkökulmista on tietysti täysin loogista, että yliopistoista poiketen Puolustusvoimien alaisissa laitoksissa tehtävän tutkimuksen odotetaan palvelevan organisaation tavoitteita ja hyödyttävän maanpuolustusta – eli olevan puolustustutkimusta.

Puolustustutkimuksen alku sijoitetaan itsenäistymisen alkuaikoihin vuoteen 1919, jolloin tuoreen maan tuoreille Puolustusvoimille tuli tarve omaan tutkimustoimintaan. Ensin tutkimus oli varsin pragmaattista ja luonnontieteellistä, ja se keskittyi muun muassa kemiaan, fysiikkaan ja sähkötekniikkaan. Kun Sotakorkeakoulu perustettiin 1920-luvulla, Puolustusvoimien piirissä tehty tutkimus laajentui teknisestä tutkimuksesta mm. taktiikkaan ja operaatiotaitoihin ja myöhemmin sotatieteellisempään, turvallisuutta monimuotoisemmista näkökulmista tarkastelemaan suuntaan. Historiallisesti katsottuna Puolustusvoimien tutkimus on muuttunut samassa tahdissa yleisesti laajentuvan koulutuksen ja muuttuvan maailman – geopolitiikan ja sotilaallisten uhkien muutoksen, teknologisen edistyksen ja yleisen yhteiskunnallisen kehityksen kanssa.

### **Hybridivaikuttaminen, hybridi mediaympäristö ja turvallisuus**

Viime vuosina, varsinkin Ukrainan sodan (2014–) seurauksena, on meillä Suomessakin keskusteltu paljon hybridi-vaikuttamisesta, ulkovaltojen vihamielisen vaikuttamisen moninaistuvista keinoista ja areenoista, jopa hybridisodasta. Sanana ”hybridi” vie ajatusta pois perinteisestä sodankäynnistä ja aseellisesta konfliktista. Hybridi viittaa asioiden sekoittumiseen, yhdistymiseen tavoilla, jotka luovat jotakin uutta mutta säilyttävät kuitenkin jollain tavalla jatkuvuuden vanhaan. Sotaan ja viestintään keskittyneenä historian tutkijana kavahdan hybridikeskustelussa hieman sitä, että eri kokonaisuuksien sekoittuminen toisiinsa, monet rintamat, mieliin vaikuttaminen ja moninaisten keinojen yhdistelmät poliittisen vaikuttamisen ja sodan kontekstissa ovat hybridi-huumassa usein kehystyneet todellisuudesta poiketen uusiksi asioiksi. Hybridikeskustelun etuna on kuitenkin se, että sen myötä on noussut voimalla esiin se, kuinka ympäröivä, alati monimutkaistuva maailma ja teknologinen kehitys vaikuttavat vääjäämättä myös kriisien, turvallisuuden ja sodankäynnin muotoutumiseen. Kiihtyvä muutos luo tarvetta ajatella ja tarkastella ikiaikaisiakin aiheita uusista näkökulmista.

Nykymaailmassa media on erottamaton osa yhteiskunnan kaikkia sektoreita, aivan yksityisimmistä sfääreistä vallan huipuille, aina sodankäyntiin saakka. Viime vuosina on myös viestinnän ja median tutkimuksessa tullut yleiseksi puhua hybridistä: hybridistä mediasta ja mediasysteemistä sekä hybrideistä mediatapahtumista. Hybridillä median suhteen tarkoitetaan niin sanotun perinteisen median ja sosiaalisen median sekoittumista ja median eri muotojen toisiansa täydentäviä ja hyödyntäviä sekä toisiinsa vaikuttavia ja toisistaan riippuvaisia systeemejä. Näissä nopeasti virtaavissa uudenlaisen teknologian mahdollistamissa systeemeissä yksilöt, erilaiset toimijat ja organisaatiot ovat sidoksissa monimutkaisiin ja alati muuttuviin, jopa ennakoimattomien tavoin. Hybridivaikuttamisen yhtenä keskeisenä osa-alueena

hahmotettu informaatiovaikuttaminen tapahtuu nykyään monin paikoin hybridissä mediaympäristössä.

