



Puolustusvoimat

Puolustustutkimuksen **VUOSIKIRJA 2022**



PUOLUSTUSTUTKIMUKSEN VUOSIKIRJA 2022

PÄÄTOIMITTAJA Jouni Koivisto
TOIMITTAJA Johanna Suominen



PUOLUSTUSVOIMAT
RIIHIMÄKI 2022

TOIMITUSKUNTA:

Jouni Koivisto
Vesa Ryyänen
Mika Huttunen
Juhani Hämäläinen
Timo-Jaakko Toivanen
Timo Kaurila
Kirsi Valkeapää
Johanna Suominen
Sirpa Korpela
Stefan Oino
Sami O. Järvinen

TAITTO, KANSI JA KUVANKÄSITTELY:

Johanna Suominen

KANNEN KUVAT:

Puolustusvoimat
Unsplash/drmakete lab
Pixabay/geralt

ISBN 978-951-25-3267-4 (painettu)
ISBN 978-951-25-3268-1 (verkkójulkaisu)
ISSN 2489-7329 (painettu)
ISSN 2490-1601 (verkkójulkaisu)

Puolustusvoimat

PunaMusta
Tampere 2022

Tutkimusjohtajan tervehdys

Puolustusvoimien T&K-toiminnassa T:n, eli tutkimuksen, tehtävänä on luoda ymmärrystä, osaamista ja osajia. Meidän on ymmärrettävä, miten sodankäynti kehittyi, meidän on osattava kehittää meille sopivia ratkaisuja ja meillä pitää olla osajia tätä tekemään. Kirjainyhdistelmän K tarkoittaa ratkaisujen kehittämistä ja toimiviksi osoittamista. Kumpikaan tehtävä ei ole helppo. Tutkimuksen tulee kyetä näkemään kauas tulevaisuuteen ja osata kuvata se asiakkaan ymmärtämällä kielellä. Tutkimuksen työjärjestyksiin kirjaamattomana roolina on toimia unilukkarina, tarvittaessa ravistelemalla organisaatio hereille huomioimaan tulevaisuuden muutostarpeet. Tässä roolissa Puolustusvoimien tutkimusjohtolaati *tieteellisen neuvon* strategisen suunnittelun tarpeisiin. Nimestään huolimatta neuvo ei ole tieteellisin menetelmin laadittu. Se perustuu kuitenkin laajaan joukkoon tieteellisiä tutkimuksia, niitä, joita tämä julkaisu ansiokkaasti esittelee. Neuvon tarkoituksena on vetää yhteen tutkimuksia ja tulkita kokonaisuutta kohderyhmän kannalta. Yleistajuisesti kirjoitetun neuvon herättämä poikkeuksellisen suuri kiinnostus on vihje kehittämään myös tieteellisiä raportteja asiakkaan ymmärtämään muotoon. Ennen kaikkea asiakas tarvitsee tulosten tulkintaa: mitä tämä tarkoittaa minulle?

Unilukkarin rooli on koko ajan vaikeampi. Kehitys, varsinkin teknologian kehitys, kiihtyy koko ajan. Eri teknologioiden kehityksen yhteisvaikutuksia on vaikea hahmottaa, sillä teknologisen konvergenssin myötä kaikki näyttää vaikuttavan kaikkeen. Monimutkaistumisen myötä atomaarinen yksikkö, eli pienin tarkasteltavissa oleva asia, kasvaa tutkimuksessakin. Tutkimusprojektien paisuttamisen sijaan tulisi panostaa tutkimusten verkottumiseen sekä kansallisesti että kansainvälisesti.

Monimutkaistuminen pätee myös sodankäyntiin, jossa perinteinen keinovalikoima on täydentynyt laaja-alaisen vaikeuttamisen paletilla. Sodan kuuden ulottuvuuden (maa, meri, ilma, sähkömagneettinen spektri, avaruus ja tietoverkot) lisäksi sodankäynti on laajenemassa myös kognitiiviseen dimensioon, eli asenteisiin, mielipiteisiin, käsityksiin ja päätöksiin. Silloin puhutaan jo sodan seitsemästä ulottuvuudesta.

Haasteen sodankäynnin tutkimukselle tekee se, että mikään olemassa oleva keino, väline, teknologia tai ulottuvuus ei poistu uuden myötä. Tutkimuskenttä siis laajenee koko ajan. Tämän kirjan artikkeleiden teemojen kirjo kuvaa hyvin sodankäynnin monimutkaistumista ja puolustustutkimuksen monitahoisuutta. Teknologinen konvergenssi, digitalisaatio ja ihmis-konejoukot muuttavat rakenteita, kuten puolustushaaroja ja aselajeja, sekä hämärtävät niiden rajoja. Tällä

on luonnollisesti vaikutus myös tutkimusprojekteihin sekä tutkijoilta vaadittavaan osaamiseen.

Koska resurssit eivät kuitenkaan kasva samassa suhteessa kuin tehtäväkenttä laajenee, pikemminkin pienenevät, joudutaan priorisoimaan entistäkin voimakkaammin mitä tutkitaan ja mitä ei. Omien tutkimusaiheiden väliin jääviä aukkoja kyetään paikkaamaan kansainvälisellä tutkimusyhteistyöllä ja kansallisia yhteistyöverkostoja hyödyntämällä. Siksi monikansalliset tutkimushankkeet tulisi kaikesta ylimääräisestä byrokratiasta huolimatta nähdä mahdollisuuksina tehdä asioita, joita yksin omat resurssimme eivät mahdollista.

Puolustustutkimus käsittää toimintaympäristön tutkimuksen lisäksi sodankäynnin elementtien, ihmisen, teknologian ja sotataidon tutkimisen ja kehittämisen kattaen menneisyyden, nykypäivän ja tulevaisuuden. Tutkimuksen vuosikirjaan on valittu monipuolinen kokoelma artikkeleita tutkimuksen eri alueilta.

Toivotan antoisia lukuhetkiä tutkimuksen parissa!



Kirjoittaja:

Insinöörieversti Jyri Kosola toimii Puolustusvoimien tutkimusjohtajana

Päätoimittajalta

Hyvä lukija! Käsissäsi on järjestyksessään kahdeksas Puolustustutkimuksen vuosikirja. Vuosikirjan 2022 teema on *puolustustutkimus tähyää horisonttiin*. Aikaisempaa suurempi osa artikkeleista tarkastelee asioita ja ilmiöitä, jotka näyttäytyvät 2030-luvun suorituskyvyissä tai synnyttävät edellytyksiä niiden rakentamiseen. Tälläkin kertaa meillä on ollut mahdollisuus julkaista artikkeleita kaikilta puolustusvoimien tutkimusta ja kehittämistä toteuttavilta organisaatioilta. Artikkelit ovat myös ikkuna organisaatioiden toisistaan poikkeaviin vastuu- ja osaamisalueisiin ja tästä johtuen niissä näyttäytyy ensi vuosikymmenen lisäksi myös menneisyys, nykypäivä ja lähitulevaisuus. Organisaatioiden näkökulmasta aikaisempaa laajemman katsauksen saa Maanpuolustuskorkeakoulusta, joka on tuottanut julkaisuun peräti yhdeksän artikkelia. Puolustusvoimien tutkimuslaitos on selvästi suurin tutkimus- ja kehittämistoiminnan toteuttaja ja tuottaa aikaisempien vuosien tapaan merkittävän osan artikkeleista.

Kirjoittaessani vuosi sitten päätoimittajan tervehdystä, toivoin että tässä vaiheessa oltaisiin päästy COVID-19 pandemiasta eroon. Näin ei kuitenkaan käynyt. Puolustustutkimus on kärsinyt jossain määrin matkustamiseen ja työpajojen sekä kenttäkokeiden järjestämiseen liittyvistä rajoitteista. Pandemian pitkittyminen ja normaali henkilöstön vaihtuvuus näyttäytyvät yhteistyöverkostoissa siten, että enenevässä määrin tehdään yhteistyötä etäyhteyksillä sellaisten henkilöiden kanssa, joita ei ole henkilökohtaisesti koskaan tavattu. Henkilökohtaisen kontaktin ja vapaamuotoisen keskustelun puute vähentävät toimijoiden keskinäistä luottamusta ja saattavat rapauttaa yhteistyöverkosta. Näen tämän pandemian merkittävimpana ja pitkäkestoisimpana negatiivisena vaikutuksena tutkimustoiminnalle. Toivottavasti tätä päästään korjaamaan mahdollisimman pian.

Uskon, että tämäkin kirja osaltaan viestii tutkimustoiminnan kriittistä roolia organisaatioiden ja yhteiskunnan tärkeiden osaamisten rakentamisessa ja ylläpitämisessä sekä tulevaisuuden kehittämismahdollisuuksien avaajana niin puolustushallinnossa kuin koko yhteiskunnassa. Ratkaistavien ongelmien monimuotoisuus ja laajuus edellyttävät entistä enemmän puolustushallinnon sekä teollisuus- ja tiedeyhteisön yhdessä tekemistä, mikä puolestaan edellyttää resursointia. Toivon, että myös pandemian heikentämästä julkisen talouden kestävydestä huolimatta päätöksentekijöillä riittää kykyä tähytää horisonttiin ja huolehtia tutkimus- ja kehittämistoiminnan riittävästä resursoinnista. Tutkimuksellinen tietopohja voidaan nähdä niin puolustushallinnossa kuin koko yhteiskunnassa investointina tulevaisuuden varalle, kuin halpana palovakuutusena. Palovakuutustakaan ei enää saa, jos on nurkka tulossa.

Toivotan antoisia lukuhetkiä!



Kirjoittaja:

Päätoimittaja
Insinöörieriverstilutnantti Jouni Koivisto

Sisällys

Tutkimusjohtajan tervehdys	3
Päätöimittajalta	4
Puolustusvoimien tutkimuslaitos	
Strateginen ennakointi, mustat joutsenet ja mustat elefantit	8
Sotilaallisten harjoitusskenaarioiden geostrategisia asetelmia Skandinavian alueella 2020-luvulla	11
Kokonaisturvallisuus osana sotilaallista harjoitustoimintaa	15
Mallinnuksella mahdollisuuksia tulevaisuuden skenaarioiden laajempaan tarkasteluun	18
Kenttämittausten tiedonkeruujärjestelmä nykyaikaan	24
Asevaikutusten kenttämittaukset	27
Räjähdevaikutusten mallintaminen	30
Satunnaisuuden sarjatuotantoa	33
CBRN-aseiden paluu taistelukentälle	36
Pipetinkärkien dekontaminaation kehittäminen monialaisena yhteistyönä	39
Monialaisen osaamisen hyödyntäminen kansallisen kriisivalmiuden kehittämiseksi	42
Autonomiset asetet ja etiikka	46
Kognitiivinen sodankäynti	50
Puolustusvoimien logistiikkalaitos	
Puolustusvoimien materiaaliprojektien tuloksekkaan johtamisen edellytykset	56
Sukellusturvallisuutta ja vedenalaista toimintakykyä arktisissa olosuhteissa kehitetään Puolustusvoimissa	59
Hornet-kaluston elinkaaren loppu hämmöittää	63
Maasotakoulu, Maavoimien tutkimuskeskus	
Autonomian rooli tulevaisuuden maataistelussa	68
Integraatiotestaus osana kehittämistoimintaa	70
Merisotakoulu, Meritaistelukeskus	
Merenpohja – tuntematon uhka toimintaympäristössä	76
Kyberfyysisten järjestelmien mallintaminen	79
Satakunnan lennosto, Ilmataistelukeskus	
Hävittäjätoiminnan suorituskykymittaus	86
Maanpuolustuskorkeakoulu	
Virtuaali- ja lisätyn todellisuuden teknologiat opetuskäyttöön sotilaskoulutuksessa	92
Sotilaan fyysisen toimintakyvyn tutkimus vuosilta 2005–2020 yksissä kansissa	95
Mitä varusmiehet ajattelevat yhteismajoituksesta?	99
Junarmija – Venäjän valtio nuorten identiteettiä muotoilemassa	102
Puolustusvoimat – kokeileva organisaatio jo 1920–1930-luvuilla	106
Kiinan sotilasstrategian kehitys kylmän sodan jälkeisellä aikakaudella	109
Kybervaikuttaminen avaruudessa	112
Komentaja- ja esikuntasimulaattorin käyttöönotto	116
Autonomia taistelukentällä	119



Puolustusvoimien tutkimuslaitos

Strateginen ennakointi, mustat joutsenet ja mustat elefantit

Suomen puolustusvoimilla, kuten useiden maiden asevoimilla, on pitkä historia strategisessa ennakoinnissa. Sillä tarkoitetaan mahdollisen tulevaisuuden tai ainakin vallitsevien trendien ja niiden vaikutusten hahmottamista jopa kymmenien vuosien päähän. Ennakointimenetelmiä on paljon, ja valittava tapa riippuu monista tekijöistä. Yksi tärkeimmistä reunaehdoista ovat käytettävissä olevat resurssit. Työhön osallistuvien henkilöiden määrä ja laatu ovat ratkaisevassa asemassa lopputuloksen luotettavuuden kannalta.

Skenaariot ja mittarit ennustamisen apuna

Yksi ennakkoinnin perustyökalu on skenaarioiden rakentaminen. Niissä tulevaisuuden arvioidaan muodostuvan nykyisten ja historiallisten trendien jatkumona. Vaihtoehtoiset skenaariot syntyvät arvioimalla eri trendien kehitystä yleensä myönteiseen tai kielteiseen suuntaan jatkumosta. Esimerkiksi valtion väkiluvun kehitystä voidaan arvioida suhteellisen luotettavasti, jos elinympäristössä ei tapahdu suuria muutoksia. Matemaattinen mallinnus kertoo, kuinka suuri osuus väestöstä on sukukypsää, mikä perheiden tavallinen lapsiluku on ja missä iässä lapset hankitaan. Yleensä mielenkiinto kohdistuu tuossa ”tavalliseen lapsilukuun”, johon vaikuttaa moni tekijä, kuten vanhempien koulutus- ja elintaso sekä yhteiskunnan tuet.

Eri skenaarioissa voidaan muuttujia hieman viilaamalla vaikuttaa arvioon valtion väestökehityksestä. Se puolestaan vaikuttaa bruttokansantuotteeseen, käytettävissä olevaan reserviin ja muihin yhteiskunnan osa-alueisiin. Vaikutus voi muuttua täysin, jos bruttokansantuotteen kehitys ei olekaan riippuvainen työikäisestä väestöstä. Jossakin voi hämmöttää tulevaisuus, jossa suurin osa talouskehityksestä perustuu esimerkiksi robottien ja erittäin kehittyneen teknologian varaan.

Skenaariomenetelmässä tulevaisuuslinjoille voidaan asettaa indikaattoreita eli mittareita, joilla voidaan tarkastella, mitä tulevaisuutta kohti olemme matkalla. Ne voivat olla laadullisia tai määrällisiä. Väestökehitysesimerkki tarjoaa molemmat. Syntyvyyttä voidaan seurata reaaliaikaisesti; ainakin sitä koskevat arviot voidaan tarkastaa halutuun määrävälein. Väestön koulutustason käyttäminen mittarina on puolestaan vaikeampaa. Edes korkea yleinen taso ei takaa sitä, että kansalaiset ovat kylmästi laskien ”tuottavassa työssä”. Toimettomaksi jäävä korkeakoulutettu yksilö on valtiolle pikemmin kuluerä kuin resurssi. Tuohon pääomapoistumaan

suhtautuminen taas vaihtelee esimerkiksi yleisen sivistystason arvostuksen perusteella. Näin ollen ennakoinnissa on äärimmäisen haasteellista käyttää pelkkää korkeakoulutettujen osuutta väkimäärään nähden lopullisena totuutena yhteiskunnan tuotantokyvystä.

Ennakointi on siis asiantuntijoiden puurtamista vallitsevien trendien ja niiden vaikutusten arvioimiseksi. Työ tuottaa mahdollisia tulevaisuuksia, joista mikään ei todennäköisesti pidä paikkaansa. Arvioita korjataan etukäteen määriteltyjen mittareiden avulla, mutta siitä huolimatta kaikki voi mennä pahasti pieleen. Silloin saatamme puhua joko ”mustista joutsenista” tai ”mustista elefanteista”. Kyse on kahdesta erilaisesta strategisen shokin alatyypistä. Strateginen shokki on trendi tai jopa yksittäinen tapahtuma, joka suistaa ennakoitua tulevaisuudet raiteiltaan.

Musta joutsen yllättää

Suuren yleisön tietoisuuteen mustat joutsenet tulivat Nassim Nicholas Talebin vuonna 2007 julkaistun teoksen *Musta joutsen: Erittäin epätodennäköisen vaikutus* myötä. Sen esipuheessa Taleb kirjoittaa:

”Ennen Australian löytämistä, vanhan maailman asukkaat olivat vakuuttuneita siitä, että kaikki joutsenet ovat valkoisia. Uskoa vahvisti vanha empiria. Ensimmäisen mustan joutsenen näkeminen saattoi olla mielenkiintoinen yllätys muutamille ornitologeille (ja muille, jotka olivat äärimmäisen kiinnostuneita lintujen värityksestä), mutta se ei ole tarinan ydin. Se kuvastaa havaintojen avulla rakennetun tietämyksen rajoja sekä tiedon haurautta. Yksittäinen tapaus voi murskata tieteellisen totuuden, joka perustuu pitkällä aikavälillä tehtyihin miljooniin havaintoihin valkoisista joutsenista. Siihen tarvitaan vain yksittäinen musta (ja kuulemani mukaan ruma) lintu.”

Taleb kertoo mustista joutsenista toisen lintumaailmaan nivoutuvan esimerkin: *”Kuvitelkaa kalkkunoiden haasteita. Jokainen ruokintakerta vahvistaa niiden uskoa siihen, että elämän perussääntöihin kuuluu päivittäinen ystävällisen ja (kuten poliitikot sanoisivat) yleisen hyvän edestä toimivan ihmiskunnan edustajan tekemä ruokinta. Eräänä kiitospäivää edeltävänä keskiviikkona kalkkunoille tapahtuu jotain odottamatonta. Se muuttaa niiden käsitystä uskomuksistaan.”*

Talebin mukaan mustalla joutsenella on kolme kriteeriä: Kyseessä on poikkeava havainto, joka on tavanomaisen odotusarvon ulkopuolella. Sen vaikutus on huomattava. Vaikka

tapahtuma oli poikkeava, sille keksitään ihmisluonnon mukaisesti jälkikäteen selitys, jolloin se olikin selitettävissä ja ennustettavissa.

Historia ei onneksi toista itseään. Voimme ottaa menneisyyden virheistä opiksemme ja korjata toimintaamme paremman tulevaisuuden saavuttamiseksi. Kaikista hyvistä pyrkimyksistämme huolimatta tulevaisuus voi kuitenkin muotoutua aivan erilaiseksi kuin haluamme tai uskomme. Osaksi haavekuvan ja todellisuuden poikkeama johtuu tunnetuista trendeistä, joihin on mahdotonta tai ainakin erittäin vaikeata puuttua.