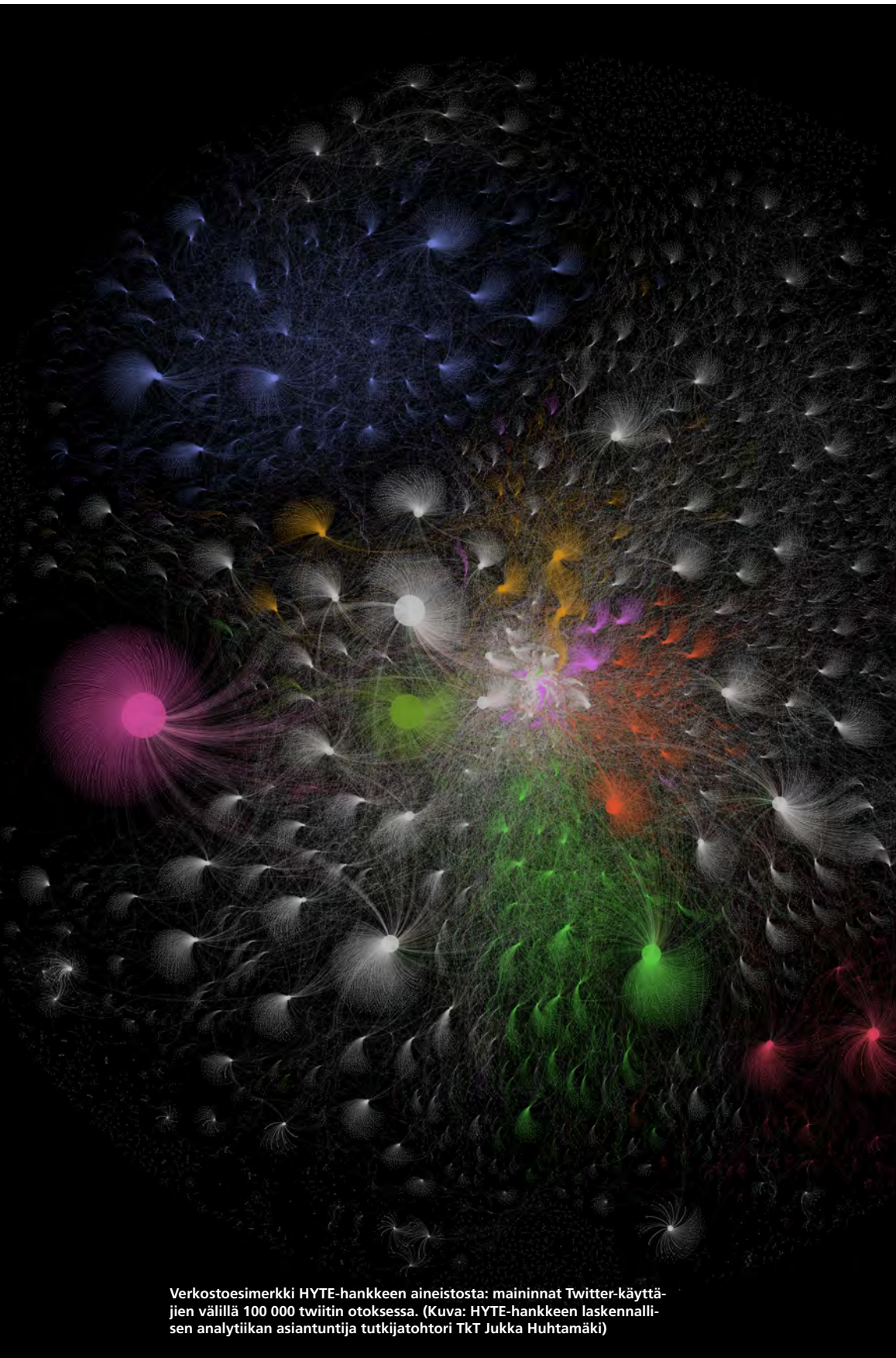
Monet vihamielisen, yhteiskunnallista vakautta ja poliittisen järjestelmän toimintakykyä horjuttamaan pyrkivän informaatiovaikuttamisen osa-alueet, kuten trollaaminen, valeutiset ja salaliittoteoriat, väärän tiedon levitys, painostaminen ja mielipidevaikuttaminen kriisien hetkellä, kytkeytyvät juuri mediaympäristön viimeaikaiseen rajuun muutokseen. Median hybridisoituminen on monimuotoistanut ja monimutkaistanut yhteiskunnallista turvallisuutta rapauttamaan pyrkivän vaikuttamisen keinoja eli keskeisesti myötävaikuttanut nykyiseen hybridi-vaikuttamiseen. Vaikka keskustelu hybridi-vaikuttamisesta on Suomessa usein pysähtynyt valtiolliseen toimintaan ja erityisesti itänaapurin pahantahoisen vaikuttamisen tarkasteluun, on ilmiö kuitenkin paljon laajempi. Eräänä keskeisenä mediaan kytkeytyvänä, yhteiskunnallista koheesiota ja rauhaa heikentämään pyrkivänä informaatiovaikuttamisen osa-alueena voi nähdä myös terroristiset teot ja hybridissä mediassa vilkkaasti virtaavat terroristisen väkivallan mediarepresentaatiot.

### **Media väkivaltaisena aseena**

Terrorismilla viitataan väkivaltaan tai sen uhkaan, jolla pyritään aiheuttamaan pelkoa ja vaikuttamaan poliittisesti. Terrorismin tarkoituksena on väkivallan keinoin vaikuttaa yleiseen mielipiteeseen ja mielialaan, taivutella yhteiskuntia ja väestöjä sekä painostaa poliittisia päättäjiä terrorististen toimijoiden ideologisten ja poliittisten tavoitteiden saavuttamiseksi. Voikin karrikoiden sanoa, että nykyään terrorismia ei ole ilman mediaa: terroristinen väkivalta saa näkyvyytensä, voimansa ja vaikuttavuutensa globaalista, yhä moninaisemmasta, nopeammasta ja alati läsnä olevasta mediasta. Ehkäpä tunnetuin esimerkki uudenlaisen mediaympäristön ja väkivaltaisen terrorismin yhteenliittymisestä on terroristijärjestö ISISin mediastrategia. ISISin levittämät brutaalit mestausvideot ja tapa käyttää uudenlaista ketterää mediaympäristöä tehokkaasti hyväksi, pelon lietsomiseksi, oman viestinsä levittämiseksi, vierastaistelijoiden rekrytoimiseksi ja valtansa kasvattamiseksi, ovat tyyppiesimerkkejä median aseellistamisen voimasta ja tehokkuudesta.

Väkivaltaisia viestejään hybridissä mediassa eivät levitä vain viime vuosikymmeninä eniten huomiota saaneet islamistiset terroristit. Monenlaiset terroristisiksi luettavissa olevat toimijat sotkuisten sotien osapuolista koulu- ja työpaikka-ampuihin ja erilaisiin poliittisiin ääriilikkeisiin käyttävät nykyistä mediaympäristöä tehokkaasti ja kekseliäästi hyväkseen rapauttaakseen yhteiskunnallista koheesiota, ajaakseen poliittista agendaansa, lietsoakseen pelkoa ja kasvattaakseen näkyvyyttään ja valtaansa. HYTE-hankkeessa tarkastelemme sitä, kuinka terroristisen väkivallan mediatapahtumat syntyvät ja kehittyvät hybridissä mediassa, ja tutkimme, kuinka viestit ja tarinat leviävät globaalissa mediaympäristössä. Pyrimme muo-





Verkostoiesimerkki HYTE-hankkeen aineistosta: maininnat Twitter-käyttäjien välillä 100 000 twiitin otoksessa. (Kuva: HYTE-hankkeen laskennallisen analytiikan asiantuntija tutkijatohtori TKT Jukka Huhtamäki)

dostamaan uudenlaisen metodologian tällaisten media-tapahtumien seuraamiseen ja tarkasteluun sekä aineiston keräämiseen. Pääasiassa keskitymme Uuden-Seelannin Christchurchissa 15.3.2019 tapahtuneeseen terrori-iskuun. Uuden-Seelannin isku on ehkäpä ensimmäinen suorana internetissä tekijän itsensä lähettämä terrori-isku. Iskussa yhdistyvät monet nykyiseen mediaympäristöön sekä informaatiovaikuttamiseen liittyvät keskeiset seikat, joiden tarkastelu on myös puolustustutkimuksellisesta näkökulmasta erittäin kiinnostavaa.