Toinen esimerkki ovat teknologian, erityisesti tietotekniikan, kehityksen laajamittaiset vaikutukset. Tällä alueella tapahtuvat muutokset täyttävät helposti Talebin mustan joutsenen kriteerit: Tietyn uuden teknologian käytännön vaikutuksia ei osata arvioida sen syntyhetkellä, mutta ne voivat olla todella nopeita ja laajamittaisia. Jälkikäteen teknologian isotkin kehitysaskleet ja niistä seuranneet murrokset selitetään loogiseksi jatkumoksi ja osaksi luonnollista kehitystä, vaikka ne olisi aikaisemmin leimattu puhtaaksi tieteisfiksiiksi.

Ennakointia voi tietysti täydentää kuvittelemalla. Maailmalta on esimerkkejä siitä, kuinka esimerkiksi tieteiskirjailijoita on otettu mukaan ennakoitutyöhön kuvittelemaan erilaisia tulevaisuuksia. Puhtaasti mielikuvituksen perustuvan tulevaisuudenkuvan ottaminen varautumisen lähtökohdaksi voi kuitenkin olla hankalaa.

Musta elefantti astuu näyttämölle

Mustaa joutsenta yleisempi ilmiö on musta elefantti. Oma luonteemme estää avarakatseisen pitkän aikavälin tulevaisuuden pohtimisen. Jopa valistuneimmilla päättäjillä on arvioissaan sokeita pisteitä. Monet järjestyttävät tapahtumat, kuten sodat, poliittiset myllerrykset, pandemiat ja taloudelliset katastrofit, eivät ole olleet mustia joutsenia, koska ne on pääpiirteissään kyetty ennakoimaan. Me olisimme voineet parhaimmillaan estää osan shokeista tai todennäköisesti ainakin lievittää seurauksia, jos päättäjät olisivat uskoneet tapahtumia edeltäviä signaaleja ja reagoineet ennakoivasti. Valitettavasti keskitymme pääsääntöisesti tässä ja nyt tapahtuviin asioihin suomatta aikaa tai muita resursseja pitkän aikavälin haasteille.

Tunnettu ja ennakoitu, suuresti vaikuttava ilmiö, johon ei syystä tai toisesta reagoida, on määritelmällisesti musta elefantti. Se saa olla huoneessa, eikä kukaan ole näkevinään sitä. On mahdollista, ettei poliitikko saa lisä-ääniä huutamalla sutta, mutta sen ei pitäisi estää asioista puhumista ja tulevaisuuteen valmistautumista.

Meillä on useita esimerkkejä mustista elefanteista: ilmastonmuutoksen turvallisuuspoliittiset seuraukset, suurvaltojen välinen valtakamppailu, kotouttamisen ongelmat, yhä monimutkaisempien ohjelmistojärjestelmien haavoittuvuudet jne. Kun musta elefantti tulee näkyväksi, se on jostakin syystä aina ”yllätys”. On monia esimerkkejä siitä, kuinka yllätyk-



(Kuva: Wikimedia Commons/LeonidasB, CC4.0)

sistä on itse asiassa varoiteltu jo monta vuotta mutta Pandoran lipasta ei ole haluttu avata. Tulevaisuutta ei kuitenkaan voi tahtoa mieleisekseen – sen vuoksi on tehtävä töitä. Joskus mainittu työ on epämiellyttävää tai kallista – mutta silti halvempaa ja miellyttävämpää kuin jälkiseurauksen siivoaminen. Tarkastellaan vielä hetki ilmastonmuutosta, josta puhuttiin aiemmin myös kasvihuoneilmiona. Käytävissä olleiden mallien ja mittausdatan perusteella on luotu erilaisia uhkakuvia ja ennusteita. Laajassa mittakaavassa asiaan on kuitenkin havahduttu reagoimaan verraten myöhään – kun muutos on jo käynnissä. Lämpenevä ilmasto, poikkeukselliset sademäärät, toisaalta pitkät jaksot jne. ovat luoneet painetta tehdä asialle jotakin. Tarvitaan siis paljon todistusvoimaa ennen kuin musta elefantti tunnustetaan ja seurauksiin aletaan reagoida. Toisaalta reagointi vaatii paljon resursseja, asennemuutosta ja toimintatapojen muutosta. Mukavuus ei välttämättä kasvakaan jatkuvasti, mutta jos vaihtoehto näyttää vielä huonommalta, mukavuudesta tutkimiseenkin löytyy ehkä valmiuksia. Tälläkin asialla on suuria seurannaisvaikutuksia monella strategisen ennakkoinnin osa-alueella, joita ovat esimerkiksi muuttoliike, teknologia, talous ja poliittiset voimasuhteet.

Tutkijat eläintarhassa

Millään organisaatiolla ei ole kykyä ennakoida mustia joutsenia. Puolustusvoimien tutkimuslaitoksella on kuitenkin velvollisuus paljastaa mustia elefanteja. Toisinaan organisatorinen, poliittinen tai muu yhteiskunnallinen paine vaikeuttaa

tätä työtä. Paine on kuitenkin vain hidaste – ei este. Laadukkaasti, kestäväällä pohjalla tehty tieteellinen työ voi tuottaa epämiellyttäviä tuloksia, mutta sen ei pidä johtaa itsesensuuriin tai välttelyyn. Ennakoinnissa sellaiseen ei ole varaa.

Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen ennakoitintyön vahvuus perustuu kansallisiin ja kansainvälisiin verkostoihin, tietojen vaihtoon ja poikkitieteellisyteen. Ennakointi saattaa kehittyä edelleen, kun vuosien asiantuntemusta voidaan täydentää esimerkiksi keinoälyn kyyryllä erotella heikkoja signaaleja vallitsevien trendien joukosta. Heikko signaali voi edeltää ilmiötä tai tapahtumaa jo paljon ennen kuin se vaikuttaa toimintaympäristöömme. Kehittyneet tietojenkäsittelymahdollisuudet auttavat maailman ”massavalvonnassa” ja monimutkaisten syy-seurausketjujen ymmärtämisessä. Varsinaisia mustia joutsenia emme silti näe. Meidän on jatkuvasti muistettava, ettei jälkiviisaus eli tapahtuman selittäminen jälkikäteen ole ennakoitintia.

Kirjoittajat:

Diplomi-insinööri Simo Huopio toimii tutkimusalojohtajana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen informaatiotekniikkaosastossa tietoverkkosodankäynnin tutkimusosalalla.

Filosofian tohtori Juhani Hämäläinen työskentelee Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen informaatiotekniikkaosaston johtavana tutkijana.

Komentaja Juha-Antero Puistola työskentelee erikoistutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen doktriinosastossa tiedonhankinta-alalla.



(Kuva: Freepik.com)

Sotilaallisten harjoituskenaarioiden geostrategisia asetelmia Skandinavian alueella 2020-luvulla

Skenaarioiden käyttö on globaalissa sotilaallisessa kontekstissa nykyään arkipäivää. Skenaarioilla luodaan tilanteita, joissa puolustusjärjestelmää sen eri osineen valmistellaan erilaisia mahdollisia tulevaisuuksia varten. Skenaarioita laaditaan puolustusjärjestelmän eri osille niiden toiminnallisuuden mukaan ja niiden luonne ja tarkoitus voivat olla hyvinkin spesifejä. Sotilaallisen kontekstin varautumisskenaariot ovat pääsääntöisesti turvaluokiteltuja, jonka vuoksi niistä on vaikeaa saada tietoa tai tehdä kattavaa analyysiä. Harjoituskenaariot puolestaan ovat usein julkisia, varsinkin jos niitä on tarkoitus käyttää kansainvälisissä suuremmissa harjoituksissa. Harjoituskenaarioilla voidaan ilmaista moninaisia kantoja, joista ehkä keskeisimpiä ovat geostrategiset asetelmat, joihin tämä artikkeli keskittyy.

Sotilaallisia skenaarioita voidaan luokitella yleisesti kahdella tavalla. Niistä ensimmäinen on luokitella skenaariot käyttöperiaatteen mukaan kahteen kategoriaan. Ensimmäiseen kategoriaan kuuluvat useimmiten turvaluokitellut **varautumisskenaariot**, joiden perusteella tehdään kriisi- ja poikkeusolojen suunnittelua. Nämä skenaariot perustuvat useimmiten reaali maailmaan ja reaali toimijoihin. Toiseen kategoriaan kuuluvat erilaiset **harjoituskenaariot**. Nykyinen trendi on käyttää synteettisiä skenaarioita, joiden sisältö koostuu reaali- ja fiktiivimaailman elementtien yhdistelmästä. Laajoja harjoituskenaarioita asetelmiseen on tarkoitus käyttää useamman vuoden ajan, mutta niitä voidaan tarvittaessa muokata tiettyä harjoitusta ja sen tavoitteita paremmin palveleviksi. Toinen muokausperuste on muuttunut sotilasstrateginen tilanne. Tästä johtuen sotilaallisten harjoituskenaarioiden luonnetta ei tule ymmärtää stabiiliksi. Toinen tapa on luokitella skenaariot sisältönsä perusteella suhteessa reaali maailmaan seuraavalla tavalla:

1. reaaliskenaariot
2. fiktiiviset skenaariot
3. näiden yhdistelmät eli synteettiset skenaariot.

Tämä artikkeli käsittelee Skandinaviaan sijoittuvien sotilaallisten harjoituskenaarioiden asetelmia ja toimijoita, joista on saatavissa materiaalia julkisista lähteistä. Skenaarioiden moninaisesta luonteesta johtuen niiden rooli ja määrittely vaihtelee eri organisaatioiden välillä. Suomen puolustusvoimien voimassa oleva harjoitustoimintanormi määrittelee skenaarion seuraavasti:

”Laaja toimintaympäristöön liittyvä kuvaus, joka asemoi harjoitusjoukon osaksi kansainvälistä ja kansallista tilannetta. Tilannekuvaan perustuva lähtökohdatilanne, jonka luomisessa tulee huomioida eri suojaustasoilla toteutettavat harjoitukset, esim. varusmiesten, reserviläisten tai kansainvälisten toimijoiden osallistuminen kulloinkin toteutettavaan harjoitukseen.”

Norjassa sijaitseva Naton harjoitustoimintaa organisoiva Joint Warfare Centre puolestaan määrittää skenaarion hie-man laajemmin:

”Skenaario on tausta tarinalle, joka kuvailee historialliset, poliittiset, sotilaalliset, ekonomiset, kulttuuriset, humanitaariset ja lainsäädännölliset tapahtumat ja olosuhteet, jotka ovat johtaneet kyseiseen kriisiin tai konfliktiin. Skenaario luodaan tukemaan harjoitustavoitteita, ja skenaarion asetelma voi olla tarpeen mukaan realistinen, fiktiivinen tai synteettinen.”

Määrittämistä riippumatta modernien harjoituskenaarioiden tulee mahdollistaa harjoittelu kaikissa sotilaallisissa ulottuvuuksissa sekä yhteiskunnan eri osa-alueilla. Perinteinen käsitys siitä, että armeijat harjoittelisivat pelkästään omassa sotilaallisessa ulottuvuudessaan, on vanhentunut. Sodankäynti on nykyään laaja-alainen kokonaisuus, jossa hyödynnetään laaja-alaisen vaikuttamisen koko spektriä. Tämän vuoksi koko spektri on otettava huomioon myös harjoittelussa.

Nykyisen globaalien kontekstien harjoituskenaarioiden logiikan ja ideologian voidaan katsoa olevan lähtöisin Naton prosessista. Kyseisessä prosessissa harjoituskenaario jaetaan kuuteen eri moduuliin. Alkuperäin moduuleissa kuvataan geostrateginen asetelma ja siihen sijoitetut toimijat. Toimijoilla tarkoitetaan merkittävää roolitettua skenaarion sisältä toimijaa, joka voi olla joko valtio tai jokin muu yhteisö. Skenaariomoduuleissa rakennetaan myös eskalaatio, jossa toimijat roolitetaan tarkemmin.

Intressi geostrategisten asetelmien ottamisessa tarkastelun tai analyysin kohteeksi piilee sotilaallisten skenaarioiden taustafilosofiassa. Asetelmien kautta voidaan ilmaista hyvin moninaisia kannanottoja ja viestejä. Informaatioulottuvuudessa tapahtuva vaikuttaminen ja viestintä heijastuvat vääjäämättä myös kaikkiin julkisiin sotilaallisiin skenaarioihin. Tämä ilmenee siten, että skenaarion sisällä roolitetaan toimijoita joko neutraaleihin, ystävällisiin tai vihamielisiin kuuluviksi.

Julkiset harjoitusskenaariot tarjoavat näin ollen potentiaalisen väylän ilmaista poliittisstrategisia kantoja joko suoraan tai peitellysti. Suurvallat ilmaisevat kantojaan skenaarioissa hyvinkin suoraan, mutta pienemmät valtiot joutuvat usein ilmaisemaan omat kantansa maltillisemmin. Myös kantaaottamattomuus on tietoinen valinta.

Esittelyt

Naton JWC:llä on käytössään tällä hetkellä kolme julkista laajempaa harjoitusskenaariota: Fikso, Skolkan ja Occasus. Näistä kaksi viimeistä sijoittuvat Euroopan alueelle. Naton Sorotan-nimen tunteva harjoitusskenaario on poistunut käytöstä, ja myös vuonna 2012 julkaistu Skolkan on ”eläköitymässä”. Fikso sijoittuu Afrikan alueelle ja Occasus sen yläpuoliseen Eurooppaan. Occasus jakautuu vielä kolmelle maantieteelliselle alueelle, jotka ovat loogisesti North, Centre ja South. Näin ollen termi ”Occasus South” tarkoittaa Occasus-asetelman eteläistä osaa. Occasusta on suunniteltu käytettäväksi Naton Euroopan-harjoitusten skenaarioasetelmana nykyisen tiedon mukaan ainakin vuoteen 2025 asti. Kuvassa koko Occasus ilman rajauksia.



(Kuva: Nato JWC)

Occasus-asetelmaan sisältyy neljä vihamielistä toimijaa, jotka on sijoitettu nykyisen Venäjän alueelle. Nämä neljä maata ovat muodostaneet Matador-nimisen sotilaallisen liittouman, jonka intresseissä on NATOn ja EU:n vaikutusvallan rajaaminen geopolittisten ja strategisten intressien risteämisen vuoksi. Matador-liittouman maista voimakkain on Murinus, jonka sotilaallisiin suorituskykyihin Matador nojaa. Muut Matadoriin kuuluvat maat ovat Plumbeus, Cinerus ja Griseus. Huomionarvoista on tiettyjen, nimettyjen alueiden erityinen, värien kautta ilmenevä asemointi, jonka tarkoitus voi olla monisyinen.

Ruotsilla on useita sotilaalliseen harjoituskäyttöön soveltuvia skenaarioita, joista uusin on nimeltään Northern Continent. Sen asetelma toimijoihin tulee julkiseksi vuoden 2022 aikana. Ruotsin ehkä tunnetuin skenaario on Bogastar, jota on käytetty viime vuosina Ruotsin Viking- ja CJ-SE-harjoituksissa. Kyseinen asetelma tunnetaan myös Bogaland-termillä, ja se sijoittuu loogisesti Pohjois-Eurooppaan. Asetelman roolitus on vaihdellut vuosien saatossa ja harjoituksesta riippuen. Keskeinen toimija ja alue on nimeltään Bogaland, johon harjoituksesta riippuen on kuvattu joko vihamielisiä toimijoita tai eriaisteisia kriisejä. Bogalandin alueelle on myös voitu sijoittaa useita pienempiä toimijoita suurten sijaan, mikä mahdollistaa paremmin kriisinhallintaoperaatioihin liittyvien tapahtumien ja tilanteiden harjoittelun. Bogastarin alkuperäinen idea onkin ollut kansainväliseen kriisinhallintaan liittyvien toimintojen harjoittelu.



(Kuva: Ruotsin puolustusvoimat)

Toimijoista Ruotsin alueella pohjoisin on Northland, joka muodostuu Ruotsista Tukholmasta ylöspäin. Sen alapuolella on aiemmin mainittu Bogaland, ja niiden välissä sijaitsee Xland. Etelä-Ruotsi on puolestaan nimetty Southlandiksi. Norja jakaantuu kahteen osaan, joista eteläinen on nimetty Westlandiksi ja osa Pohjois-Norjaa Arctichlandiksi. Baltia ja Kaliningrad on niputettu Eastlandiksi. Suomi ja Venäjä on nimetty Nelandiksi ja Tanskan, Saksan ja Puolan muodostama alue Eurolandiksi.

Huomionarvoisina seikkoina voitaneen pitää aluevesirajojen muokkaamista siten, että ne mahdollistavat vapaan meriliikenteen Ruotsin ja Ahvenanmaan välillä Perämerelle, sekä Suomen ja Venäjän kuvaamista yhdeksi, maarajattomaksi toimijaksi.

Suomi ei ole perinteisesti järjestänyt sellaisia suuren mittaluokan sotilaallisia kansainvälisiä harjoituksia, joihin olisi ollut perusteltua tai välttämätöntä laatia laajempi harjoitusskenaario erillisine toimijakuvauksineen. Arctic Lock 21 -harjoituksen oli tarkoitus olla ensimmäinen suuren mittaluokan sotaharjoitus Suomessa, ja siihen laadittiinkin laaja harjoitusskenaario, Staalo. Staalo on tarkoitus jalostaa Suomen omaan kansalliseen käyttöön mutta myös mahdollisesti kansainvälisten harjoitusten skenaariopohjaksi tulevien vuosien aikana. Staalon asetelmaa on pyritty muokkaamaan mahdollisimman laajaan käyttöön soveltuvaksi, ja sitä on jo käytetty joissakin Puolustusvoimien harjoituksissa.



(Kuva: Puolustusvoimat)

Staalon asetelmassa vihamielisiä toimijoita on kolme. Niistä kaksi on identifioitavissa karttakuvan perusteella ja kolmas jää piiloon. Pohjoisessa vihamielinen toimija on Northland ja etelässä puolestaan Sealand. Kuva esittää karkeasti skenaarioasetelmaa, jota olisi mahdollisesti voitu käyttää perustana Arctic Lock 21 -harjoituksessa. Huomionarvoisena seikkana voidaan pitää asetelman Finland-toimijalle muodostuvien uhkapotentiaalien ilmansuuntia.

Venäjän vuoden 2021 Zapad-harjoituksen skenaarioasetelma oli hieman erilainen kuin vuoden 2017 vastaava, sillä toimijoiden nimeäminen ja roolitus oli tehty uusiksi. Painopistealue pysyi sen sijaan hyvin samankaltaisena. Vuoden 2021 skenaariossa vihamielisenä toimijana oli kolmen toimijan muodostama liitto, joka toimii lännen mutta myös pohjoisen suunnalta Valko-Venäjän ja Venäjän intressien vastaisesti. Kyseisestä asetelmasta on tämän artikkelin kirjoitushetkellä (marraskuu 2021) löydettävissä perin vähän materiaalia julkisista lähteistä.



(Kuva: Miika Aaltonen, hahmotelma lähdeaineiston perusteella)

Karkea hahmotelma Zapad 21 -harjoituksen skenaarion mahdollisesta asetelmasta perustuen toimijoista avoimen lähdehaun perusteella saatuihin kuvauksiin. Valko-Venäjä ja Venäjä on esitetty yllä olevassa kuvassa lähdemateriaalista poiketen eri väreillä asetelman helpomman hahmottamisen vuoksi.

Lähdemateriaalin perusteella skenaarion vihamielisiä toimijoita Pomoriya sijoittuu Puolaan, Nyaris puolestaan Liettuaan, Puolaan ja hieman Latvian alueelle. Sen sijaan kolmas toimija Polyarnaya Respublika jää käytössä olevan lähde- ja kuvamateriaalin perusteella piiloon. Kyseinen kolmas toimija on hyvin mielenkiintoinen, sillä Venäjällä ja Valko-Venäjällä julkaistujen artikkelien ja uutisointien perusteella sen voidaan tietyin varauksin tulkita tarkoittavan toimijaa, jolle annetut poliittiset ominaisuudet ovat hyvin samankaltaisia kuin Pohjoismailla. Termi ”Polyarnaya Respublika”, alkuperäisessä muodossaan ”полярная Республика”, viittaa toimijaan arktisen alueen määrittävän leveyspiirin yläpuolella. Virallinen tieto siitä, että Venäjän pohjoinen laivasto osallistui syksyn Zapadiin, antaa lisää perusteita lokalisoida Polyarnaya Respublika Skandinaviaan Napapiirin yläpuoliselle alueelle. Muuten Venäjän pohjoisella laivastolla ei olisi ollut harjoituksen skenaarioasetelmassa primäärillä vastuualueellaan vastustajaa. Ohuen ja osin puutteellisen lähdemateriaalin vuoksi Polyarnaya Respublikan sijainti ja tarkemmat ominaisuudet jäävät kuitenkin spekulointiasteelle.

Pohdinta

Sotilaallisilla skenaarioilla on tarkoitus, niin varautumisen kuin harjoittelunkin saralla, ennakoida reaali maailman mahdollisen, useimmiten jopa todennäköisen vihamielisen toimijan toimintaa tai erilaisia kehityskulkuja. Tämän ennakkoinnin kautta puolustusjärjestelmää sekä siihen suoraan tai epäsuorasti liittyviä toimijoita pyritään harjoituttamaan sellaisia tilanteita varten, joissa niiden roolin uskotaan olevan keskeisessä asemassa. Harjoittelun ja ennakkoinnin perimmäinen tarkoitus on parantaa omaa tai yhteistä suorituskykyä. Parantuneella suorituskyvyllä taas on tarkoitus turvata valtion ja yhteiskunnan häiriötön toiminta erilaisissa vaikeasti ennakoitavissa tilanteissa, niin normaali- kuin poikkeusoloissa.

Harjoitusskenaarion laativan tahon tehtävänä on luoda asetelmia ja tilanteita, joissa organisaatio pakotetaan sellaisten asioiden ja tilanteiden äärelle, joissa toimiminen on hankalaa. Sotilaallisessa kontekstissa tämä tarkoittaa usein ”epämukavuusalueita”, joissa joukon toiminta on haasteellista. Haasteilla luodaan mahdollisia ratkaisuvaihtoehtoja ja toimintatapamalleja, joiden löytämiseen ei välttämättä kriisi- tai poikkeusoloissa ole aikaa. Harjoitusskenaario, joka johdattaa joukon toiminnan mukavuusalueelle rutiininomaisiin tehtäviin, on epäonnistunut. Harjoitusskenaarion laativalle taholle muodostuu näin ollen kollektiivista vastuuta ja mahdollisesti jopa ”vastarannan kiisken rooli”. Vastuu on silti kannettava.

Kirjoittaja:

Yhteiskuntatieteiden maisteri Miika Aaltonen toimii suunnittelijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen doktriiniosastossa Puolustusvoimien yhteisten harjoitusten johto-osa -tutkimus-
alalla.

Kokonaisturvallisuus osana sotilaallista harjoitustoimintaa

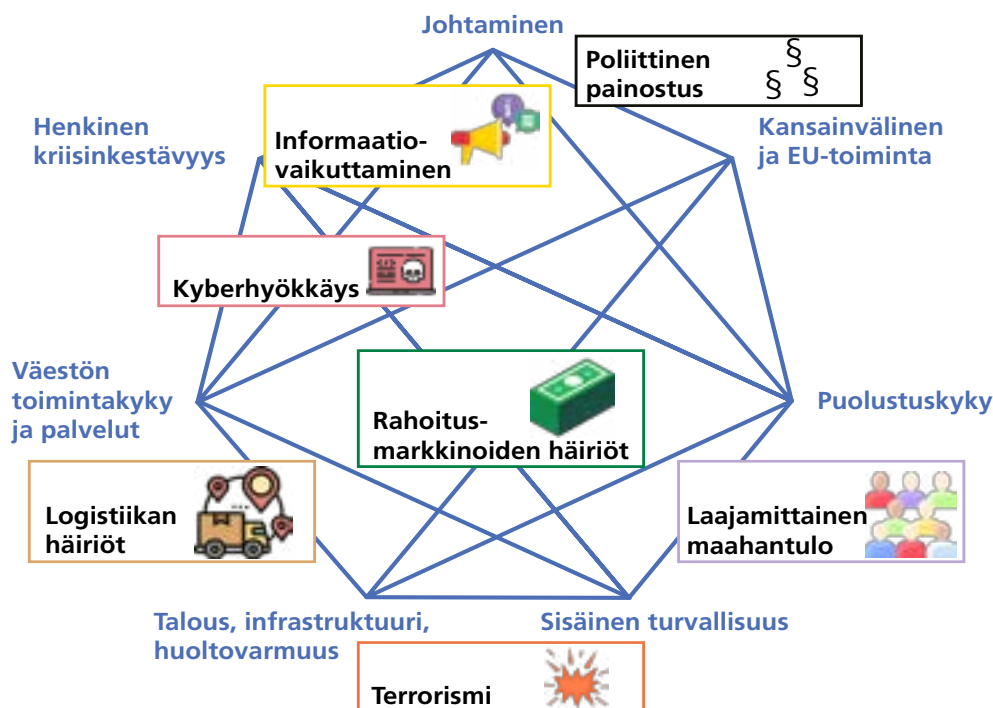
Puolustuskyky on yksi kokonaisturvallisuuden seitsemästä turvattavasta yhteiskunnan elintärkeästä toiminnasta eli osa kokonaisturvallisuuden timanttia. Toiminnot eivät ole erillisiä, vaan niillä on riippuvuuksia. Kokonaisturvallisuuden mallin mukaisesti turvallisuustoimijoita ovat kaikki johdettuun tai sitä tukevaan turvallisuustoimintaan osallistuvat tahot – sekä yksilöt että yhteisöt. Niihin lukeutuvat siis valtionhallinto, viranomaiset, elinkeinoelämä, maakunnat, kunnat, yliopistot ja tutkimuslaitokset, järjestöt ja kansalaiset.

Eri turvallisuustoimijoiden toiminta tai sen puuttuminen vaikuttaa suoraan tai välillisesti muihin toimijoihin ja niiden tehtäviin – myös puolustuskykyyn. Vaikutukset voivat olla myönteisiä tai kielteisiä. Aina niillä ei ole merkitystä puolustuskyvylle, mutta joskus vaikutus on hyvinkin suuri. Parhaimmillaan muut turvallisuustoimijat tukevat Puolustusvoimien suorituskykyä ja lakisäätteisten tehtävien toteuttamista, epäonnisimmassa tilanteessa taas muun yhteiskunnan häiriöt ja kriisit alentavat puolustuskykyä.

Myös Puolustusvoimien toiminta vaikuttaa muihin turvallisuustoimijoihin. Näiden riippuvuuksien ja vaikutuksien ymmärtämiseksi kokonaisturvallisuus näkyy – ja sen tuleekin näkyä – sotilaallisessa harjoitustoiminnassa eri tasoilla. Kokonaisturvallisuus on ensisijaisesti yhteistyömalli, jossa toimijat jakavat ja analysoivat turvallisuutta koskevaa tietoa sekä suunnittelevat, harjoittelevat ja toimivat yhdessä. Harjoitustoiminta on siis kokonaisturvallisuuden ytimessä. Harjoitustoiminta tukee turvallisuustoimijoita valmiuslain varautumisvelvoitteen täyttämässä eli valmiussuunnittelussa ja etukäteisvalmisteluissa poikkeusoloja varten.

Harjoittelussa toimitaan tavoitteellisesti ja kehityshakuisesti

Harjoittelua tapahtuu monella eri tasolla. Alueellisella ja paikallisella tasolla kehitetään tietyn alueen viranomaisten, elinkeinoelämän, paikallisjoukkojen ja asukkaiden yhteistä varautumista ja kriisiajan yhteistoimintaa. Toki myös harjoitellaan käytännön yhteistoimintaa kentällä ja sen johtamista



Kokonaisturvallisuuden timanttimalli sekä elintärkeisiin toimintoihin kohdistuvia uhkia ja häiriötilanteita. (Grafiikka: Sari Uusipaavalniemi ja Johanna Suominen; perustuen yhteiskunnan turvallisuusstrategiaan ja kansalliseen riskiarviioon.)

esimerkiksi onnettomuustilanteessa tai paikallisissa, sisäistä turvallisuutta uhkaavissa häiriötilanteissa. Alueellinen turvallisuus ja paikallisturvallisuus nivoutuvat osaksi kokonaisturvallisuutta. Valtakunnallisella tasolla harjoitellaan esimerkiksi yhteistoiminnan käynnistämiseksi tai lisäresursien varmistamiseksi tarvittavia prosesseja, hallinnonalojen ja eri toimijoiden välistä koordinoitua sekä tiedonvaihtoa häiriö- tai kriisitilanteessa. Kaikilla tasoilla keskiössä ovat tiivis, suunnitelmallinen yhteistyö, kyky ennakoida ja tunnistaa uhkia, haavoittuvuuksia ja omia voimavaroja sekä kyky vastata äkillisesti muuttuvaan turvallisuustilanteeseen.

Laajempaan johtamisharjoitukseen on mahdollista sisällyttää ja roolittaa kokonaisturvallisuuden eri toimijoita, kuten ministeriöitä, virastoja, poliisi, kumppaniyrityksiä ja järjestöjä. Useita viranomaisia ja muita turvallisuustoimijoita koskevilla häiriötilanteilla ja laaja-alaisen vaikuttamisen kehityskuluilla harjoitellaan koordinoitua ja yhteistä tilannekuvaa sekä testataan varautumista ja valmiutta. Kuvitteellinen harjoitustilanne ja jopa itselle aiemmin tuntemattoman toimijan roolissa harjoittelu auttaa ymmärtämään muiden toimijoiden roolia ja toimintaa kokonaisturvallisuudessa sekä toimijoiden välisiä riippuvuuksia.

Johtamisharjoituksissa harjoitellaan toimintaa häiriötilanteissa ja poikkeusoloissa, mutta poikkeusolot tai sotatilaan eivät poista yhteiskunnasta muita toimijoita. Muun yhteiskunnan turvallisuustilanne heikkenee sotilaallisen kriisin myötä ja vaikuttaa puolustuskykyyn. Laaja-alainen vaikuttaminen kohdistuu koko yhteiskuntaan jo normaalioloissa, ja sitä on kaikkien turvallisuustoimijoiden kyettävä tunnistamaan ja torjumaan. Johtamisharjoituksissa testataan ja arvioidaan yhdessä ja erikseen toimijoiden suorituskykyä: toimintamalleja, kalustoa ja välineistöä sekä osaamista. Harjoitukset kehittävät kykyä vastata sekä toimijan omaa vastuualuetta että useita toimijoita koskettaviin uhiin ja häiriötilanteisiin. Parhaimmillaan harjoituksista saadut opit ja havainnot jalkautuvat osaksi uhka- ja riskiarvioita, valmius- ja varautumissuunnitelmia, tilannekuvaa, kehitettäviä konsepteja tai toimintaympäristöanalyysijä. Johtamisharjoitusten on oltava mahdollisimman realistisia. Tämä edellyttää yksityiskohtaista suunnittelua siitä, mitä halutaan harjoitella ja kenen kanssa. Harjoituksiin luodaan moniulotteisia kehityskulkuja, joista kunkin tahon on kyettävä tunnistamaan itselleen olennaiset tapahtumat ja vaatimukset. Harjoittelun kohteena voi olla resurssien priorisointi, ja harjoitustilanteessa resurssien priorisointiin ja uudelleen kohdentamiseen aiheutetaan usein tarkoituksella tarvetta. Harjoituksissa myös asetetaan päätöksenteolle ja toiminnalle kriisiajalle tyypillistä aikapainetta.

Yhteistoimintaa luodaan ja kehitetään harjoittelemalla

Harjoituksilla on koulutuksellisia, analyttisiä tai toiminnan kehittämiseen liittyviä tavoitteita. Harjoituksiin voi liittää kokonaisturvallisuuden tutkimusta esimerkiksi turvallisuustoimijoiden yhteistyöstä tai tiedonjakamisesta. Uusia konsepteja ja toimintamalleja voidaan eksperimentoida, testata ja validoida yhteisen harjoitustoiminnan avulla. Arviointi on yleensä osa harjoitusprosessia ja auttaa kehittämään sekä yhteistä harjoitustoimintaa prosessina että harjoittelun kohteena ollutta toimintaa. Arviointi paljastaa, toteutuiko harjoittelevalle taholle asetettu tavoite ja tuottivatko harjoitukseen valitut skenaarit, tapahtumat ja syötteen toivotunlaista vai vaikkapa ihan kokonaan uudenlaista omaa toimintaa ja yhteistoimintaa.

Harjoittelemalla tunnistetaan esimerkiksi viranomaisen päätöksentekoprosessien eritahtisuuden tuomia haasteita ja vaatimuksia sekä lisätään tuntemusta päätöksenteko- ja tiedoksiantoprosesseista. Harjoitukseen rakennettujen kuvitteellisten tapahtumien ja toiminnan kautta syntyy muiden turvallisuustoimijoiden roolin huomioiva tilanne, mikä auttaa tunnistamaan toiminnan haavoittuvuuksia tai uusia tapoja toimia. Muutaman tunnin tai päivän kestävässä Table Top- ja seminaaripellytyypisissä tilaisuuksissa voidaan yhteistyössä kehittää varautumista tietyn tyyppiseen uhkaan. Tilaisuuksissa pohditaan esimerkiksi uusien ilmiöiden ja muutosten vaikutuksia sekä varautumista niihin. Lisäksi on mahdollista tunnistaa kokonaisturvallisuuden toimijoiden yhteistyötarpeita sekä katvealueita vastuissa ja toimivaltuuksissa. Esimerkiksi Puolustusvoimien ulkopuoliset asiantuntijaverkostot, kuten



Puolustusvoimat on turvallisuustoimija, jonka kokonaisturvallisuuden mallin mukaisesti tulee jakaa tietoa, suunnitella, harjoitella ja toimia yhdessä muiden yhteiskunnan turvallisuustoimijoiden kanssa. (Kuva: Sari Uusipaavalniemi)

Maanpuolustuksen tieteellinen neuvottelukunta (MATINE), tai kumppaniorganisaatiot voivat tuottaa puolustuskyvylle merkityksellistä tietoa ja kehittämistarpeita tällaisissa tilaisuuksissa.

Puolustusvoimien henkilöstöä osallistuu säännöllisesti muiden toimijoiden johtamiin harjoituksiin, kuten alueellisiin varautumisharjoituksiin tai huoltovarmuusorganisaation poolien harjoituksiin. Näin ymmärrys muiden turvallisuustoimijoiden varautumisen kehittymisestä ja muun yhteiskunnan tuen tarpeesta Puolustusvoimilta erilaisissa häiriö- tai kriisitilanteissa kasvaa. Samalla Puolustusvoimilla on mahdollisuus tuoda esille omia muun yhteiskunnan voimavarojen, esimerkiksi infrastruktuurin, käyttöön liittyviä tarpeitaan.

Muissa maissa laaja turvallisuuskäsitys poikkeaa jonkin verran Suomen kokonaisturvallisuusmallista. Silti osallistuminen kansainvälisiin sotilaallisiin harjoitustapahtumiin, joissa on mukana muita turvallisuustoimijoita, auttaa ymmärtämään laajemmin turvallisuussuhkia, eri toimijoita ja heidän toimintaansa.



Kokonaisturvallisuus on kriisitilanteessa yhteiskunnan pelastusrenkas ja yhteinen harjoittelu on osa sitä. Pelastusrenkaan käyttöä on opeteltava, ja renkas vaatii silloin tällöin päivitystä. Ennakointi auttaa hahmottamaan, missä pelastusrenkasta tulevaisuudessa tarvitaan ja millainen sen tulee olla. (Kuva: Sari Uusipaavalniemi)

Harjoitukset auttavat myös simuloimaan median ja viestinnän roolia ja vaikutuksia kriisitilanteessa. Näin harjoituksissa harjoitetaan media- ja viestintätaitoja ja nähdään muiden toimijoiden toiminnan ja viestinnän vaikutukset puolustushallinnon ja Puolustusvoimien omaan viestintään. Muun yhteiskunnan ja eri turvallisuustoimijoiden viestinnän kautta saadaan tietoa oman tilannekuvan muodostamiseen. Harjoittelu kehittää kykyä huomioida mediaulottuvuus. Yhteinen harjoittelu auttaa myös selkiyttämään viestinnän roolia osana johtamista sekä viestintävastuita.

Tulevaisuus tehdään nyt

Harjoittelu lisää varmuutta ja näyttöä siitä, että ollaan valmiita tuleviin kriiseihin ja yhteistoimintaan muiden turvallisuustoimijoiden kanssa niiden ratkaisemiseksi. Harjoittelu edistää yhteistyötä ja sitoutumista siihen. Harjoitustoiminnan ohella myös yhteiskunnassa toteutuvat häiriöt ja kriisit tuovat kokemusta ja auttavat vahvistamaan tietoja, taitoja ja turvallisuusasenteita. Toteutuneista kriiseistä puolestaan voidaan ammentaa elementtejä harjoitustoimintaan.

Vuodet eivät ole keskenään veljiä, eivätkä kriisitkään. Siksi harjoittelu nykyisiä uhka-arvioita ja toteutuneita kriisejä vasten ei riitä, vaan on pyrittävä tunnistamaan tulevaisuuden uhkia ja kriisejä sekä uusia tapoja varautua. Uhkat monipuolistuvat, viranomaisten tehtäväkenttä laajenee ja aika- ja resurssipaineet kasvavat. Laaja-alainen vaikuttaminen korostaa hyvin suunniteltujen ja harjoiteltujen johtamismallien ja tilannekuvan merkitystä yhteistyössä. Ennakoinnissa tunnistettujen ja analysoitujen nousevien ilmiöiden ja muutostekijöiden sekä toivottua kehitystä haastavien shokkien tuominen osaksi harjoitusskenaarioita on tulevaisuudessa varmasti yhä tärkeämpää. Samalla se on myös haastavampaa muutostekijöiden keskinäisriippuvuuksien takia. Kehittyminen reaali maailman toiminnassa harjoitustoiminnan avulla edellyttääkin välillä epä mukavuusalueelle menemistä ja hyppyä tunteuttomaan. Kaikkihan me haluamme olla valmiita.

Kirjoittaja:

Tekniikan tohtori Sari Uusipaavalniemi toimii yhteiskunnan turvallisuusstrategian harjoittelutoiminnan johtajana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen doktriiniosastossa Puolustusvoimien yhteisten harjoitusten johto-osa -tutkimusallalla.