Christchurchissa äärioikeistolainen terroristi tunkeutui moskeijaan, haavoitti viittäkymmentä ja tappoi viisikymmentä ihmistä. Tekijä kuvasi itse kypäräänsä kiinnitetyllä kameralla masamurhan ja välitti tapahtumat suoratoistona Facebookiin. Ennen tekoaan hän oli myös ladannut internetiin äärioikeistolaista ja äärinationalistista ideologiaansa esittelevän manifestin. Terroristin keskeinen ja vaikuttavin ase sarjatuliaseen lisäksi olikin nykyinen mediaympäristö. Tehokkaasti hän aseellisti nykymedian hyödykseen levittääkseen pelkoa ja kauhua ja vahvistaakseen väkivaltaista ideologiaansa varsinkin tietyissä spesifeissä, viestintätyylille alttiissa viiteryhmissä ja erilaisissa internetin alakasvustoissa, kuten 8-chan-sivustolla.

Terroristin veriteon karmivat oheistuotteet levisivät vauhdilla internetissä ja tekivät pian tiensä myös

perinteisemmän median kautta laajaan globaaliin tietoisuuteen. Videon ja manifestin leviämistä pyrittiin estämään monin tavoin, suoratoistopalveluita vaadittiin poistamaan väkivaltainen sisältö ja videon hallussapito jopa kriminalisoitiin. Padotakseen median aseellistamista tekijän hyödyksi paikalliset poliitikot päättivät olla edes mainitsematta tekijän nimeä, ja myös perinteinen media pyrki suitsimaan kaikista karmivimman sisällön leviämistä. Hybridin nykymedian logiikan mukaisesti kaikki materiaali iskusta kuitenkin löytyy edelleen, kunhan hieman pöyhii. Verinen viesti jatkaa loputonta pulpahteluaan varsinkin tekijän kanssa samanmielisten nettiyhteisöissä.

### Väkivallan hybridin medialogiikan tarkastelu puolustustutkimuksena

2000-luvulla on tullut tavaksi puhua ”uusista sodista”, matalamman intensiteetin sodasta, ei-valtiollisista toimijoista, epäsuoratoistopalveluista ja informaatiovaikuttamisen merkityksestä. Tässä hybridissä sodankäynnissä eräs keskeinen elementti on konfliktien osapuolten maineenhallinta, strategisten ja vastaanottajayleisön maailmankuvaan sopivien tarinoiden rakentaminen omasta toiminnasta ja näiden kaupallisiin brändeihin verrattavien tarinoiden levittäminen oman toiminnan legitimaation tueksi. Näiden tarinoiden levittämisessä monimuotoistuneen median ja julkisen keskustelun rooli on tärkeä ja yleinen mielipide sekä kansalaisten hyväksyntä keskeinen kamppailun areena. Tätä ilmiötä on suomalaisessakin sotatieteellisessä tutkimuksessa tarkasteltu jo vuosia muun muassa Naton lanseeraaman *strategisen viestinnän* käsitteen avulla.

Läntisten toimijoiden konflikteihin ja sotiin liittyvän strategisen viestinnän tarinoiden peruspilarina ovat usein olleet yhteiskunnissamme laajasti hyväksytyt, jopa universaaleina hahmotetut arvot ja ideat: ihmisoikeudet, demokratia ja yhdenvertaisuus. Vaikka humanit tarinat sodankäynnin oikeutuksesta, taistelun legitimitetistä tai demokraattisen hallinnon auvoisuudesta on nekin rakennettu strategiset päämäärät mielessä, on viestintä noudatellut yhteiskunnallisesti laajasti hyväksytyjä ja puolustamisen arvoisina nähtyjä arvoja, jollaisia suurimman osan on helppoa ymmärtää ja kompata. Merkittävää tässä valtiollisten ja järjestäytyneiden sotilasorganisaatioiden viestinnässä on se, että jopa konfliktin vastapuolena hahmotetun tahon informaatiovaikuttaminen on perinteisesti ollut jossain määrin tarinallisesti moraalisesti loogista ja ymmärrettävää – vaikka varsinaiset teot eivät sitä olisikaan. Pääsääntöisesti siinäkin on kuitenkin rakennettu itsestä hyvää, laillisuutta kunnioittavaa ja humania kuvaa. Ja vastakkaisesti taas pyritty saamaan vastapuoli näyttäytymään huonossa valossa, heikkona, julmana, korruptoituneena, epähumanina tai laittomasti toimivana. Jotta ymmärtää informaatiovaikuttamista ja sen sanomia, tulee sen keinot ja tavoitteet tunnistaa niin itsessä kuin muissakin.

Mitä sitten pitäisi ajatella hybridin median aikana vahvasti esiin tulleesta ilmiöstä, jossa tietyt toimijat käyttävät maineenhallinnassaan ja strategisena viestintään silmitöntä väkivaltaa ja sillä uhkailemista? Miten ymmärtää, miksi tietyt toimijat markkinoivat itseään, pyrkivät kasvattamaan valtaansa ja rakentavat julkista kuvaansa laillista järjestystä uhkaavilla ja väestön valtaosan moraalialueita uhmaavilla, vihan kyllästyttämillä teoilla ja viesteillä? Brutaalin viestintälogiikan, kauhun kuvien, meillä laajasti vallitsevasta moraalisesta normistosta poikkeavien, hirvittävien tekojen strategisen hyväksikäytön ja toiminnanlogiikan ymmärtäminen tuntuu vaikealta. Kun tarkastelee viestintää, johon totunnainen logiikka, rationaalinen ajattelu sekä oikeudenmukaisuuden ja moraalien kulttuuriset normit eivät päde, joutuu kurkistamaan pimeälle puolelle, josta pohtimaan pahuutta. Kuitenkin, jotta voimme vastustaa pahantahtoista voimia, jotka pyrkivät horjuttamaan laillista järjestystä ja yhteiskunnallista resilienssiä, sekä puolustautua uudenlaisia turvallisuusuhkia vastaan nykyisen hybridin mediaympäristön aikakaudella, ehdottomana edellytyksenä on nykyisen medialogiikan ja mediaympäristön tuntemus ja ymmärrys.

Propaganda ja mieliin vaikuttaminen konflikteissa on aina ollut keskeistä, ja aina sen kärki on kohdistunut paitsi laajoihin väestöihin myös vaikutukselle alttiisiin mieliin, joihin on helppoa vaikuttaa. Aina näiden tarinoiden ja toiminnan ymmärtäminen on myös vaatinut paitsi ajan poliittisen ilmapiirin ja yhteiskunnallisten suhteiden laajaa ymmärrystä myös aikakauden viestintävälineiden, niiden käytön, ympäristön ja logiikan tuntemusta. Niin on nytkin. HYTE-hankkeessa tarkastelemme juuri näitä asioita tämän päivän kontekstissa. Millä tavoin viestit leviävät globaalissa hybridissä mediassa, miten väkivallan mediatapahtumat rakentuvat? Miten väkivaltaiset viestit ja kuvat puhuttelevat kohderymiään, mihin niillä pyritään? Kuinka väkivaltaisten viestien leviämistä suoratoistopalveluissa on pyritty estämään tai voisi estää? Mitä uudenlaisen reaaliaikaisen ja suoran viestinnän pahantekijöillekin mahdollistava teknologia ja mediasysteemi merkitsee paitsi turvallisuuden suhteen sekä poliittisesta että moraalisesta näkökulmasta? Nämä kysymykset ovat keskeisiä nykypäivän poliittisen viestinnän, väkivaltaisen yhteiskunnallisen vaikuttamisen ymmärtämisen ja yhteiskunnallisen vakauden ja turvallisuuden takaamiseksi sekä puolustustutkimuksellisesta näkökulmasta.

#### Kirjoittaja:

Valtiotieteiden tohtori Noora Kotilainen on kansainväliseen politiikkaan, kriiseihin, sotiin ja mediaan sekä visuaaliseen vaikuttamiseen erikoistunut poliittisen historian tutkija. Hän toimii Maanpuolustuskorkeakoulun johtamisen ja sotilaspedagogiikan laitoksella tutkijatohtorina Suomen Akatemian HYTE-hankkeessa.

# Kansankielistä turvallisuutta: Naisten vapaaehtoista valmius- ja turvallisuuskoulutusta tarkastelemassa



(Kuva: Naisten Valmiusliitto)

**Vapaaehtoisen maanpuolustuksen kentällä opetellaan monenlaisia kansalaistaitoja Puolustusvoimien tuella. Sotilassosiologian TAHTO2-tutkimusprojektissa tarkasteltiin Naisten Valmiusliiton valmius- ja turvallisuuskursseille osallistuneiden naisten maanpuolustussuhdetta.**

Vapaaehtoinen maanpuolustus on valtiomyönteinen kansalaistoiminnan kenttä, joka tuo joka vuosi tuhansia suomalaisia yhteen harjoittelemaan erilaisia, myös ei-sotilaallisia turvallisuustaitoja. Puolustushallinnon tuella toteutetaan koulutuksia, jotka ovat osa lainsäädännössä kehystettyä maanpuolustustahdon edistämistä. Vapaaehtoista maanpuolustusta on tutkittu

Suomessa varsin vähän yhteiskuntatieteellisistä näkökulmista. Millaista koulutusta erityisesti naisille suunnatuilla vapaaehtoisen maanpuolustuksen kursseilla on, ja miten osallistujat pohjivat suhdettaan maanpuolustukseen ja turvallisuuteen oltuaan tekemisissä tämän kentän kanssa?

Tein etnografista kenttätöitä ja haastattelututkimusta vuosina 2018–2019 Naisten Valmiusliiton NASTA- ja PikkuNASTA-harjoituksissa. Havainnoimani harjoitukset edustavat vain pientä osaa Maanpuolustuskoulutusyhdistyksen laajasta kursistarjonnasta. Naisten Valmiusliiton jäsenjärjestöt, kuten maanpuolustussuuntautuneet naisjärjestöt ja kotitalousneu-



(Kuva: Naisten Valmiusliitto)

vontajärjestöt, muodostavat tutkimuksellisesti kiinnostavan kansalaisten välistä yhteiskunnallista työnjakoa heijastelevan kentän. Vuonna 1997 tapahtuneen perustamisensa jälkeen NVL on edustanut naisjärjestöjen ääntä kylmän sodan jälkeen organisoituneessa vapaaehtoisessa maanpuolustuksessa Suomessa.

Tanskalaisen antropologin Nils Bubandtin käsitteestä ”kansankielinen turvallisuus” (vernacular security) on kehittynyt 2000- ja 2010-luvuilla oma tutkimusalansa, erityisesti kansainvälisten suhteiden tutkimuksessa. Käsitteen avulla turvallisuus ymmärretään maantieteellisesti ja kulttuurisesti paikallisena sekä kielellisesti määriteltynä toimintana. Turvallisuus ei ole vain asiantuntijoiden ja päätöksentekijöiden määrittelemää vaan myös kansalaisten omin tavoin omaksuma käsitys ympäröivästä yhteiskunnasta ja siinä pärjäämisestä. NASTA-harjoitukset ovat tutkimuskohde, jossa on mahdollista tarkastella, millaisia käsityksiä naispuoliset, suurimmaksi osaksi reserviin kuulumattomat kansalaiset muodostavat turvallisuudesta maanpuolustuksen kontekstissa.