Mallinnuksella mahdollisuuksia tulevaisuuden skenaarioiden laajempaan tarkasteluun

Mallinnuksen avulla on mahdollista vastata ”mitä jos” -kysymyksiin. Sotilaalliseen päätöksentekoon kuuluu erilaisten toimintavaihtoehtojen vertailu, ja siksi tämän-tyyppiset kysymykset ovat kiinnostavia. Jotta mallinnuksesta saataisiin mahdollisimman paljon hyötyä, mallien lisäksi tarvitaan myös muita menetelmiä ja eri alojen osaamista. Tässä käydään läpi hyviä käytäntöjä ja toimintatapoja, jotka on tunnistettu kansallisesti ja kansainvälisesti. Koska mallinnuksesta on hyötyä vain, jos menetelmiä käytetään oikein, käydään läpi myös tyypillisimmät virheet, jotka tulisi välttää. Lopuksi esitetään muutama käytännön esimerkki matemaattisesta mallintamisesta.

Malli on vain väline – ei lopputulos

Mitä mallilla tarkoitetaan? Tässä artikkelissa käytämme seuraavaa määritelmää: malli on fyysinen, matemaattinen tai muuten looginen, abstrakti kuvaus järjestelmästä, toimijasta, ilmiöstä tai prosessista. Mallinnuksella tarkoitetaan vakioitua, tarkkaa ja jäsennehtyä metodologiaa, jolla luodaan malli ja varmistetaan, että se kuvaa todellisuutta riittävän hyvin suunniteltua käyttötarkoitusta silmällä pitäen.

Tässä artikkelissa keskitymme käsittelemään päätöksentekoa ja analyysiä tukevaa mallinnusta. Koulutus- ja harjoitusjärjestelmiin liittyvä mallinnus on jätetty tämän jutun ulkopuolelle.

Käytämme artikkelissa käsitettä *laskennalliset mallit*, joka kattaa erityyppiset matemaattiset mallit ja simulointimallit. Laskennallinen malli on käytännössä toteutettu joko itsenäiseksi ohjelmaksi tai osaksi laajempaa laskentaohjelmistoa.

Malli itsessään ei kuitenkaan ole lopputulos – mallin avulla tuotettu tieto sen sijaan on. Mallinnuksen avulla voidaan tutkia ”mitä jos” -kysymyksiä ja eri toimintavaihtoehtoja. Laskennalliset mallit mahdollistavat tuhansien eri vaihtoehtojen tarkastelun. Niistä vaihtoehtoista on mahdollista valita ratkaisu, joka toimii hyvin eri olosuhteissa – myös epävarmuuksien vallitessa –, tai optimaaliset ratkaisut eri tilanteisiin.

Tämä artikkeli pohjautuu Naton tiedeorganisaation (Science and Technology Organization) tutkimustyöryhmien työhön, johon Suomi on osallistunut, sekä kirjoittajien työhön Puolustusvoimien tutkimusprojekteissa. Artikkelin lähdeai-

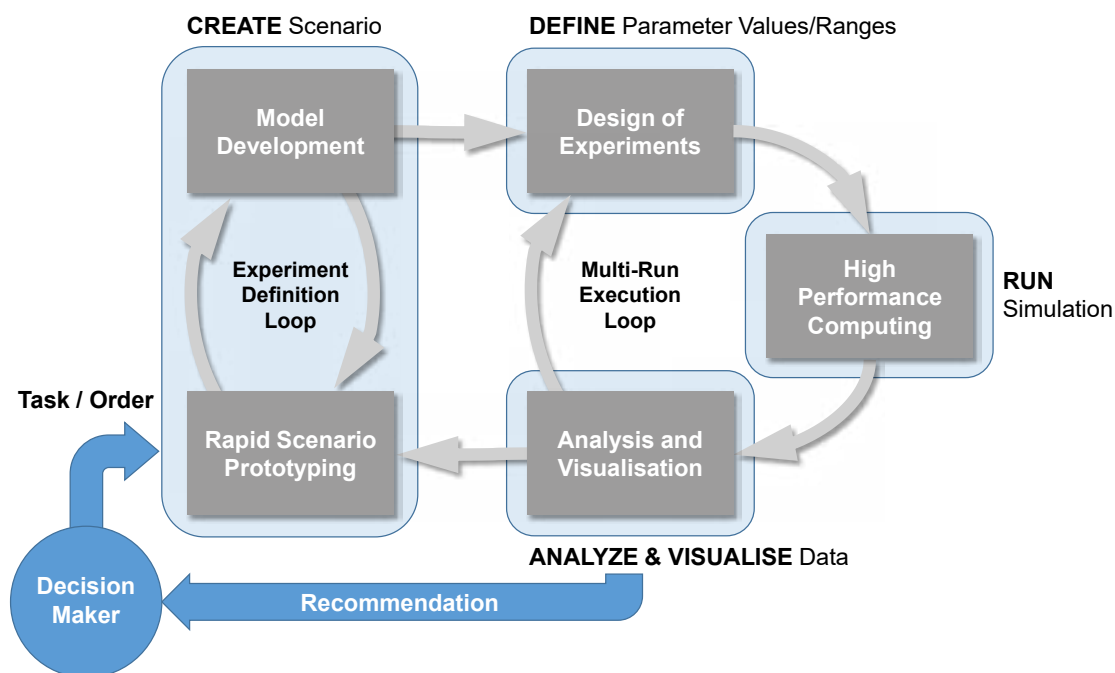
neistona on käytetty muun muassa MSG-088-tutkimustyöryhmän loppuraporttia, joka on julkinen ja sisältää runsaasti hyviä käytäntöjä ja taustatietoa.

Mitä jos?

Elokuvassa *Päiväni murmelina (Groundhog Day)* meteorologi Phil huomaa saman päivän toistuvan yhä uudelleen. Phil on ainoa henkilö, joka on tietoinen tästä ja muistaa aikaisempien toistojen tapahtumat. Monen yrityksen ja erehdyksen jälkeen Phil onnistuu pakenemaan aikasilmutkasta. Samalla hän on muuttunut paremmaksi ihmiseksi ja oppinut uusia taitoja. Elokuvan ohjaaja Harold Ramis arvioi DVD-version kommenttiraidalla, että Phil eli aikasilmutkassa kymmenen vuotta. Tämä tarkoittaa 3 650:tä toistoa samasta päivästä, jos karkauspäiviä ei lasketa.

Jos valittaisiin tarkasteluun vain yksi päivä 3 650:stä, tämä vastaisi käytännössä historian tutkimusta, koska historiasta on olemassa vain yksi toteutuma. Vastaavasti jos laskennallista mallia suoritetaan vain kerran yksillä lähtöarvoilla, tuloksista on vaikea vetää pitkälle meneviä johtopäätöksiä. Toisaalta laskennallista mallia voidaan käyttää eri lähtöarvoilla ja siten muodostaa laajempi, monipuolisempi kuva tilanteesta ja siihen vaikuttavien tekijöiden vuorovaikutuksesta. Laskennallisen mallin avulla on siis mahdollista tuottaa, tai viljellä, isoja määriä dataa, jota voidaan analysoida ja visualisoida. Tällaisesta työskentelyprosessista käytetään nimeä dataviljely (engl. data farming). Prosessissa korostuu yhteistyö mallintajien, aihealueen asiantuntijoiden, analyttikoiden ja päätöksentekijöiden kesken.

Dataviljelyprosessi ja sen vaiheet on kuvattu kuvassa 1. Prosessi käynnistyy päätöksentekijän kysymyksillä tai tehtävänannolla, ja sen tarkoituksena on tuottaa mahdollisimman täsmällinen vastaus päätöksentekijän kysymyksiin. Prosessi koostuu viidestä vaiheesta: skenaarion rakentaminen, mallin kehitys, koesuunnittelu, laskenta sekä tulosten analysointi ja visualisointi. Lopuksi tulokset jalostetaan päätöksentekijälle sopivaan muotoon. Jokainen vaihe edustaa tiettyä osa-aluetta. Prosessiin kuuluu edellä mainittujen viiden osa-alueen lisäksi vielä kuudes osa-alue, nimittäin yhteistyö, joka kattaa yhteistyön eri osa-alueilla ja niiden välillä. Kuten kuvasta käy ilmi, prosessi on iteratiivinen. Esimerkiksi tulosten analysoinnin jälkeen voidaan suorittaa uusi laskenta uuden



Kuva 1. Dataviljelyprosessi. (Kuva: Naton STO MSG-155 -tutkimustyöryhmä)

koesuunnitelman pohjalta tai tehdä muutoksia skenaarioon tai malliin.

Skenaarion rakentamisvaiheen (kuva 2) tavoitteena on toteuttaa skenaario käyttäen laskennallista mallia. Vaiheen lopputuotteena on testattu, dokumentoitu skenaario. Skenaarion rakentaminen liittyy kiinteästi vastattaviin kysymyksiin. Kysymykset ovat välttämättömiä, koska niiden pohjalta johdetaan vaikuttavuuden mittarit (engl. Measures of Effectiveness, MOE), suunnitellaan skenaariot ja valitaan käytettävät mallit. Vaikuttavuuden mittarit voivat olla mallin tulostietoja tai niistä johdettuja. Mittareita voivat olla esimerkiksi osapuolten tappiot, hallussa olevien alueiden lukumäärä, aikavoitto tai operaation onnistumistodennäköisyys.

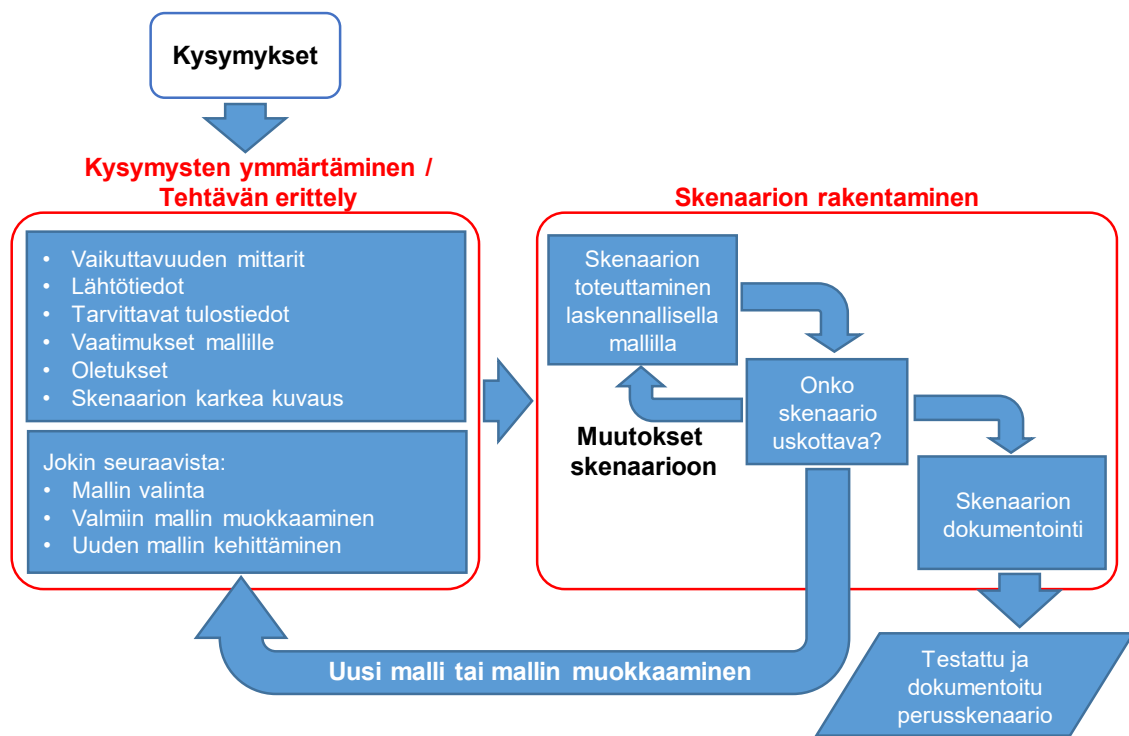
Lisäksi valitaan tutkittavat tekijät ja niiden vaihteluvälit. Yleensä halutaan tietää, miten tutkittavat tekijät vaikuttavat vaikuttavuuden mittareihin. Tarkasteluun voidaan ottaa myös ne tekijät, jotka ovat oman päätäntävällän ulkopuolella. Osana mallinnusprosessia pitää tehdä myös lukuisia pelkistysia ja oletuksia, joilla on vaikutusta lopputuloksiin, ja ne pitää myös dokumentoida.

Skenaarion asettamien vaatimusten perusteella valitaan sopiva malli ja tarvittaessa muokataan sitä. Jos sopivaa mallia ei ole saatavilla, sellainen pitää kehittää. Täytyy huomioda, että mallin kehittäminen ja toteuttaminen tyhjästä voi olla

pitkä prosessi, ja myös valmiin mallin muokkaaminen tarpeeseen sopivaksi voi olla hankalaa. Malli on lähtökohtaisesti käyttötarkoitukskohtainen.

Kun perusskenaario on valmis, voidaan suorittaa laskenta eri lähtöarvoilla. Laskentaan ei kannata käyttää yritystä ja erehdyslähestymistapaa, vaan se tulee tehdä huolellisen koeksuunnitelman avulla. Koeksuunnittelun tärkeyttä voidaan kuvata esimerkillä. Eräessä tutkimuksessa tarkasteltiin yhteensä 34 tekijän vaikutusta. Koska jokaisella tekijällä oli useita arvoja, vaihtoehtojen lukumääräksi saatiin peräti $2,5 \cdot 10^{27}$. Kaikkien vaihtoehtojen laskeminen olisi ollut supertietokoneellakin ylivoimainen tehtävä. Tehokkaan koeksuunnitelman ansiosta laskettavien tapausten lukumäärän pystyi pienentämään 12 096:een, mikä on edelleen paljon mutta kuitenkin täysin toteuttamiskelpoinen määrä. Jos laskennallinen malli perustuu satunnaislukujen käyttöön eli on niin kutsuttu Monte Carlo -simulaatio, jokaista vaihtoehtoa täytyy vielä toistaa satunnaislukugeneraattorin eri siemenluvuilla. Edellä mainitussa esimerkissä toistoja tehtiin 20 kertaa eli laskettiin yhteensä 241 920 tapausta.

Koska vaihtoehdot ovat toisistaan riippumattomia, voidaan hyödyntää rinnakkaislaskentaa. Edellä mainittujen 241 920 simulaation suorittaminen onnistui melko vanhassa laskentaklusterissa alle vuorokaudessa. Lopuksi ison datamäärän analysointia varten tarvitaan menetelmiä ja työkaluja.



Kuva 2. Skenaarion rakentamisen prosessi. (Kuva: Naton STO MSG-088-tutkimustyöryhmä)

Hyvin menee, kun vältät nämä virheet

Lähes kaikki virheet voivat sattua jo skenaarion rakentamisvaiheessa. Pahimmillaan nämä virheet johtavat väriin johtopäätöksiin ja suosituksiin, ja parhaimmillaankin ne aiheuttavat viivästyksiä. Alla on lueteltu tyypillisimmät virheet ilman erityistä järjestystä.

- **Skenaario luodaan ilman tutkimuskysymystä, tai kysymys muuttuu kesken prosessin.** Tämä on tyypillinen virhe, joka syntyy, kun analyysiryhmä ja mallinnusryhmä toimivat toisistaan erillään. Toinen tyypillinen virhe on kehittää ensin malli ja sen jälkeen kysyä: ”Mihin kysymykseen voimme nyt vastata?” Tämä johtaa siihen, että kysymykset joudutaan sovittamaan käytettävään työkaluun ja saadaan todennäköisesti tuloksia, joista ei ole hyötyä.
- **Väärä malli, tai mallia käytetään sen pätevyysalueen ulkopuolella.** Tämä voi olla seurausta siitä, että määrätään, mitä mallia pitää käyttää, tai että käytettävissä on vain yksi malli.
- **Mallin dokumentaatio on puutteellinen tai puuttuu kokonaan.** Mallin dokumentaation tulee vastata kysymykseen: ”Miten asiat on mallinnettu?”
- **Malli on keskeneräinen.** Monesti mallia kehitetään osana prosessia. Tällöin on päätettävä, mitä ohjelmistoversiota käytetään.
- **Virheoletukset.** Tämän välttämiseksi kaikki oletukset tulee dokumentoida.
- **Vertailuun ei ole tarkkaa numeerista dataa.** Vertailtavista asioista pitää olla riittävästi dataa.
- **Liian paljon tai liian vähän yksityiskohtia.** Mallintamisen taitoon kuuluu abstraktiotason asettaminen juuri oikeaksi. Yksityiskohtaisuus ja tarkkuus määräytyvät tutkimuskysymysten perusteella.
- **Vaikuttavuuden mittareita, lähtötietoja tai tulostietoja ei ole määritetty, tai ne ovat epäselvät.**
- **Liian tiukka aikataulu.**
- **Mallin asiantuntijaa tai aihealueen asiantuntijaa ei ole käytettävissä.** Pelkän dokumentaation avulla voi päästä alkuun, mutta se ei yksin riitä. Mallin asiantuntija tietää, miten mallia kannattaa parhaiten käyttää erilaisissa tilanteissa. Aihealueen asiantuntijan osaamista puolestaan tarvitaan skenaarion rakentamisessa ja testaamisessa.

Matemaattiselle mallintamiselle monenlaista käyttöä

Seuraavaksi kerrotaan lyhyesti muutamasta käytännön esimerkistä, joihin Puolustusvoimien tutkimuslaitoksella on käytetty matemaattista mallintamista. Esimerkkejä tarkastellaan dataviljelyn menetelmien ja skenaarioiden käytön kannalta. Alkuperäinen mallintamistyö ei ole kaikissa tapauksissa perustunut suoraan dataviljelyyn, mutta laskennalliset mallit ja dataviljelyn menetelmät liittyvät toisiinsa ja ovat läheistä sukua keskenään.

Suorituskykyjen mallintamisen kehittäminen alkoi jo muutama vuosi sitten Maanpuolustuskorkeakoululla pidetyssä kansainvälisessä ”Mitä jos” -työpajassa (International What-if? Workshop 27). Arvioitavana oli satelliittien ja miehittämättömien ilma-alusten suorituskykyjen kehittyminen nykytilasta kymmenen ja kaksikymmentä vuotta eteenpäin. Suorituskyvyt arvioitiin erikseen kolmessa skenaariossa. Skenaariot pyrittiin määrittelemään siten, että arvioitavien järjestelmien vaikutukset erilaisissa tilanteissa tulisivat esille.

Suorituskyky määriteltiin Puolustusvoimien yleisen käsite-määritelmän kanssa yhteensopivasti siten, että suorituskyvyllä tarkoitetaan todennäköisyyttä suorittaa tehtävä tai operaatio onnistuneesti. Määrittelemällä suorituskyky matemaattisesti oli mahdollista käyttää kyselyyn vastauksia matemaattisen mallin lähtötietoina. Kyselyyn vastaajat arvioivat suorituskykyjä kolmella suorituskykyjen kyvykkyysalueella, jotka olivat tilannetietoisuus, suoja ja vaikuttaminen. Skenaariot määriteltiin tiimissä ennen suorituskykyjen arviointia. Arvioitavat mallin lähtötiedot olivat uusien järjestelmien aiheuttamat muutokset suorituskyvyissä kyvykkyysalueilla – yksittäisten järjestelmien suorituskykyjä ei siis pyritty arvioimaan suoraan.