### **Kansankielistä turvallisuutta kartoittamassa**

Tutkimus toteutettiin osana sotilassosiologian TAHTO2-tutkimusprojektia Maanpuolustuskorkeakoulun johtamisen ja sotilaspedagogiikan laitoksella. Keräsin aineistoa tekemällä osallistuvaa havainnointia neljässä Naisten Valmiusliiton

NASTA-harjoituksessa (yhteensä 12 päivää) vuosina 2018–19 ja haastatteleamalla 22:ta NASTA-harjoitukseen tai niiden organisointiin osallistunutta naista. Tutkimushaastatteluissa hyödynnettiin Maanpuolustuskorkeakoulussa TAHTO1-tutkimusprojektissa kehitettyä kansalaisten maanpuolustussuhteen mallia, jossa kansalaisen maanpuolustussuhde koostuu neljästä ulottuvuudesta: 1) asenne 2) luottamus 3) osaaminen ja 4) toimijuus.

Tässä laadullisessa tutkimusaineistossa haastateltavat eivät ole edustava otos suomalaisesta naisväestöstä vaan joukko vapaaehtoisen maanpuolustuksen kanssa tekemisissä olleita naisia, jotka ilmoittautuivat vapaaehtoisesti haastateltaviksi. Haastatteluissa pohdittiin, mikä heidät oli tuonut toiminnan piiriin ja millaisia taitoja NASTA-kursseilla opitaan. Lisäksi kartoitettiin haastateltavien asenteita, luottamusta, osaamista ja toimijuutta suhteessa maanpuolustukseen yhteiskunnallisen toiminnan alana.

### **Kurssit: ”Asiaa kaikki”**

Vaikka NASTA-harjoitukset ovat Maanpuolustuskoulutusyhdistyksen ja Puolustusvoimien tuella toteutettuja sekä aineellisesti että sisällöllisesti, osallistujien kokemukset ja käsitykset toiminnan maanpuolustussuuntautuneisuudesta vaihtelivat suuresti. Monille toiminnassa pidempään mukana olleille tärkeä osa arkea oli maanpuolustuksen eteen toimiminen, siihen liittyvä ylisukupolvinen kiitollisuuden tunne

itsenäisestä Suomesta ja maanpuolustussuuntautuneeseen kansalaistoimintaan osallistuminen Naisten Valmiusliiton jäsenjärjestöjen, kuten Sotilaskotiliiton, toiminnassa. Yhtä lailla monille osallistujille toiminta oli hyödylliseksi koe-tuilla kursseilla käymistä ja NASTA-toiminnassa tavattujen tuttavien tapaamista mutta ei niinkään maanpuolustukseen kytkeytyvää.

Kurssien kirjo on laaja. Keskeistä oli, että erilaisia turval-lisuuteen liittyviä taitoja on mahdollista päästä oppimaan ”naisten kesken”, eikä aiempi asevelvollisuuden suoritta-minen ole olennaista. Erään haastateltavan luonnehdinnan mukaan kurssit eivät ole ”...millään tavalla naisnäkökulma-painotteisia. Ne on asiaa kaikki.” Jonkin verran oli selkeäs-ti maanpuolustukseen liittyviä kursseja, kuten ”Kenttälää-kintä” ja ”Kansainvälinen kriisinhallinta”. Näillä kursseilla kehkeytyi tilanteita ja tiloja, joissa vierailivat puhujat loivat osaltaan Puolustusvoimien julkisuuskuvaa. Esimerkiksi käy-tännön harjoitusten tai tarinallisten luentojen kautta avau-tui, mitä kaikkea asepalveluksen suorittamiseen tai kansain-välisen kriisinhallinnan todellisuuteen voi sisältyä.

Suuri osa kursseista on arjen turvallisuuteen tai normaali-olojen paikallisiin häiriöihin, onnettomuuksiin tai kriiseihin liittyviä, kuten ”Selviäminen sähköttä” ja ”Henkinen tuki kriisitilanteissa”. Näissä harjoiteltiin muun muassa ensi-apua, alkusammutusta, kansalaisen informaatioteknologisia taitoja ja vapaaehtoistyötä kriisitilanteissa. Kotitalouksien varautumiseen ja arjessa eteen tuleviin onnettomuuksiin painottuvissa kursseissa oli pohjavireenä pärjäämisen ja yhe-toiminnan lisäksi välittävän kansalaisen ihanne. Välittävä kansalainen pyrkii sähkökatkon (tai kenties fyysistä eristäy-tymistä vaativan pandemian) tullen tarkistamaan, miten naapurin yksin asuva vanhus pärjää, tai toteuttaa eräänlaista ”yhteiskunnallista vanhemmuutta” nuoriin liittyvässä vapaa-ehdoistyyssä.

### **Maanpuolustussuhde: asenteet ja luottamus**

Maanpuolustusasenne ja -luottamus heijastavat monilta osin Maanpuolustustiedotuksen suunnittelukunnan (MTS) mieli-pidekyselyissä vuosittain kartoitettua ”yleistä maanpuolustus-tahtoa”. Tätä maanpuolustustahdon ulottuvuutta voi luonnehtia muun muassa kansalaisten ja äänestäjien luottamukseksi ja poliittiseksi tueksi päätöksenteolle sotilaallisen kriisin uhatessa. Haastatteluihin haastateltavien maanpuolustusasenteet ja luot-tamus suomalaisiin viranomaisiin ja instituutioihin olivat usein kietoutuneet vahvasti yhteen. Suomen asema itsenäisenä valtio-na ja kansallinen itsemääräämisoikeus nousivat esiin arvoina it-sessään. Monilla vanhemmilla haastateltavilla oli myös henkilö-kohtainen suhde talvi- ja jatkosodan läpi eläneisiin sukulaisiin. Maanpuolustuksesta puhuttiin myönteisesti tai neutraalisti tärkeänä asiana, johon haastateltavien mielestä on mielekästä käyttää valtion resursseja yhtä hyvin asehankintoihin kuin tut-kimukseen ja kehitykseenkin.