Suorituskykyjen mallintamisessa näkyy monia dataviljelyn piirteitä. Mallinnettava ongelma oli moniulotteinen: se käsitti useita skenaarioita, kyvykkyysalueita ja aikajaksoja. Työpajan jälkeen kehitettiin matemaattinen malli, josta voitiin laskea suorituskyvyt arvioituille järjestelmille. Mallin kehittämiseksi asetettiin tavoitteeksi, että se on riittävän joustava erilaisten järjestelmien yhtäaikaisen käytön mallintamiseen ja että se on riittävän yksinkertainen kuvaamaan pitkän aikajakson suorituskyvyn kehittymistä. Mallin haluttiin olevan laajennettavissa myös nykytilanteen yksityiskohteisempaan mallintamiseen.

Uusi järjestelmäsuorituskyvyn käsite määriteltiin siten, että se on likimain riippumaton muiden samaan aikaan käytössä olevien järjestelmien suorituskyvyistä. Esimerkiksi satelliittien järjestelmäsuorituskyky ei ole riippuvainen miehittämättömien ilma-alusten järjestelmäsuorituskyvyistä tai muista käytössä olevista tai tulevaisuudessa käyttöön otet-

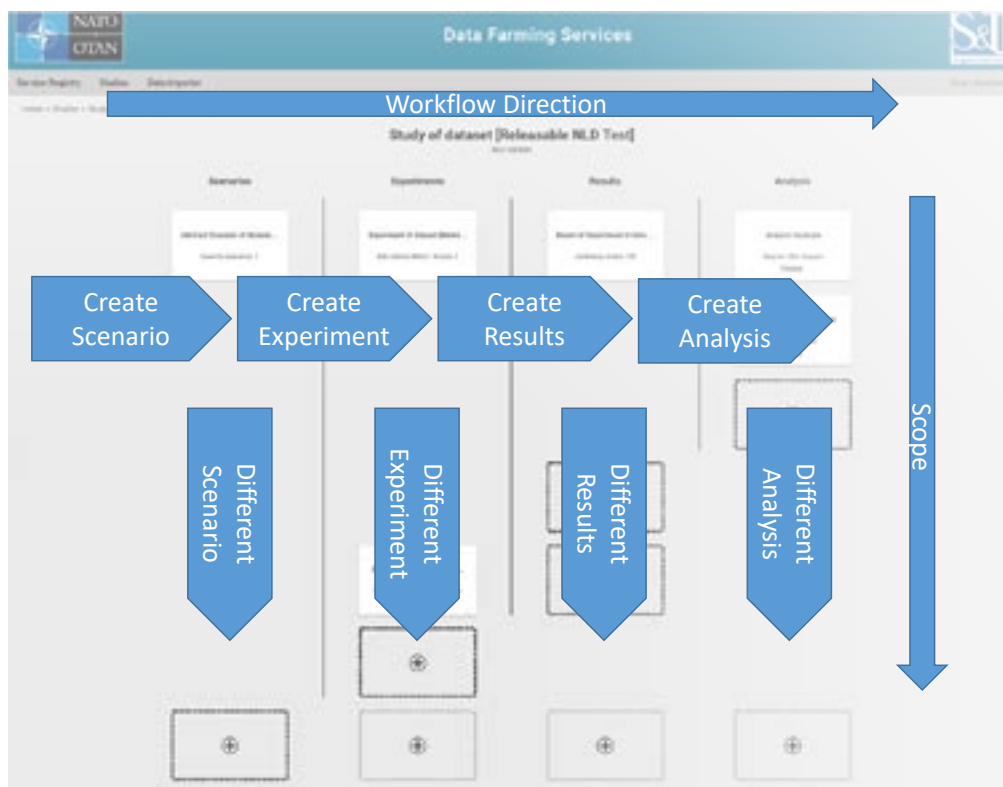
tavista järjestelmäsuorituskyvyistä. Tästä seuraa se mallin erikoisuus, että uuden järjestelmän tai osasuorituskyvyn lisääminen malliin ei vaadi aikaisempien laskelmien tekemistä uudelleen – toisin kuin monissa muissa systeemitekniikan malleissa. Järjestelmäsuorituskyvyt on kuitenkin edelleen määritelty erikseen kussakin skenaarioista. Järjestelmäsuorituskykyjen riippumattomuudesta seuraa, että on mahdollista tehdä erilaisia ”mitä jos” -tarkasteluita. Kokonaisuuteen voi lisätä tai siitä voi poistaa järjestelmiä, tai jo mukana olevien järjestelmien suorituskykyarvoja voi muuttaa, jos arviointeja halutaan korjata tai päivittää.

Matemaattista suorituskykymallia on kehitetty seminaarin jälkeen usealla eri tavalla. Tällä hetkellä järjestelmien lukumäärää ei ole rajoitettu, ja lisäksi on mahdollista mallintaa suorituskykyjen kyvykkyysalueiden tarkempia hierarkkisia rakenteita. Skenaarioiden ja ylätasoinen kyvykkyysalueiden määrä on kuitenkin ollut vapaasti valittavissa mallin ensimmäisestä versiosta lähtien. Mallintamisen tuloksia on esitelty lukuisissa konferenssi- ja lehtiartikkeleissa vuosien mittaan.

Puolustusvoimien tutkimuslaitoksella on mallinnettu erilaisia verkostoihin liittyviä ongelmia usealla eri soveltamisen alueella: sosiaalinen mielipidevaikuttaminen, informaation leviäminen, epidemian leviäminen sekä tiedonsiirtoverkkojen vikasietoisuus ja suojaaminen. Tutkimuslaitoksella on kehitetty malleja kuvaamaan erilaisia leviämismalliä, kuten mielipidevaikuttamista ja informaation leviämistä verkkorakenteissa. Tutkimuslaitos on toteuttanut mallit ohjelmistoiksi. Tiedonsiirtoverkkojen mallintamiseen on käytetty lisäksi kirjallisuudessa esitettyä, luotettavuuspolynomeihin perustuvaa menetelmää.

Verkostoja mallinnetaan verkon solmuilla ja solmujen välillä linkeillä. Kaikissa kolmessa mallissa lähtötietona on verkon yksityiskohtainen rakenteellinen malli solmuista ja linkeistä. Mallinnettavat verkot voivat olla todellisia verkkoja tai generoituja simuloituja verkkoja. Malleissa tärkeimpänä mallin parametrina on linkin voimakkuutta kuvaava tekijä: leviämismalleissa leviämisen todennäköisyyttä ja tiedonsiirtomallissa linkin yhteyden toimivuuden todennäköisyyttä kuvaava muuttuja.

Malleista saadaan laskennan tuloksena vastaavasti leviämistodennäköisyyksiä tai yhteyden toimivuuden todennäköisyyksiä verkon kustakin solmusta valittuun toiseen solmuun. Solmuille voidaan laskea keskeisyysarvoja ottamalla keskiarvo joko lähtösolmun tai tulosolmun suhteen. Ensin mainittu käsite on kirjallisuudessa yleisemmin käytetty, ja se kuvaa solmun asemaa levittäjänä tai tiedonsiirrossa keskimääräistä todennäköisyyttä sille, että solmusta saadaan yhteys muihin solmuihin. Lisäksi voidaan tehdä ”mitä jos” -tarkasteluita poistamalla tai lisäämällä solmuja verkon rakenteeseen. Esimerkiksi tiedonsiirron mallintamisessa solmun tai solmujen



Kuva 3. Kuvakaappaus Data Farming Services -järjestelmän seläinkäyttöliittymästä sekä työnkulun konsepti. (Kuva: Huber et al. 2019)

poistamisella voidaan laskea, kuinka suurta haittaa yhteyksien muodostamiselle solmujen tuhoamisesta aiheutuu. Vastaavasti leviämismalleissa voidaan laskea solmujen poiston vaikutus informaatiovaikuttamiseen tai tiedon leviämiseen. Toiminnoiltaan tärkeät, haavoittuvat solmut tarvitsevat eniten suojaamista varayhteyksillä tai muilla menetelmillä.

Dataviljelyn soveltamisesta tuore esimerkki on Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen toteuttama käytötapaus Naton tiedeorganisaation tutkimusryhmässä MSG-155. Käytötapausten tavoitteena on tutkia, kuinka erilaisia verkon valvonta- ja havaitsemisjärjestelmiä tulisi sijoittaa, jotta kriittiset palvelut voidaan suojata hyökkäyksiltä. Osana työtä toteutettiin demonstraattoritasoinen simulointimalli, jonka avulla voidaan vertailla omien tietoverkkojen turvaamiseen liittyviä toimintavaihtoehtoja.

Matemaattinen mallintaminen taistelussa koronaa vastaan

Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen resursseja kohdistettiin Pääesikunnan toimeksiannosta COVID-19-epidemian leviämisen matemaattiseen mallintamiseen. Erityisesti tutkimuskysymyksenä oli, miten virus leviää Puolustusvoimien toimintaympäristössä, jossa organisaatorakenteen alimmalla tasolla, esimerkiksi ryhmämajoituksessa, on jatkuvasti ti-

lanteita, joissa virus voi tarttua pisaratartuntana tai kosketuksen tai pintojen kautta.

Mallinnuksilla tutkittiin eristämisen, viruksen pääsyn estämisen ja rajaamisen, yhteistilojen rajoittamisen, tupakoon pienentämisen, hajautetun koulutuksen sekä viruksen tarttuvuusluvun pienentämisen vaikutuksia organisaatioyksikön sairastuvuuteen. Mallilla oli mahdollista tutkia näitä kaikkia tekijöitä erikseen ja niiden erilaisia yhdistelmiä. Tutkimuksella voitiin osoittaa, että vastatoimenpiteiden yhteisvaikutukset ovat merkittäviä. Yhteisvaikutusten arviointi ilman mallintamista olisi ollut vaikeaa, koska eri vastatoimenpiteiden vaikutukset kertautuvat keskenään. Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen COVID-19-mallintamista on selitetty laajemmin *Puolustustutkimuksen vuosikirjassa 2021*.

Rakenteellinen verkostomallintaminen teki mahdolliseksi muunnella eri tekijöitä halutulla tarkkuudella. Mallin muunneltavia tekijöitä olivat yleinen tarttuvuusluku, yksilötason tarttuvuudet ja tarttuvuusketjun pituus. Mallissa oli mahdollista määritellä erilaisia organisaatorakenteita ja viruksen leviämisen todennäköisyyttä jopa yksilötasolla. Kirjallisuudessa esitetyt mallit on yleensä kehitetty epidemian leviämisen mallintamiseen laajemmassa yhteisössä tai yhteiskunnassa, eikä niissä ole mahdollista ottaa huomioon tarkkoja organisaatorakenteita.

Katse tulevaisuuteen

Tulevaisuudessa dataviljelytyyppistä työskentelytapaa pyritään tuomaan vielä lähemmäs päätöksentekijää. Tällä hetkellä monet prosessissa käytettävistä ohjelmistoista toimivat yksittäisillä työasemilla ja ovat yksittäisten asiantuntijoiden käytettävissä. MSG-155-tutkimustyöryhmässä on kehitetty ja testattu Data Farming Services (DFS) -järjestelmän prototyyppiä. Siinä laskennalliset mallit, koesuunnittelutyökalut, laskentaresurssit sekä analyysi- ja visualisointityökalut ovat palveluita, jotka voivat olla maantieteellisesti hajautettuja mutta silti käytettävissä yhteisen selainkäyttöliittymän kautta (kuva 3). DFS perustuu mikropalveluarkkitehtuuriin, jossa jokainen mikropalvelu suoritetaan Docker-konttina. Järjestelmää on testattu kahdella käyttötapauksella, joista toinen on edellä mainittu kyberpuolustuskäyttötapaus. Se on osoitettu Federated Mission Networking (FMN) -yhteensopivaksi.

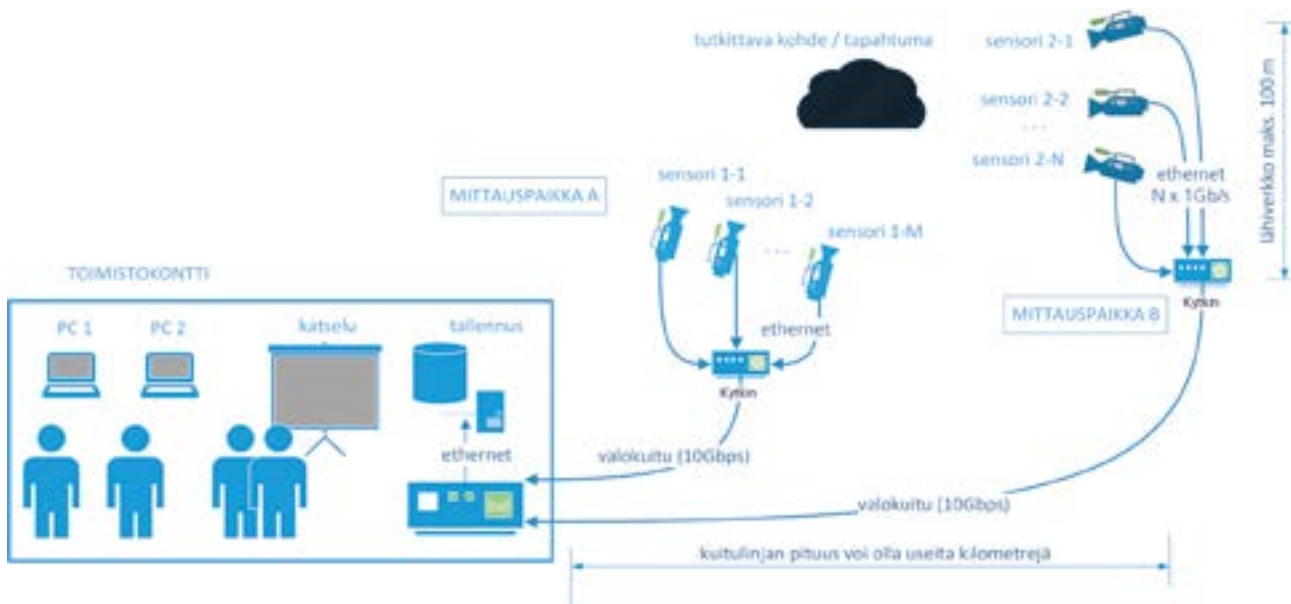
Artikkelissa mainittu matemaattinen epidemian leviämismalli julkaistaan kansainvälisessä *Physica A* -tiedelehdessä vuoden 2022 alkupuolella.

Kirjoittajat:

Insinööriomentajakapteeni, dosentti, tekniikan tohtori Bertt Åkesson toimii osastoinsinöörinä Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen informaatiotekniikkaosastossa tietoverkkosodankäynnin tutkimusalalla.

Sotatieteiden tohtori Vesa Kuikka toimii erikoistutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen informaatiotekniikkaosastossa johtamisjärjestelmien tutkimusalalla.

Kenttämittausten tiedonkeruujärjestelmä nykyaikaan



Kuva 1. Esimerkki mittaustapahtumassa käytettävästä kalustosta ja laitteiden välisistä kytkennöistä. (Kuva: Matti Kajala)

Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen vuosikirjassa vuonna 2016 kerrottiin asetekniikkaosaston kenttämittauksissa perinteisesti käytettyjen analogisten tiedonsiirtoyhteyksien korvaamisesta digitaalitekniikalla. Tässä jutussa mennään askel eteenpäin ja käydään läpi nykypäivän vaatimuksia kenttäolosuhteissa tehtäviin mittauksiin. Tietotarpeet ovat ajan myötä merkittävästi kasvaneet, mikä edellyttää tiedonkeruujärjestelmän jatkuvaa kehittämistä ja yhä monimuotoisempien mittausjärjestelyjen mahdollistamista (kuva 1).

Koetoiminnan tavoitteena järjestelmien teknisen suorituskyvyn todentaminen

Koetoiminnassa, silloin kun tehdään kenttämittauksia asejärjestelmistä, dokumentointia tarvitaan usein sekä ampuvan lavetin puolella että maalialueella. Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen tehtävä on tuottaa tietoa kaikille puolustushaaroille ja Pääesikunnan eri osastoille, jolloin tutkimuksen kohteeksi voi tulla mikä tahansa eri puolustushaarojen ja aselajien järjestelmistä. Toimintaa voi olla yhtä hyvin niin maalla, merellä kuin ilmassakin riippuen siitä, kuka milloinkin on tutkimuksen tilaajana eli niin sanotusti asiakkaana. Tutkimustehtävän takana saattaa olla esimerkiksi tarve to-

dentaa hankitun materiaalin suorituskykyä, tarkentaa järjestelmän käyttöperiaatteita tai luoda mittauksilla pohjaa tulevien hankintojen teknisille määrittelyille.

Tiedonkeruujärjestelmä skaalautuu tutkimustehtävän tarpeiden mukaan

On selvää, että tutkittavien järjestelmien erot edellyttävät myös tiedonkeruujärjestelmältä muuntautumiskykyä ja skaalautuvuutta. Siinä missä yhdessä mittaustapahtumassa riittää yksi lämpökamera tai suurnopeuskamera todentamaan vaikkapa yksittäisen kohteen lämpöherätettä tai ohjuksen lähtöä laukaisuputkesta, toisessa tapahtumassa voi olla tarve useille hyvin erilaisille suurnopeus- ja lämpökameroille sekä muille sensoreille. Näin tapahtumasta saadaan monipuolinen tallenne, joka kattaa sähkömagneettisen spektrin eri osa-alueet.

Silmillä näkyvän valon lisäksi kohteen herätettä tai oma-suojakykyä tutkittaessa on usein tarpeellista mitata näkyvän valon ulkopuolista spektriä, kuten ultravioletin tai infrapuna-alueen säteilyä. Sitä varten havainnot on tehtävä samanaikaisesti usealla eri sensorilla (kuva 2), joista kukin tallentaa vain omaa tiettyä, suhteellisen kapeaa spektrin aluettaan.



Kuva 2. Lämpö- ja suurnopeuskameroita mittauspaikalla.
(Kuva: Matti Kajala)

Kuvassa 3 näkyy vasemmalla puolella teleskooppimastossa etäohjattava valvontakamera, joka voidaan nostaa yli 10 metrin korkeuteen valvomaan alueella tapahtuvaa toimintaa. Samassa kuvassa oikealla puolella on ilmatorjuntakonekiväärin jalustalle rakennettu ”lintulauta”, johon kulloinkin tarvittavat sensorit saa kiinnitettyä. Tämä mahdollistaa kohteen samanaikaisen seurannan jalustan kahvoista kääntämällä.

Käytössämme on myös filmitteollisuudessa yleisesti käytettyjä etäohjattavia kääntöpäitä, joilla nopeasti liikkuvien kohteiden, kuten lentokoneiden, seuranta sujuu mukavasti vaikkapa toimistokontin työpisteellä joystickin avulla. Kääntöpäitä on useita eri kokoluokkia: pienimmät soveltuvat lähinnä yksittäisille sensoreille, kun taas järeimmät jalustat kantavat jopa yli 100 kilogramman kuorman.

Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen asetekniikkaosastolla on käytössään nykyaikainen, kenttämittauksiin soveltuva tiedonkeruujärjestelmä, jota on kehitetty vuosien kokemusten perusteella nimenomaan maasto-olosuhteita varten. Järjestelmään kuuluu pienempiä osakokonaisuuksia, jotka ovat kuljetettavissa henkilö- tai pakettiautolla. Kaikista järein mittausjärjestelmä kuituverkkoineen, kelauslaitteineen ja varavoimakoneineen ei suinkaan mahdu yhteen pakettiautoon, vaan siirtelyyn tarvitaan silloin useampi raskas ajoneuvo (kuva 4). Tiedonkeruujärjestelmä on suunniteltu nopeasti rakennettavaksi ja purettavaksi. Usein vaara-alueelle saa mennä vain tietyn tarkoin suunniteltuna hetkenä kovapanosammuntojen taukojen aikana. Vaara-alueella sijaitsevien mittapisteyden kaluston ja niille rakennettavan tiedonkeruuverkon pystyttämiseen tai purkamiseen ei siis ole aikaa tuhlettavaksi. Ammattitaitoinen ja kenttäkokeissa karaistunut henkilöstö työskentelee pareittain ja tarvittaessa suurempinakin ryhminä, jotta tarvittavat asennukset saadaan suoritettua annetussa aikavälissä.



Kuva 3. Useita erilaisia kameroita kahdella eri kiinnitystavalla.
(Kuva: Matti Kajala)

Kuituverkon lisäksi järjestelmään kuuluu ilmastoituihin kontteihin rakennettuja työpisteitä, joissa laboratoriohenkilöstö ja tutkijat voivat säältä suojassa etäohjata mittalaitteita varmistaen oikea-aikaisen ja täsmällisen tiedonkeruun tallentimille sekä analysoida ja koostaa kerätystä tiedosta raportteja asiakkaan tarpeisiin. Itsenäinen, keskeytymätön toiminta taataan varmistamalla virransyöttö tärkeimmille laitteille vara-akuilla ja omilla sähkövoimakoneilla. Ulkoista sähköverkkoa hyödynnetään, mikäli sellainen on saatavilla. Monille mittalaitteille on rakennettu vaihtoehtoinen sähkönsyöttö akkukäyttöisenä, joten niiden käyttövoimaksi riittää mainitun akun lisäksi pieni, kannettava aggregaatti varavoimanlähteeksi ja turvaamaan mahdollisesti pidempiä aikoja käyttötartetta.

Tiedonsiirtoverkko voidaan rakentaa ja purkaa näppärästi mönkijän päälle asennetulla kelauslaitteella

Suuremmissa mittauspaikissa mittauspaikat saatetaan ryhmitellä koetoiminta-alueelle toisistaan hyvin etäälle, kilometrienkin päähän, jotta saadaan havaintoja samanaikaisesti eri suunnista. Kuvassa 1 on hahmoteltu, esimerkiksi yhtä tällaista suurempaa ryhmittelyä. Haasteina sensorifuusiossa ovat keskeytymätön tiedon saanti ja kerätyn tiedon koostaminen toisinaan liki reaaliaikaisesti. Samalla tulee muistaa, että kaluston on kestävä useita päiviä, ellei jopa viikkoja, suomalaisten sääolosuhteiden armoilla kaikkina vuodenaikoina, niin meren äärellä kuin pohjoisen vaaroillakin. Perusratkaisu pitkiin, luotettaviin siirtoyhteyksiin on valokuituverkko. Pisimmillään yhdellä kelalla voi olla kolmekin kilometriä kuitua. Kuidun vetäminen maastoon ja sieltä takaisin onnistuu kätevästi maastokooterin eli mönkijän päälle rakennetulla kelauslaitteella.

Kuituverkko koostuu valokuitukaapeista ja kytkinlaatoista, joissa kussakin on oma akku sekä tiivistykset kannessa ja

läpivienneissä niin vesisadetta kuin hiekkapölyäkin vastaan. Verkko voidaan suunnitella säteittäiseksi tai renkaaksi, mikä takaa nopean ja luotettavan tiedonsiirron useiden kilometrien päähän. Valokuidussa tieto myös pysyy ulkopuoliselta tiedustelulta hyvin suojattuna – toisin kuin vaikkapa radioyhteyksissä, joissa sensitiivinen tieto on aina lähtökohtaisesti salatava. Viimeisimpänä vaan ei vähäisimpänä valokuituverkon eduksi voi mainita sen huiman siirtonopeuden: koko verkon läpi saadaan siirrettyä tietoa sensoreilta tallentimille yhdessä kuituparissa niinkin nopeasti kuin 10 gigabittiä sekunnissa.

Tästä huolimatta osa sensoreista, kuten suurnopeuskamera, voi hetkellisesti tuottaa valtavasti enemmän tietoa kuin verkko kykenee reaaliajassa siirtämään. Sen vuoksi kameeroissa on yleensä oma sisäinen muisti eli puskuri, johon tieto ensin kerätään. Sensorin sisäinen muisti voidaan lukea etäohjatuksi sitä mukaa kuin se on tarpeellista ja verkon muun kuormituksen ohessa mahdollista. Jos on nähtävissä, että verkko muodostaa pullonkaulan tiedon siirrolle, on toki aina mahdollista rakentaa rinnakkaisia tiedonsiirtoyhteyksiä kuormitusta tasaamaan.

Mittaus tapahtumissa täsmällisyys takaa onnistumisen

Tiedonkeruuseen osallistuvalla tutkimuslaitoksen henkilöstöltä edellytetään usein täsmällistä oman toiminnan ajoitusta sovitettuna asejärjestelmää operoivan joukko-osaston toimintaan. Uusimpaan tiedonkeruujärjestelmäämme onkin sen vuoksi suunniteltu myös yhteisoperaatiokyky muiden toimijoiden kanssa. Melusuojatulla kommunikaatiojärjestelmällä varmistetaan toimintaympäristöstä riippumaton, häiriötön ja oikea-aikainen tiedonvälitys ja käskytykset kenttähenkilöstölle. Tällä tavoin varmistetaan, että mittalaitteiden ohjaus on täsmällistä ja niiden operointi aina sovitettu kulloisenkin tilanteen vaatimalle tarkkuudelle.

Kirjoittaja:

Tekniikan tohtori Matti Kajala toimii laboratorionjohtajana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen asetekniikkaosaston mittauspalvelut-yksikössä.



Kuva 4. Kenttämittausjärjestelmä matkalla pohjoiseen. Toisessa kontissa on työtilat neljälle henkilölle ja toisen kyydissä on valokuitua, tietoliikennekytkimiä ja mittalaitteita. (Kuva: Matti Kajala)

Asevaikutusten kenttämittaukset

– tärkeä osa aseiden käyttöä

Aseiden käytöllä on monenlaisia vaikutuksia sekä käyttäjilleen että kohdealueella. Tässä artikkelissa ei käsitellä kumpaankaan puoleen kohdistuvia henkisiä, psykologisia, moraalisia yms. vaikutuksia. Myöskään joukkotuhoukset vaikutusten mittauksia ei käsitellä, joten jäljelle jää konventionaalisten aseiden vaikutus maalialueella ja käyttäjiinsä. Asevaikutuksia mitataan arvioitaessa asejärjestelmien tehoa sotilaan suojaan mutta myös päinvastoin – kuinka hyvä suoja on oletettua uhkaa vastaan. Aseiden käyttäjiinsä kohdistuvan vaikutuksen mittaukset liittyvät terveyteen, työsuojeluun ja taistelukyvyyn säilyttämiseen.

Asevaikutuksen kohteena kalusto

Asevaikutuksen kohteena olevasta kalustosta mitataan yleensä kiihtyvyyttä. Usein vaikutukset voidaan todeta ilman mittauksiakin kohteen toiminnallisella testauksella tai silmämääräisesti: todistelevyissä on reikiä, panssari on läpäisty tai siinä on tietynsyvyisiä reikiä, kohde syttyy palamaan tai peräti tuhoutuu kokonaan räjähdyksessä jne.

Kun asevaikutuksen kohteesta mitataan kiihtyvyyttä, tulosta verrataan kyseiselle varusteelle tehtäviin isku- tai muihin mekaanisiin testeihin. Jos testi on ankarampi kuin osuman vaikutus, voidaan hyvin olettaa, ettei kyseinen ase ole tehokas tätä kohdetta vastaan ainakaan iskun tai tärinän puolesta. Myös omien aseiden varusteineen on kestävä laukaustapahtuma, kuljetukset ja käsittely rikkoontumatta tai



Tästä rusinasta asevaikutus nähdään silmämääräisesti. (Kuva: Markus Lehtonen)

kulumatta liikaa. Tällöin mitausten tuloksia verrataan laitteille annettuihin spesifikaatioihin. Kun esimerkiksi kiväärissä on kiikari- ym. tähtäimiä tai osoittimia, on selvítettävä mittauksin, ettei niiden iskunsietoa ammuttaessa ylitetä, vaikka kivääriä muuten modifioitaisiin esimerkiksi asentamalla siihen erilaisia suujarruja tai äänenvaimentimia.

Asevaikutuksen kohteena henkilöstö

Aseiden vaikutusta käyttäjiinsä selvittää yleensä tekemällä työsuojelullisia melu- ja tärinämittauksia. Nämä ovat pitkälle standardoituja ja laein ja asetuksin ohjeistettuja. Kouluttajien ja varusmiesten terveys ei saa vaarantua, ja henkilöstön on pysyttävä taistelukykyisenä laukaumelusta ja vaikkapa telahauputsin ajotärinästä huolimatta.

Henkilöihin kohdistuvan mekaanisen asevaikutuksen mittaus ja tulosten tulkinta on määritelty esimerkiksi Nato-standardissa AEP-55 Vol. 2. Se, ja muut vastaavat, on tarkoitettu ajoneuvojen miinatesteihin, ja niissä käytetään instrumentoitua törmäystestintuketta. Yksinkertaisemmissa mittauksissa käytetään kiihtyvyyssantureita ja kirjallisuudesta löytyviä vammautumisen kriteerejä.

Painevaikutusta mitataan asentamalla kohteeseen painantureita, joiden tuloksia verrataan kirjallisuudesta (esim. So-tilasterveydenhuolto 1996) löytyviin kuulo-, keuhko- yms. vammojen raja-arvoihin.



Paineanturi asennettuna. Pehmeuste estää osuman aiheuttamaa tärähdystä sotkemasta mittauksia. (Kuva: Markus Lehtonen)

Sirpalevaikutusta selvitetään asentamalla kohteeseen todistelevyjä tai vaikkapa nukkeja.

Joskus mitataan myös aseiden lämpö- ja sokaisuvaikutusta kohteessa. Lämpövaikutus mitataan lämpövoantureilla, joiden antamasta tuloksesta voidaan määrittää kohteen saama lämpöannos. Lämpöannoksen suuruudesta ja ajallisesta kestosta voidaan päätellä mahdollisten palovammojen aste. Sokaisuvaikutus mitataan valomittarilla, ja tuloksia verrataan kirjallisuusarvoihin.

Koejärjestelyt tehtävä olosuhteiden mukaisesti

Vaikka asevaikutuksella pyritään saamaan aikaan tuhoa kohteessa, tuho ei saa rikkoa mittalaitteita tai aiheuttaa liikaa häiriöitä tuloksiin. Tämän vuoksi kohteeseen sijoitetaan vain haluttuja suureita mittaavat anturit ja niiden kaapelit.

Kaapelitkin joudutaan usein suojaamaan sirpaleilta, tärinältä ja paineiskulta. Muut, kalliimmat mittausjärjestelmän osat ovat turvallisen välimatkan päässä riittävästi suojattuina.

Kenttämittausten koejärjestely on aina vaatinut noin pakettiautollisen tarvikkeita ja laitteita, jotka on kuljetettava usein syrjäiselle, yleensä sähköttömälle koepaikalle. Siellä tutkimuskohde on anturoitava ja mittausjärjestelmä kaikkinen osineen johdotettava, tarkistettava ja kalibroitava säästä ja olosuhteista riippumatta. Tämän kirjoittaja on mitannut miinakokeita ainakin 38 asteen pakkasessa. Tarkkaa pakkaslukemaa ei tiedetä, sillä mittari ei pystynyt näyttämään enempää. Talon pakettiautokin hyytyi. Koska vahvistimet oli siinäkin mittauksessa jätettävä ulos, ne pantiin päälle lämpimässä. KytKentä ulkona tehtiin nopeasti, ja vahvistimien suojalaatikon päälle lapioititiin puolen metrin lumikerros. Mittaukset onnistuivat hyvin.



Kylkipanoksella aiheutetaan sammutusjärjestelmällä varustetun kohteen sisälle polttoainepalo. Kohteeseen on asennettu paine-, kiihtyvyy-, lämpövo- ja valoantureita, joilla tutkitaan testattavan sammutusjärjestelmän nopeutta, toimivuutta ja tehoa. (Kuva: Markus Lehkonen)

Mittaustekniikka osittain muuttunut vuosien varrella

Mittalaitteet ovat poikkeuksetta sähköisiä, jotta ne ovat tarpeeksi nopeita reagoimaan osumaan tai räjähdykseen. Mittaus on yleensä jatkuvasti tallettavaa, jotta koehenkilöstö voi poistua vaara-alueelta. Kokeiden jälkeen esimerkiksi muistikortti, johon data on tallentunut, haetaan takaisin tarkasteluja varten.

Ihmisen fysiologia ei asevaikutusten kannalta muutu, joten 50–100 vuotta sitten kehitetyt anturitekniikat ovat periaatteeltaan nykyäänkin käytössä. Antureista saatavaa signaalia ei yleensä voi suoraan tallettaa, vaan sitä on vahvistettava tai vaimennettava, sen taajuusalue on rajoitettava tai se on muunnettava jännitteeksi. Tämän vaiheen mittausketjussa tekevää laitetta sanotaan sen todellisesta toiminnasta huolimatta vahvistimeksi. Vahvistimetkin ovat pysyneet vuosikymmeniä periaatteeltaan samanlaisina.

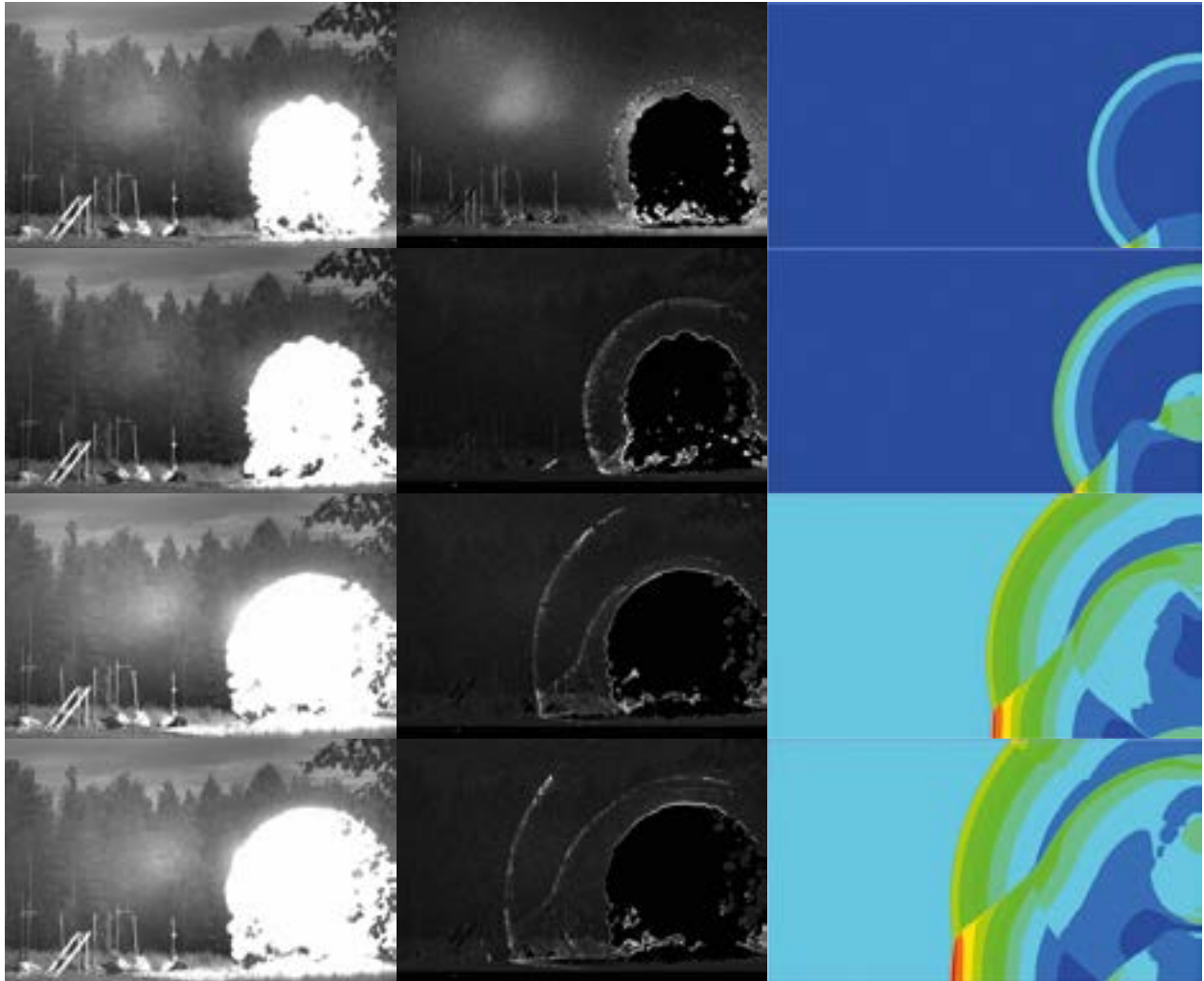
Datan tallennukseen ja analysointiin käytettävät laitteet ovat muuttuneet paljon. Massamuistina käytettiin 1990-luvulle asti avokelanahurin magneettinauhaa. 1990-luvulla tavallisin massamuisti oli DAT-nauha, ja sen jälkeen tavallisin massamuisti on ollut digitaalinen muistikortti.

Tulosten analysointiin ja esittämiseen käytettiin aiemmin oskilloskooppeja ja muistioskilloskooppeja, joista tulos saatiin paperille oskilloskooppikameralla. Hitaampia ilmiöitä voitiin seurata kynäpiirturilla. Tuloksia saatiin paperille myös kuituoptiikkapiirturin avulla 1970-luvulla. 1980-luvulta alkaen taas käytössä oli transienttitalentimia, joissa oli monipuoliset signaalinkäsittelyominaisuudet valmiiksi ohjelmoituina ja yhdellä tai muutamalla napin painalluksella käytävissä. Tallentimen näytössä ollut tulos voitiin tulostaa väyläohjatulla piirturilla. Nykyään datankeruu ja signaalinkäsittely on yleensä tietokoneohjattua, jolloin käyttäjän on itse konfiguroitava datankeruu ja ohjelmoitava haluamansa signaalinkäsittely.

Kirjoittaja:

Diplomi-insinööri Markus Lehkonen toimii vanhempana tutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen asetekniikkaosastossa asejärjestelmien tutkimusalalla.

Räjähdevaikutusten mallintaminen



Kuva 1. Eri ajanhetkillä otettuja kuvia suurnopeusvideosta ja mallinnuksen painejakaumasta. (Kuva: Anne Kaaja ja Aleks Kunnari)

Vaikuttamisen ja suojan tutkiminen kokeellisesti voi olla kallista, aikaa vievää ja jopa mahdotonta. Numeerinen simulointi sen sijaan mahdollistaa isojenkin rakenteiden, ei-saatavilla olevien aseiden sekä räjähteiden tutkimuksen. Lisäksi mallinnusta voi hyödyntää riskianalyyseissä ja onnettomuustilanteissa. Koskaan simulointi ei tule täysin poistamaan kokeellisen toiminnan tarvetta, mutta yhdistämällä molempien hyödyt päästään tehokkaammin kohti tavoitetta. Tästä syystä Puolustusvoimien tutkimuslaitoksella on alettu tutkia räjähdevaikutuksia myös mallintamalla.

Räjähdyks aiheuttaa aina paineaallon, joka voi rikkoa rakenteita, ajoneuvoja, aluksia, suojatiloja, laitteita jne. Lisäksi paineaalto voi olla ihmiselle hengenvaarallinen tai aiheuttaa erilaisia vammoja. Sotilaskäytössä räjähdettä on tyypillisesti metallikuoren sisällä, jolloin räjähdetyksen vaikutuksesta metallikuori hajoaa ja sirpaleet saavat suuren lähtönopeuden. Sirpaleet tai muut projektiilit myös aiheuttavat vammoja ihmisille ja vaurioita rakenteisiin. Räjähdevaikutuksia ovat myös esimerkiksi lämpövaikutus (palovammat), värinä ja välillinen vamma ihmisen paiskautuessa paineaallon vaikutuksesta päin rakenteita tai hengittäessä myrkyllisiä, räjäh-

dyksen aiheuttamia kaasuja. Oleellimmat tuhoa aiheuttavat räjähdevaikutukset ovat paine ja sirpaleet, joten niiden tutkiminen on suurimman mielenkiinnon kohteena. Tässä artikkelissa tutustutaan vain painevaikutuksen mallintamiseen, mutta myös muita räjähdevaikutuksia voidaan mallintaa.

Shokki- ja paineaallon mallintaminen

Tarkastellaan seuraavaksi sellaisen räjähdysmallintamista, jossa energia vapautuu nopeasti kemiallisen reaktion seurauksena. Kemiallinen reaktio tapahtuu yleensä kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa tapahtuu kemiallinen hajoaminen ilman ulkopuolista happea, ja toisessa vaiheessa palavat kaasut saattavat palaa ilman hapen avulla. TNT:ssä (yleinen sotilasräjähdysaine) palavat kaasut eivät pala ilman hapen kanssa vapaassa ilmassa, mutta suljetussa tilassa lämpötila on riittävän korkea ja palaminen tapahtuu. Termobarisilla räjähdysaineilla hyödynnetään ilman happea jälkipoltona, jolla lisätään räjähdyspaine- ja lämpövaikutusta.

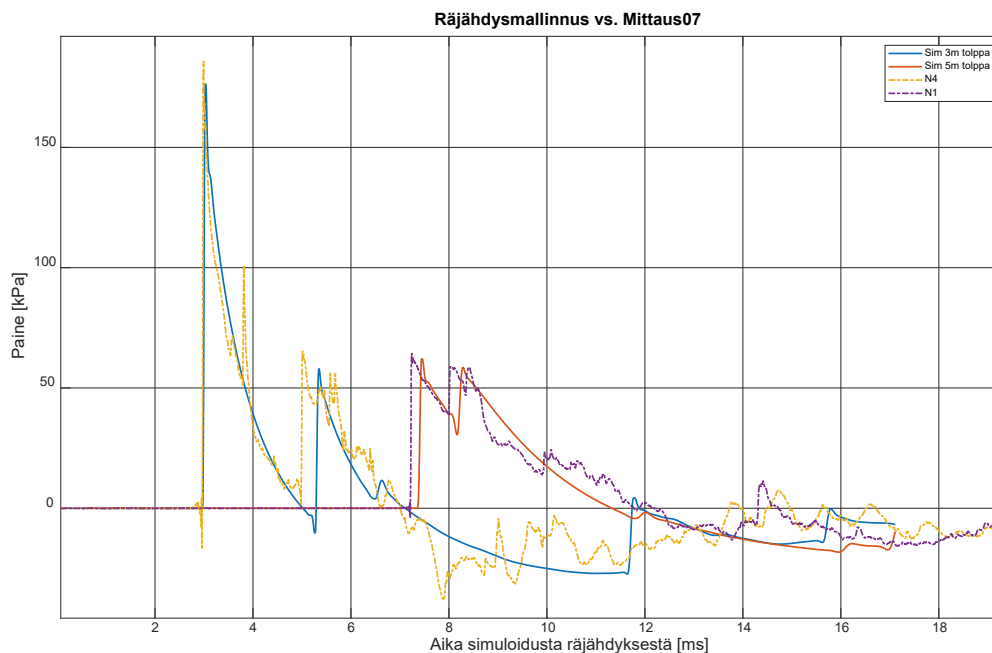
Kemiallista reaktiota voi mallintaa termokemiallisilla ohjelmistoilla, kun tiedetään räjähdysaineen kemiallinen koostumus. Mallinnuksella saadaan arvioitua reaktiotuotteet ja energettisen materiaalin suorituskyky eli esimerkiksi deonaationopeus ja -paine. Fysiikkamallinnusvaihetta varten saadaan myös Jones-Wilkins-Lee (JWL) -yhtälön parametrit. Muutamille yleisimmille räjähdysaineille on toki fysiikkamallinnusohjelmistoissa valmiit parametrit tai ne saadaan kirjallisuudesta, mutta termokemiallisella mallinnuksella parametrit voidaan siis tarvittaessa määrittää laskennallisesti.

Kun räjähdysaineen kemiallinen reaktio on selvillä, siirrytään fysiikkamallinnusohjelmistoon. Tällöin lähtötiedoiksi tarvitaan ainakin räjähteen geometria ja JWL-parametrit sekä väliaine, jossa räjähdys tapahtuu. Mikäli simuloidaan räjähdysvaikutusta johonkin rakenteeseen, tarvitaan luonnollisesti tiedot rakenteen geometriasta ja materiaalin käyttäytymisestä nopeassa muodonmuutoksessa. Materiaalin staattiset lujuusominaisuudet eivät ole riittävät räjähdysvaikutuksen simulointiin. Laskentaohjelmisto pystyy mallintamaan väliaineen (esim. ilman) virtauksen ja tarkasteltavan rakenteen vuorovaikutuksen, mutta tällöin laskenta on raskasta ja kestää kauan.

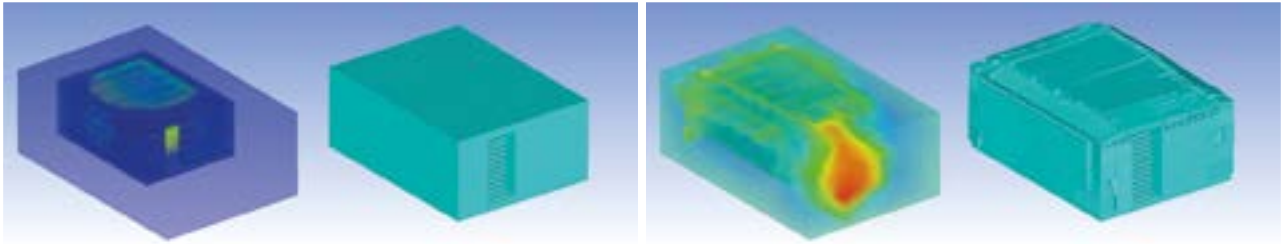
Kun räjähdysaineen kemiallinen reaktio on selvillä, siirrytään fysiikkamallinnusohjelmistoon. Tällöin lähtötiedoiksi tarvitaan ainakin räjähteen geometria ja JWL-parametrit sekä väliaine, jossa räjähdys tapahtuu. Mikäli simuloidaan räjähdysvaikutusta johonkin rakenteeseen, tarvitaan luonnollisesti tiedot rakenteen geometriasta ja materiaalin käyttäytymisestä nopeassa muodonmuutoksessa. Materiaalin staattiset lujuusominaisuudet eivät ole riittävät räjähdysvaikutuksen simulointiin. Laskentaohjelmisto pystyy mallintamaan väliaineen (esim. ilman) virtauksen ja tarkasteltavan rakenteen vuorovaikutuksen, mutta tällöin laskenta on raskasta ja kestää kauan.

TNT-pallon räjähdysmallintaminen

Esimerkkinä tarkastellaan osittain vapaassa ilmassa tapahtuvaa TNT-pallon räjähdystä. Räjähdys tapahtuu hieman maan pinnan yläpuolella, jolloin on havaittavissa kaksi selkeää, erillistä paineaaltoa. Primääriaalto etenee pallomaisesti joka suuntaan, mutta maan pinnasta heijastuu toinen aalto. Kun primääri- ja heijastuva aalto yhdistyvät maan pinnan läheisyydessä, muodostuu ns. Mach-rintama. Tämä tuttu, räjähdysliittymä ilmiö on mallinnettu ja lisäksi kuvattu suurnopeuskameralla. Kuvassa 1 on esitetty paineaallon muoto eri ajanhetkillä. Suurnopeusvideosta on tehty kuvankäsittelyllä helpommin



Kuva 2. Mallinnuksen vertailu mitattuihin paineisiin kahdella eri etäisyydellä räjähdyksestä. Katkoviivalla esitetyt N4 ja N1 ovat nuoliantureilla mitattua dataa. Sininen ja punainen käyrä ovat mallinnustuloksia. (Kuva: Aleksi Kunnari)



Kuva 3. Vasemmanpuoleisessa kuvassa on rakennuksen sisällä tapahtuvan räjähdyspainejakauma ja vierellä vielä siinä vaiheessa ehjä rakennus (vihreä). Oikeanpuoleisessa kuvassa vasemmalla räjähdys aiheuttama paine purkautuu pois rakennuksesta ja vierellä näkyy, miten rakenteet hajoavat. (Kuva: Alekski Kunnari)

havaittava versio normaalikuvan viereen, jolloin vertailu mallinnukseen on selkeämpää. Simulaatio on tehty hyödyntäen pyörähdysymmetriaa, jolloin se on voitu tehdä kaksiulotteisena. Havaitaan, että mallinnettu paineaalto vastaa kohtuullisen hyvin muodoltaan suurnopeusvideosta saatuja kuvia.

Yksittäisistä pisteistä voidaan mitata räjähdys aiheuttama paine ajan funktiona ja verrata sitä mallinnuksen tuloksiin. Painemittaus on tehty kyseisessä koeräjäytyksessä nuoliantureilla Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen koekentällä. Nuoliantureita (*ICP pencil probe*) käytetään rintamapaineen mittaamiseen. Kuvassa 2 on esitetty vertailu mallinnuksen ja erään mittauksen välillä. Paineen mittaamisessa on omat haasteensa ja räjähdysten välillä on hajontaa mittauksissa, mutta parhaimmillaan mallinnus ja mittaus vastaavat varsin hyvin toisiaan. Ajallisesti kuvaajassa on pieniä eroja, mutta de-tonaatiohetkeä ei ole mitattu vaan kuvaaja on tehty siten, että ensimmäinen painepiikki on sovitettu samaan ajanhetkeen mallinnuksen kanssa. Molemmissa käyrissä näkyvä jälkimmäinen impulssi aiheutuu maaheijastuksesta, mutta viiden metrin etäisyydellä (punainen käyrä) maaheijastus on paljon lähempänä primääriaallon maksimipainetta.

Mallinnuksella saadaan räjähdys aiheuttama paine monimutkaisessakin tilanteessa, ja tuloksia voidaan tarkastella niin useissa kohdissa kuin on tarpeen. Käytännön kenttämittauksissa antureita on aina rajallinen määrä, jolloin tulos edustaa vain yksittäistä pistettä eikä kokonaiskuvaa painejakaumasta saada.

Painevaikutukset ihmisiin ja rakenteisiin

Esimerkiksi NATO-standardeissa ja kirjallisuudessa on koottuna raja-arvoja siitä, minkä suuruinen paineaalto aiheuttaa ihmiselle tai rakennuksille vaurioita. Merkittävimmät vaikuttavat tekijät ovat maksimipaine sekä impulssi ja sen kesto. Tärykalvon repeäminen riippuu lähinnä vain maksimipaineesta, mutta esimerkiksi keuhkovaurion todennäköisyys riippuu maksimipaineen lisäksi impulssin suuruudesta. Tutkimuslaitoksessa ei ole tarkoitus mallintaa simulointiohjelmistoilla ihmistä vaan paineaallon eteneminen

erilaisissa tilanteissa sekä verrata eri kohtien paineita ihmiselle sallittuihin raja-arvoihin. Tällä tavalla voidaan arvioida esimerkiksi, kuinka kaukana räjähdyksestä tai minkälaisen suojan takana ihminen selviytyy hengissä.

Rakenteiden osalta tilanne on toinen. Kirjallisuudesta löytyy kyllä eri maiden tyyppisille rakennuksille todennäköisyyskuvaajia siitä, millä maksimipaineella ja impulssilla rakennus vaurioituu. Kun halutaan tutkia tarkemmin uusien suojarakennusten tai ajoneuvojen kestävyyttä, rakenteiden kestävyys mallinnetaan yksityiskohtaisesti ohjelmistolla. Kuvassa 3 on kuvitteellinen betonirakennus, jonka sisällä räjähtää. Simulaatiossa paine purkautuu avoimesta ovesta ja muista väleistä, jotka syntyvät, kun rakenne hajoaa räjähdyspaineen vaikutuksesta. Virtaussimulointi vaikuttaa rakenteisiin, rakenteen käyttäytyminen taas virtaukseen. Näin mallintamalla voidaan tutkia yhtä aikaa esimerkiksi suojan kestävyyttä sekä suojan hajotessa painevaikutuksia suojan toisella puolella olevaan ihmiseen.

Hyvässä tapauksessa mallintamalla voidaan jo aikaisessa vaiheessa havaita, kestääkö kehitteillä oleva suoja siihen kohdistuvan räjähdysvaikutuksen vai pitääkö sitä vahvistaa. Näin vältetään liiallisten prototyyppien valmistukselta ja kenttätestaukselta. Vaihtoehtoisesti voidaan tutkia, onko oman aseisen vaikutus riittävä haluttuun kohteeseen ilman, että tehdään kalliita koeammuntoja. Myös räjähdevarastojen riskianalyysissä on mahdollista hyödyntää mallinnusta, jolla selvitetään yksityiskohtaisemmin eri asioiden seurannaisvaikutuksia, esimerkiksi räjähdys välittymistä viereisiin räjähteisiin (*sympathetic detonation*).

Kirjoittaja:

Diplomi-insinööri Alekski Kunnari toimii erikoistutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen räjähdde- ja suojelutekniiikkaosastossa räjähdde- ja joukkotuhosevaikutusten tutkimusalalla.

Satunnaisuuden sarjatuotantoa

Henkilö haluaa tehdä täysin satunnaisen päätöksen heittämällä lanttia. Kun kolikko heitetään kädestä ilmaan ja se putoaa kovalle alustalle jomminkummin päin, kolikonheiton tulosta voidaan pitää täysin satunnaisena, binäärisenä päätöksenä. Heittotapahtuman kulkuun voivat suoritettun heiton lisäksi tietysti vähäisesti vaikuttaa kolikon valmistusprosessin aikaiset seikat. Tätä voidaan tutkia toistamalla koetta tuhansia kertoja ja tarkastelemalla saatujen kruunien ja klaavojen esiintymistä. Mitä enemmän koetta toistetaan, sitä enemmän kummankin tuloksen tulisi lähestyä puolta heittojen kokonaismäärästä, jotta kyseistä kolikkoa voidaan pitää sopivana välineenä tasaista jakaumaa noudattavalle arvonnalle. Tässä henkilö olettaa, että kolikko on rakenteeltaan sellainen, ettei kumpikaan, kruuna tai klaava, saa toista suurempaa todennäköisyyttä. Entä voisiko henkilö käyttää arvontaan tietokone- tai matkapuhelinsovellusta? Todennäköisesti voisi, mutta arvannon todellisesta, rehellisestä luonteesta ei tällöin olisi yhtä helppoa vakuuttua.

Aito satunnaisuus arvossaan

Tietokone on äärellisen tilakoneen laitetoteutus, joka toimii *deterministisesti* eli tavalla, jossa annetuista alkuarvoista päädytään aina tarkalleen samaan lopputulokseen. Näin ollen pelkkä determinististä laskentaa suorittava tietokone ei voi toimia ennustamattoman satunnaisesti. Se, jolla on pääsy ohjelman suorituksen lähtöarvoihin, voi aina selvittää lopputuloksen. Lukuisat tietokonesovellukset kuitenkin tarvitsevat satunnaista tai satunnaiselta vaikuttavaa dataa toimiakseen. Esimerkiksi viihdesovelluksissa riittää usein näennäinen satunnaisuus eli pseudosatunnaisuus, joka on ennustettavissa tietyissä rajoissa.

Sen sijaan esimerkiksi simulaatioissa, satunnaistetuissa algoritmeissa ja *kryptologiassa*, salakirjoitusmenetelmien toteutuksissa, tarvitaan välttämättä jonkin verran aitoa, täysin ennustamatonta satunnaisuutta, jotta salakirjoituksen perustana olevat *kryptoprimitiivit* tavoittavat niillä tavoitellut turvallisuustasot. Ilman aitoa satunnaisuutta ei ole mahdollista saavuttaa salaustuotteille riittävää turvatasoa sotilas-tarkoituksiin. Luotettavaa, todistettavissa olevaa satunnaisuutta tarvitaan erityisesti salausavainten luonnissa mutta myös joissakin muissa kryptologiassa esiintyvissä testeissä ja parametrien generoinnissa. Tunnetun Kerckhoffsin periaatteen mukaisesti salausjärjestelmä tulee suunnitella siten, ettei sen turvallisuus vaarannu, vaikka salausavainten lukuun ottamatta kaikki muu siitä paljastuu. Näin ollen salausavainten luonnin kaikki vaiheet on huolellisesti rakennettava niin turvallisiksi kuin vain mahdollista.

Satunnaislukugeneraattorit apuna

Tietoteknisen laitteen satunnaisten arvojen, yleensä satunnaislukujen, lähteenä toimii siihen integroitu *satunnaislukugeneraattori* (*Random Number Generator (RNG)* tai *Random Bit Generator (RBG)*). RNG voi olla puhtaasti laite, täysin sovelluspohjainen tai laitteen ja sovelluksen yhdistelmä. Täysin sovelluspohjainen toteutus RNG:stä toimii aina deterministisesti. Yhdistämällä sovelluspohjaiseen toteutukseen jokin laite, joka tuottaa aitona pidettyä satunnaisuutta johonkin fyysisen maailman ilmiöön perustuen, saadaan deterministiselle sovellukselle alkuarvo eli niin kutsuttu *siemen (seed)*. Tätä laiteosaa kutsutaan *entropialähteeksi*, missä *entropialla* tarkoitetaan suljetun järjestelmän sisäistä, satunnaista vaihtelevuutta. Usein entropialähde itsessään on myös suoraan käytettävissä RNG:n tavoin, mutta yhdistämällä tähän sovelluksen voidaan saada etua esimerkiksi satunnaislukujen tuottamisen nopeudessa, jakaumassa ja käytettävyydessä. Tavallisesti satunnaislukugeneraattorin halutaan tuottavan tasaisen jakauman mukaista dataa.