Monien 50–59-vuotiaiden haastateltavien haastattelupu-heessa oli myös epävarmuutta omista näkemyksistä, koska maanpuolustusta sekä turvallisuus- ja ulkopoliittikkaa pidet-tiin eriytyneen asiantuntijaosaamisen alueina, joihin ei aina koettu olevan omaa kompetenssia osallistua. Toisaalta esillä oli usein laajaan turvallisuuskäsitykseen rinnastuva ”laaja maanpuolustuskäsitys”. Tällöin maanpuolustusta ei näh-ty vain aseellisen voiman käyttöön liittyvänä sotilaallisena toimintana. Myös esimerkiksi kyber- ja meriturvallisuustai-tojen tai kodista ja hoivattavista häiriötilanteesta huolehti-miseen liittyvien valmiuksien nähtiin sisältyvän osaamiseen, josta on hyötyä myös maanpuolustuksessa.

Puolustusvoimat nautti muiden turvallisuusinstituutioiden lailla korkeahkoa periaatteellista arvostusta ja luottamusta. Viimeaikaiset oikeusjutut ja julkisuuskohut olivat kuiten-kin omalta osaltaan kolhineet julkisuuskuvaa. Luottamus ja mahdollinen epäluottamus ei kohdistunut vain insti-tuutioihin vaan myös yleisesti Suomea kohtaan valtiona ja yhteisönä. Puolustamisen ja vaalimisen arvoisiksi asioiksi suomalaisessa yhteiskunnassa nähtiin julkiset instituutiot, kuten koulutus ja terveydenhuolto, sekä ”puhtaan luonnon” suojeleminen, korkeaksi koettu yhdenvertaisuus eri väestö-ryhmien välillä ja sukupuolten tasa-arvo.

Uhkakuvien kohdalla kyberturvallisuus ja hybridi-vaikut-taminen saivat tilaa ja mainintoja, mutta niitä harvemmin eriteltiin sen tarkemmin. Uhkakuvissa toistui arkiset ja paikalliset ilmiöt, kuten se, missä määrin kanssaihminen rehellisyyteen voi luottaa. Vain muutamat nimesivät nyky-Venäjän nimeltä uhkakuvista puhuttaessa joko todetakseen, että uhka ei ole mainittava tai että Krimin niemimaan val-tauksen jälkeen maailmanpoliittinen tilanne on kiristynyt. Uhkakuvien muutoksessa näkymättömät uhat olivat esillä usein: uhkien nähtiin tulevan ”kaapeleita pitkin” tai ”tai-vaalta” verrattuna viime sotien aikaisiin tapahtumiin ja ku-vastoon.

### **Maanpuolustussuhde: osaaminen ja toimijuus**

Maanpuolustusosaaminen ja -toimijuus puolestaan heijasta-vat MTS:n kyselyissä usein mutta ei vuosittain kartoitettua ”henkilökohtaista maanpuolustustahtoa”. Tämä puolestaan ilmentää halukkuutta osallistua maanpuolustukseen tai sitä tukeviin tehtäviin. Kansalaisille asetetut lakisääteiset velvol-lisuudet ja tehtävät vaihtelevat kuitenkin suuresti sukupuol-len, iän ja henkilön muiden ominaisuuksien, kuten fyysisten valmiuksien, mukaan. Naisten Valmiusliiton ja sen jäsenjär-jestöjen aktiivien tuottamien koulutusten nähtiin tuottavan käytännön taitoja yllättävien tilanteiden, kuten myrskyjen ja sähkökatkojen, varalta.

Monet kävivät kursseja harrastusmielessä oppiakseen taito-ja, jotka eivät liity omaan ammattiin. Monet haastateltavat, jotka eivät nähneet NASTA-osallistumistaan maanpuo-



(Kuva: Naisten Valmiusliitto)

lustukseen tai sen tukemiseen liittyvässä kehyksessä, olivat mukana laajemmin arjen sujuvuuteen ja turvallisuuteen liittyvässä toiminnassa. Järjestöidentiteetit antoivat mahdollisuuden paikantua tehtäviin, joissa omasta kompetenssista on hyötyä: ”Martathan osaa laittaa ruokaa.”

NASTA-koulutukset ja niihin liittyvä vapaaehtoistoiminta antoivat luontevan ja legitiimin tavan osallistua maanpuolustussuuntautuneeseen kansalaistoimintaan. Usea yli 50-vuotias haastateltava totesi, että olisi halunnut suorittaa asepalveluksen mutta se ei ollut naisille mahdollista heidän ollessaan nuoria. Maanpuolustukseen, turvallisuuteen ja arjessa tapahtuvaan toisten auttamiseen liittyvät moraaliset veloitteet, kuten lojaalisuus omalle valtiolle ja lähiyhteisölle, kansalaistoiminnan tuoma mielihyvä ja eronteko ”uusavuttomuuteen”, heijastelivat eräänlaista kyvykkään kansalaisen ihannetta. Kyvykäs, maanpuolustukseen osallistuva kansalainen ei tarkoita vain nuorta miespuolista asevelvollista, vaan hän voi olla myös käytännön taitoja ja kylmäpäisyyttä omaava keski-ikäinen tai sitä iäkkäämpi naishenkilö.

Tärkeänä ulottuvuutena oli se, että hän toimii myös tuntemattomien eikä vain oman lähipiirinsä auttamiseksi.

### Lopuksi

Vapaaehtoinen maanpuolustus on vapaaehtoistoiminnan ja kansalaisuuden teemojen kannalta mielenkiintoinen yhteiskunnallisen toiminnan kenttä, joka tulisi tutkia suomalaisissa yhteiskuntatieteissä enemmänkin. Koska kenttä on miestapaisen kansalaisuuden ja reserviläisten dominoima, naisten omat kurssit muodostavat sektorin, jonka kautta on mahdollista tutkia ja peilata, millaisia kriisitilanteissa tarvittavia kansalaistaitoja opetellaan ja harjoitellaan pääosin naispuolisen siviiliväestön näkökulmasta. Osallistujien ja vapaaehtoisten on mahdollista pohtia ja heijastaa ”kansankielistä turvallisuutta” omista näkökulmistaan, mikä luo myös sekä Puolustusvoimien että vapaaehtoisen maanpuolustustoiminnan julkisuuskuvaa suuren yleisön ja äänestäjien keskuudessa.

#### Kirjoittaja:

Valtiotieteiden tohtori Linda Hart työskentelee tutkijana Maanpuolustuskorkeakoulussa johtamisen ja sotilaspedagogiikan laitoksessa sotilassosiologian tutkimusalalla.

# Koulutustaidon tutkimushanke hyvän kouluttajan ominaisuuksista



(Kuva: Puolustusvoimat / Markus Suuronen)

## Mitä koulutustaito on?

Sotilaspedagogiikan keskeisin osa-alue on oppi koulutustaidosta; se tarkastelee koulutuksen ja kasvatuksen keinoin tapahtuvaa yksilöiden toimintakyvyn ja sitä kautta joukkojen suorituskyvyn kehittämistä ja oppimisen luonnetta. Keskeisiä kouluttamisen taidon osa-alueita ovat opettaminen, oppimisen ohjaus ja arviointi. Niiden yksityiskohdat ja käytännön ratkaisut vaikuttavat paitsi varsinaiseen oppimisen tasoon ja mahdolliseen siirtovaikutukseen myös koulutettavien kokemuksiin, tuntemuksiin ja motivaatioon. On useita näkökulmia ja kiinnostuksen kohteita, joiden kautta koulutustaitoa voidaan tarkastella, ja tässä kirjoituksessa tarkastellaan kouluttajan ominaisuuksia ja toimintatapoja erittelevää lähestymistapaa.

Sotilaspedagogiikan viitekehyksen muodostavat opettamisen ja oppimisen osatekijät, ja sitä määrittävät lisäksi kaikki sotilaskoulutusorganisaation tasot ja toimintaympäristöt, joissa sotilaat toimivat joko yksin tai yhteistoiminnassa muiden viranomaisten kanssa. Sotilaspedagogiikka hyödyntää kasvatuksen, koulutuksen ja oppimisen teoriaperustaa ja menetelmiä kehittäessään sotilaiden kasvatusta, koulutusta ja koulutusjärjestelmiä. Sotilaspedagogiikka on luonteeltaan siis erityisesti kasvatustiedettä sotilaskontekstissa, mutta se hyödyntää myös erityisen sotatieteellisen position ja toimintaympäristöjensä vuoksi myös muiden tieteenalojen (esimerkiksi sosiaalipsykologian, yhteiskuntatieteiden ja moraalifilosofian) teoriaa ja tutkimustuloksia.



(Kuva: Puolustusvoimat / Venni Tamminen)

### Tutkimushankkeella kouluttajaosaamista

Maanpuolustuskorkeakoulussa käynnissä oleva tutkimushanke ”Sotilaskoulutuksen menestysedellytykset” käsittelee koulutustaitoa ja sen kehittämistä. Yhtenä hankkeen tarkoituksena on luoda olemassa olevien tietojen ja erikseen kerätävien aineistojen avulla systemaattinen käsitys siitä, mitkä ovat hyvän koulutusmenestyksen edellytykset – halutaan selvittää, miten voidaan kouluttaa mahdollisimman hyvin ja miten tätä tavoitetta voidaan tutkimuksen keinoin tukea.

Suomalaisen sotilaskoulutuksen kontekstin erityispiirre on eräänlainen ”riveistä nousu”: jokainen on ollut koulutettavana alokkaasta lähtien, ja niin sanottua kouluttajakoulutusta annetaan aliupseerien koulutuksesta alkaen systemaattisesti perustutkintoon asti ja erilaisilla täydennyskoulutuksen kursseilla. Edelleen työssä tapahtuvalla oppimisella karttuu osaamista ja omaksutaan hyviä käytänteitä; omat tavat suhtautua koulutettaviin ja oman toiminnan kehittämiseen muuttuvat kokemuksen karttuessa. Kouluttajan ominaisuuksia tarkastelevan osatutkimuksen näkökulma perustuu

siihen, että kouluttajien ja heidän tärkeimpien esimiestensä itse selittämät ja kuvailemat näkemykset menestyksekkäästä kouluttamisesta ovat arvokasta tietoa siitä, miten kentällä arvostettavat ja hyviksi koetut asiat jäsennetään.

### Koulutustaidon mallin kehittämistä

Tutkimuksen tavoitteina on myös hyödyntää tuloksia todentamaan ja rikastamaan luonnostellun koulutustaidon mallin ulottuvuuksia. Mallia kehitettäessä on käsitelty aiempia, nimenomaan suomalaisessa kontekstissa pedagogiseen osaamiseen liittyviä havaintoja. Tutkimuksen pilottivaiheen kokeilujen ja siihen liittyneiden oppinäytetöiden havainnot jäsentyvät vastaten hyvin Helakorven ammatillisen opettajan osaamisen mallin substanssiosaamisen, pedagogisen osaamisen ja kehittämisosaamisen yläkäsitteitä. (Tutkimuksen varsinainen aineiston keruu vuonna 2020 on lykkääntynyt toistaiseksi COVID-19-tilanteesta johtuvien rajoitusten vuoksi). Koulutustaidon ja siihen liittyvien tekijöiden kuvailussa käytetään tässä yhteydessä kehittämisosaamisesta nimikettä kehittämisorientaatio; termi kuvanee paremmin motivaatioon ja arvottamiseen liittyviä preferenssejä ja valmiuksia suuntautua tietyllä tavalla tai suosia tietynlaisia



Ammatillinen osaaminen		
Alansa ammattilainen (vrt. esim. ammunnat, turvallisuus)	Tiedollinen ja taidollinen ammattilainen, joka ymmärtää asian eikä pelkäästään tiedä siitä	Kokonaisuuksien hallinta, laajempi näkemys (ammattiosaaminen)
Pedagoginen osaaminen		
Taitava pedagogi Hyvät ihmissuhdetaidot, sopeutuminen uuteen ympäristöön, oppimisilmapiiriin luominen	Ymmärtää suuria kokonaisuuksia, vaihtelee opetusmetodeja, asettaa järkeviä tavoitteita (monipuolinen pedagogi) Sosiaalisesti älykäs (ymmärtää koulut-taviensa lähtökohdat)	Vaihtelevat opetusmenetelmät ja harjoitukset mielenkiinnon ylläpitäjinä (pedagoginen osaaminen) Hyvät ihmissuhdetaidot (asettumi-nen muiden asemaan, ymmärrys erilaisista osaamisen tasoista)
Kehittämisorientaatio (vrt. Helakorpi: kehittämisosaaminen)		
Luova koulutuksen kehittäjä	Aktiivinen kehittäjä, joka tiedostaa, mitä ei tiedä (itsereflektointi) Haluaa sekä kehittyä että kehittää, motivoi myös alaisiaan esimerkiksi yksilöllisen palautteen kautta	Itsereflektio ja itseohjautuvuus itsensä kehittämisessä
Koponen, M. (2020). Sotilaskouluttajan ominaisuudet nyt ja tulevaisuudessa. Pro gradu -tutkielma (SM9). MPKK	Väistö, J. (2019). "Paras mahdollinen kouluttaja" – ominaisuudet tarkastelussa. Pro gradu -tutkielma (SM8). MPKK	Korpela, S. (2019). Mikä tekee hyvän kouluttajan? Pro gradu -tutkielma (SM8). MPKK

Taulukko 1. "Hyvä kouluttaja on..." – haastattelututkimuksien havaintojen tarkastelua Helakorven ammatillisen opettajan osaamisen mallia mukaellen.

valintoja, jotka johtavat kehittämiseen tai kehityshakuiseen tapaan reflektoida omaa toimintaansa.

Ammatilliseen osaamiseen liittyvät havainnot korostavat paitsi korkeatasoista tietoa ja taitoa omalta alalta myös kokemusta ja laajaa näkemystä ja syvällistä ymmärrystä. Tällainen ajattelu vastaa hyvin sitä, miten asiantuntijuuden yhteydessä tarkastellaan osaamista kehittyneinä tietorakenteina. Asiantuntijan eli tässä tapauksessa taitavan kouluttajan tieto on laaja-alaista, integroitunutta ja sen pohjalta hänelle on kehittynyt rutiineja ja tehokkaita tapoja arvioida vaihtoehtoja ja soveltaa tietämäänsä.

Kouluttajan pedagogisessa osaamisessa on tärkeää se, että hän omien, muiden kouluttajien ja heidän esimiestensä arvioiden ja kuvausten perusteella pystyy luomaan järkevät tavoitteet ja perustelemaan ne sekä tunnistaa koulutettavien vahvuudet ja heikkoudet. Hänen on osattava kouluttaa nousujohteisesti ja vaihtelevasti hyödyntäen erilaisia koulutusmenetelmiä sekä soveltaa ja reflektoida omaa toimintaansa. Hyvä kouluttaja on innovatiivinen, esiintymistaitoinen ja itseohjautuva; hän mahdollistaa hyvän koulutusilmapiiriin, jossa sallitaan virheiden tekeminen ja niistä oppiminen.

Kehittämisorientaatiolla tarkoitetaan sitä, että hyvällä kouluttajalla on tarve kehittää ja arvioida omaa tietotaitoaan. Hyvä kouluttaja kykenee refleктоimaan omaa toimintaansa tavoitteiden kannalta sekä pyrkii kehittämään itseään ja oppimaan virheistä. On ajateltavissa, että tutkimuksissa havaitut toistuvat samantyyppiset ilmiöt kuvaavat valmiutta korkeamman

tason oppimiseen, jolla taas tarkoitetaan aitoa pyrkimystä ja rakentavaa halua kyseenalaistaa ja arvioida omaa toimintaansa, käytänteitään, niiden perusteita ja niiden vaikutuksia laajemmassa merkityksessä.

Taulukossa 1 on esitetty eräitä toistuvia teemoja tutkimuksen pilottivaiheeseen liittyneiden oppinnäytetöiden tuloksista, joissa hyödynnettiin haastattelua ja laadullista analyysia kouluttajan osaamisen viitekehyksessä.

Sotilaspedagogisen tutkimustiedon tärkeä kohderyhmä ovat kouluttajat; muut organisaatiotasot ja kiinnostuksen kohteet ovat kaikki sellaisia, että niiden tulee tukea ja mahdollistaa kouluttajien tavoitteellinen ja kehityshakuinen työskentely. Koulutustaidon tutkimus kohdistuu koulutuksen, pedagogisten taitojen ja kouluttajien laajemman kasvatusroolin jäsentämiseen tavoitteena hyvä ja tehokas oppiminen ja opettaminen. Tutkimus voi mahdollistaa kriteerejä kouluttajien itsearvioinneille ja kehittymiselle sekä tuoda asioita huomioitavaksi yhteisten ohjaavien materiaalien tuotannossa ja vietäväksi kouluttajakoulutuksen sisältöihin.

#### Kirjoittaja:

Everstiluutnantti, filosofian tohtori, dosentti Antti-Tuomas Pulkka toimii apulaissotilasprofessorina Maanpuolustuskorkeakoululla tutkimusalueenaan sotilaskoulutuksen menestystekijät motivaation, oppimisen ja hyvinvoinnin viitekehyksessä.





**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 Lাকiالا

**Maasotakoulu  
Maavoimien tutkimuskeskus**

Kadettikoulunkatu 7  
PL 54  
49401 Hamina

**Merisotakoulu  
Meritaistelukeskus**

Suomenlinna  
PL 5  
00191 Helsinki

**Satakunnan lennosto  
Ilmاتاistelukeskus**

Varuskunnantie 274  
PL 1000  
33961 Pirkkala

**Puolustusvoimien logistiikkalaitos**

Hatanpäänvaltatie 30  
PL 69  
33100 Tampere

**Sotilaslääketieteen keskus**

Tykkikentäntie 1  
PL 5  
11311 Riihimäki

**Maanpuolustuskorkeakoulu**

Santahamina  
PL 7  
00861 Helsinki



**Puolustusvoimat**  
puolustusvoimat.fi