Kyberalan yhteistyötä teollisuuden kanssa

Ohjelmoijat saattavat perinteisesti käyttää toteuttamissaan sovelluksissa ohjelmointirajapintojen tarjoamia satunnaislukulähteitä varsin huolettomasti vailla sen paremmin määriteltyä arkkitehtuuria. Tästä ei muodostu kaikissa sovelluksissa välttämättä minkäänlaista ongelmaa, mutta kryptografian alueella käytettyjen satunnaislukujen vähäisempikin epäsatunnaisuus tai ennustettavuus muodostaa vakavan uhan. Kryptografiassa pitäisi aina voida varmistua läpikotaisin käytetyn satunnaisuuden aidosta laadusta. Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen informaatiotekniikkaosaston salausjärjestelmien tutkimusala kehittää yhdessä kotimaisen teollisuuden kanssa salausjärjestelmiin laajasti soveltuvaa satunnaislukugeneraattorin prototyyppiä, jonka arkkitehtuuri täyttää National Institute of Standards and Technologyn (NIST) SP 800-90C -julkaisun vaatimukset.

Satunnaislukugeneraattori (RBG) koostuu joko *deterministisestä* (*Deterministic Random Bit Generator (DRBG)*) tai *epä-deterministisestä satunnaislukugeneraattorista* (*Non-deterministic Random Bit Generator (NRBG)*), joista kumpikin saa käyttämänsä entropian soveltuvasta lähteestä. DRBG käyttää entropialähdettä alustuksessa ja virkistettäessä sen toimintaa lisäentropialla, kun taas NRBG oikein toimiessaan käyttää jokaisella kutsukerralla täyden määrän entropiaa tuotetun satunnaisdatan suhteen. Yleisesti kirjallisuudessa DRBG:tä kutakuinkin vastaavaan käsitteeseen viitataan nimityksellä *pseudosatunnaislukugeneraattori* (*Pseudo-Random*

Number Generator (PRNG)) ja entropialähteeseen käsitteellä *aito satunnaislukugeneraattori (True Random Number Generator (TRNG))*.

Kuvassa 1 on esitetty DRBG:n rakenne pääpiirteittäin. Se toimii sisäisen tilansa varassa deterministisesti tuottaen tulosteenaan pseudosatunnaislukuja hyväksytyillä algoritmeilla generointitoimintoa käytettäessä. Ennen käyttöä DRBG on alustettava hyväksytyyn tilaan. Sisäinen tila alustetaan entropialähteestä saatavalla syötteellä, siemenellä. Se on alustusyötteistä keskeisin. Muita syötteitä voidaan haluttaessa antaa rajatusti, mutta ne eivät ole välttämättömiä, toisin kuin entropian käyttäminen siemenenä. DRBG:n toimintaa valvotaan sisäisillä testeillä, jotta mahdolliset vikatilat havaitaan. Myös sisäisen tilan nollaukseen tarjotaan toiminto.

Entropialähteen suunnittelumalli on esitetty kuvassa 2. Entropia syntyy soveltuvaa analogista kohinaa tuottavassa osassa. Tästä otetaan eräällä hetkellä näyte, joka muunnetaan digitaaliseen muotoon. Näin saatua raakadataa tarkastetaan vikatilojen varalta testeillä sekä mahdollisesti muunnetaan haluttuun formaattiin, minkä jälkeen se voidaan entropiaa tarvittaessa lukea entropialähteen tulostusvirrasta.

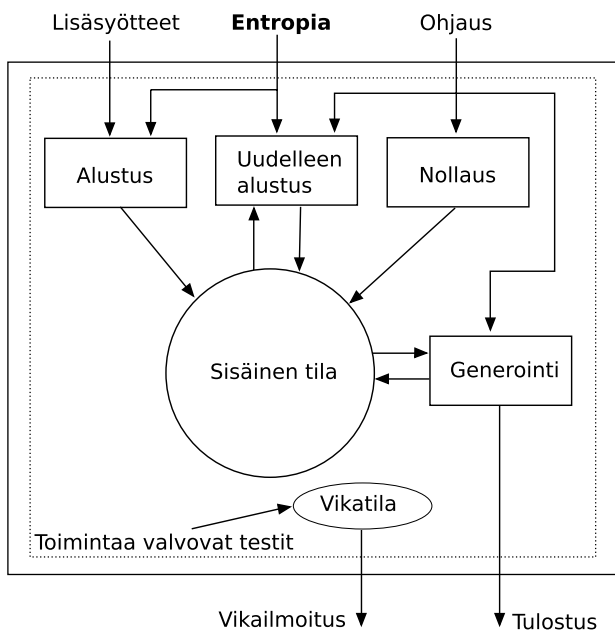
Tilastollinen testaus tärkeää

Sekä DRBG:itä että entropialähteitä testataan tilastollisesti, jotta voidaan varmistua tuotetun satunnaisuuden hyvydestä

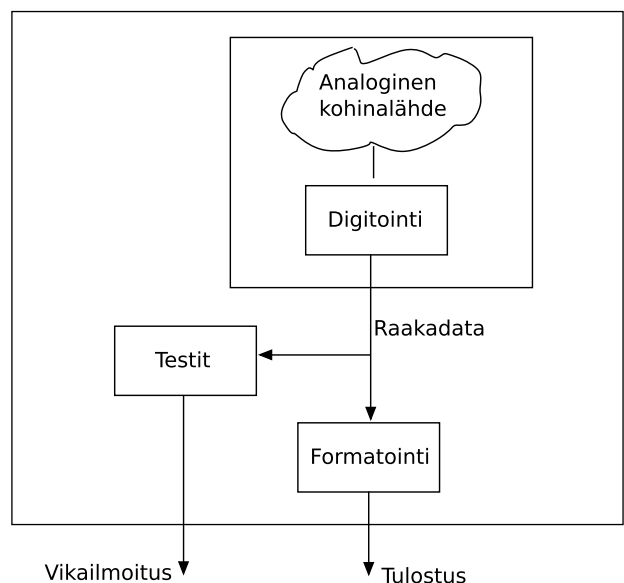
tä ja havaita vikatilanteet. Tilastollisten testien hyötyjä ovat esimerkiksi toteuttamisen helppous ja yleispätevyys (soveltuvat kaikille generaattoreille), jotka myös mahdollistavat huonojen generaattorien nopean hylkäyksen. Useat hyväksytyt testitulokset voivat myös kasvattaa luottamusta generaattoriin, mutta tämä on kaksiteräinen miekka. Mikään määrä hyväksytyjä testejä ei nimittäin takaa generaattorin kryptologista turvallisuutta, sillä aina jää mahdollisuus, että jokin uusi testi pystyy erottamaan tuotetun datan satunnaisesta. Myös testien laaduissa on eroja.

Tilastollisten testien merkitys korostuu DRBG:iden kohdalla, sillä ei ole onnistuttu todistamaan matemaattisen ehdottomasti, että turvallisia DRBG:itä on olemassa (vrt. esim. P=NP-ongelma). Niiden turvallisuus perustuu esimerkiksi oletuksiin tiettyjen matemaattisten ongelmien vaikeudesta tai yksinkertaisesti siihen, että heikkouksia ei ole vielä löydetty. Entropialähteiden osalta taas satunnaisuuden lähteen fyysikaalinen ymmärrys on tärkeää tilastollisten testien rajoittuneisuuden takia. Tilastollisia testejä voidaan kuitenkin käyttää myös niin sanottuina terveystesteinä, joissa generaattorin tuottaman datan laatua valvotaan sen käytön aikana.

Yksinkertainen esimerkki tilastollisesta testistä on vaikka bittijonon nollien ja ykkösten keskiarvo. Tälle voidaan johtaa jakauma, jota keskiarvo noudattaa, jos se hypoteesi, että bitit ovat riippumattomia ja tasajakautuneita, pätee. Jakaumasta voidaan laskea todennäköisyys havaita kyseinen



Kuva 1. Korkealla tasolla kuvattuna DRBG rakentuu useista osista. (Grafiikka: Sami Pyöttiälä NIST Special Publication 800-90A Revision 1 kuvauksen pohjalta)



Kuva 2. Entropialähde perustuu analogiseen kohinaan. (Grafiikka: Sami Pyöttiälä NIST Special Publication 800-90B kuvauksen pohjalta)

tai äärimmäisempi keskiarvo, jos hypoteesi pätsi. Tällaisia todennäköisyyksiä kutsutaan p-arvoiksi. Mikäli p-arvo on tarpeeksi pieni, hypoteesi hylätään. On toisaalta tärkeää huomata, että täysin satunnainenkin, hypoteesin mukainen data voi tuottaa pieniä p-arvoja – ne vain ovat epätodennäköisiä, mikäli testi on kunnossa. Muutkin testit noudattavat tätä samaa periaatetta. Niissä tutkitaan jotakin statistiikkaa, jolle voidaan johtaa hypoteesista jakauma, ja lasketaan p-arvo.

Yhteistyöllä uutta tietoa ja osaamista

Suomalainen salauskomponenttivalmistaja Xiphera testasi MATINE-projektissa (Maanpuolustuksen tieteellinen neuvottelukunta) Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen ohjauksessa *FPGA*-pohjaista (*Field Programmable Gate Array*) entropialähteen mallia eri *FPGA*-piiriperheillä useissa lämpötiloissa. *FPGA* on eräänlainen mikropiiri, jossa on uudelleenohjelmoitava logiikka. Nykyvaatimukset, esimerkiksi Saksan kyberturvallisuusviranomaisen *BSI*:n *AIS-20/31*-standardi, korostavat entropialähteen stokastista mallia eli matemaattista kuvausta ja sen varmennusta testien avulla kaikissa tarkoitetuissa toimintaolosuhteissa (kuten lämpötiloissa). Lisäksi muun muassa vaaditaan luonnollisesti suoraankin (tiettyjen) tilastollisten testien läpäisy kyseisissä olosuhteissa.

Tuloksena oli tilastollisia testituloksia kolmesta piiriperheestä, aina kolmesta piiristä valmistajaa kohti. Kaksi perheistä oli kuluttajatasoa, kolmas taas teollisuustason tuote. Yksikään piiriperhe ei selvinnyt kaikista testeistä, mutta toisaalta on positiivista, että samat testit eivät ole hylättyjä säännönmukaisesti. Testeistä saatiin kuitenkin myös useita yksittäisiä tuloksia, joiden pitäisi olla hyvin epätodennäköisiä hypoteesin mukaiselle, satunnaiselle datalle. Tuloksia vertailtiin huoneenlämmössä ja korkeammassa lämpötilassa. Useiden testien p-arvojen yhdistäminen on hankalaa testien välisten korrelaatioiden vuoksi, joten vertailuun käytettiin hylättyjen testien määriä ja piiriperheen huonoimpia tuloksia. Huoneenlämmössä paremmuusjärjestys näillä mittareilla oli epävarma, mutta korkeammassa lämpötilassa teollisuustason piiriperhe oli kärkeisjalla. Koska piirin sisäinen lämpötila saattaa kuormituksessa nousta selvästi, lämpötilan merkittävyys testausjärjestelyissä on mielenkiintoinen kysymys.

Yllä mainittu MATINE-projekti kuvastaa satunnaisluku-generaattorin prototyypin kehitystyön lisäksi Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen kybertutkimuksen alalla tehtävää teollisuusyhteistyötä kotimaisten yritysten kanssa. Toimiva yhteistyö tuottaa sekä suoraa teknistä suorituskykyä Puolustusvoimille että Puolustusvoimien kannalta kriittistä, arvokasta osaamista suomalaiselle teollisuudelle.

Kirjoittajat:

Filosofian tohtori Sami Pyötiälä toimii tutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen informaatiotekniikkaosastossa salausjärjestelmien tutkimusalalla.

Tekniikan tohtori Samu Potka toimii tutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen informaatiotekniikkaosastossa salausjärjestelmien tutkimusalalla.

CBRN-aseiden paluu taistelukentälle

Viime vuosituhannen lopussa maailma näytti jokseenkin toiveikkaalta joukkotuhoseiden uhkan laantumisen suhteen. Kylmä sota oli päättynyt, Neuvostoliittokin hajonnut, ja molemminpuolinen ydinasein varmistettu tuho ja kilpavarustelu olivat hetkeksi siirtyneet keskustelussa taka-alalle. Muidenkin joukkotuhoseiden osalta maailmanlaajuinen aseriisunta oli myötätuulessa – lähes kaikki maailman maat nykyisin kattava kemiallisten aseiden kieltosopimus oli juuri saatu neuvoteltua päätökseen. Biologisten ja toksiiniaseiden kieltosopimus oli astunut voimaan jo aikaisemmin, 1970-luvulla.

Vuosituhaten alku ei ole kuitenkaan osoittautunut joukkotuhoseidenäkökulmasta edellisen loppua helpommaksi. Pernaruttoiskut Yhdysvalloissa vuonna 2001 sekä iskut World Trade Centeriin nostivat terrorismin – myös biolo-

gisilla taisteluaineilla toteutetun terrorismin – länsimaiden fokukseen kahdeksi vuosikymmeneksi. Suurvaltojen keskinäisten suhteiden heilahdellessa, maailman muuttuessa moninapaisemmaksi ja uusien maiden pyrkiessä ydinasevaltioiden joukkoon ydinaseiden aiheuttama uhka ja ydinaseita tähän saakka säädellyt kansainvälinen sopimusjärjestelmä ovat asettumassa uuteen asentoon. Kemiallinen aseriisunta on sen sijaan edistynyt lupaavasti. Tänä vuonna 24-vuotisjuhliaan viettänyt kemiallisten aseiden kieltosopimus ja sitä toimeenpaneva Kemiallisten aseiden kieltojärjestö OPCW saattavat tyytyväisenä todeta, että 98,8 prosenttia jäsenmaiden järjestölle ilmoittamista kemiallisista taisteluaineista on tuhottu sopimuksen mukaisesti järjestön valvonnassa. Silti joukkotuhoseet ja myös kemialliset taisteluaineet pysyttelevät sitkeästi tiedotusvälineiden otsikoissa. Mitä tapahtui? Ovatko CBRN-aseet (kemialliset ja biologiset aseet, sekä säteilevät aineet ja ydinaseet) tekemässä paluuta taistelukentälle? Vai ovatko ne koskaan sieltä lähteneetkään?

Syyrian konflikti – kemiallisten aseiden käyttö osana sotatoimia

Syyrian sodassa on raportoitu kemiallisten aseiden käyttötapauksia aina vuodesta 2012 alkaen. Ghoutassa tapahtuneen, satoja ihmishenkiä vaatineen kemiallisen iskun jälkeen Syyria liittyi Venäjän tukemana ja voimakkaan kansainvälisen painostuksen myötävaikuttamana kemiallisten aseiden kieltosopimukseen vuonna 2013. Liittymisen yhteydessä Syyria ilmoitti kemiallisten aseiden varastonsa Kemiallisten aseiden kieltojärjestölle, ja ilmoitetut kemikaalit hävitettiin kansainvälisessä merioperaatiossa, johon Suomikin osallistui. Syyria on myös vuosien saatossa tuhonnut kieltojärjestön valvonnassa kaikki OPCW:lle sopimukseen liittymisen yhteydessä ilmoittamansa 27 kemiallisten aseiden tuotantolaitosta.

Kemialliset iskut Syyriassa ovat kuitenkin jatkuneet aina viime aikoihin saakka. Esimerkiksi huhtikuussa 2017 Khan Shaykhunin alueella Idlibin maakunnassa toteutetussa kemiallisessa iskussa kymmeniä siviilejä kuoli ja lisäksi satoja sai myrkytyksen ilmaiskun yhteydessä pudotetusta tynnyripommista levinneistä kemikaaleista. OPCW:n edustajien ottamat näytteet uhreista paljastivat, että myrkkynä iskussa toimi kemiallinen taisteluaine – hermokaasu sariini. Kemiallisen aseiden käytön arvioidaan olleen konfliktissa houkutteleva ja varsin kustannustehokas voimakeino silloin, kun oma sotilaallinen kyky ei ole riittänyt esimerkiksi vallattavien alueiden haltuunottoon pelkästään konventionaalisilla aseilla. Kemiallisina taisteluaineina käytettäviksi soveltuvat kemikaalit ovat halpoja, eikä niiden tyypillinen käyttötapa Syyriassa – lentokoneesta pudotettava tynnyripommi tai



Kansainvälinen joukko harjoittelee kemiallisten taisteluaineiden ilmaisua ja tunnistamista Syyrian kemiallisten aseiden nouto- ja hävittämisoperaatiossa (OP RECSYR), johon Suomikin osallistui. (Kuva: Puolustusvoimat)

kaasusäiliö – ole kallista eikä monimutkaista asejärjestelmäteknologiaa. Kemiallisten taisteluaineiden käytön eduiksi on esitetty myös sitä, että niiden vaikutukselle alttiiksi joutuvasiviiliväestö joutuu poistumaan sotatoimen kohteena olevalta alueelta, jolloin siviiliväestöön sulautuvien ja tukeutuvien vastapuolen taistelujoiden toimintaedellytykset huononevat.

Halu ja kyky käyttää CBR-taisteluaineita – salamurhia ja voimannäyttöä

Taistelukentän ulkopuolella kemiallisia taisteluaineita ja säteileviä aineita on viime vuosina käytetty poliittisissa salamurhissa ja niiden yrityksissä tavalla, joka on aiheuttanut myös siviilisiä uhreja sekä mittavia yhteiskunnallisia ja poliittisia seurauksia. Isoon-Britanniaan loikannut, Putinin hallintoa arvostellut venäläinen upseeri Aleksander Litvinenko murhattiin radioaktiivisella polonium-210-isotoopilla Lontoossa vuonna 2006. Pohjois-Korean diktaattori Kim Jong Unin veli Kim Jong Nam salamurhattiin vuonna 2017 Kuala Lumpurin kansainvälisellä lentokentällä VX-hermokaasulla. Neuvostoliitossa kehitettyä novitsok-hermokaasua käytettiin entisen venäläisen agentin Sergei Skripalin murhayrityksessä Isossa-Britanniassa vuonna 2018. Venäläinen opposition edustaja Aleksei Navalnyi puolestaan selvisi elokuussa 2020 novitsok-myrkytysyrityksestä.

Viihdeteollisuuden kylmän sodan ajan agenttitarinoita muistuttava CBR-aineiden käyttö salamurhiin vaikuttaa tarkoitukselliselta, omahyväiseltä voimannäytöltä. Valtion näkökulmasta maanpetturin tai vastapuolelle siirtyneen vakoojan päiviltä päästämiseen löytyisi varmasti vähemmänkin huomiota herättäviä menetelmiä. Joka tapauksessa kemiallisten aseiden kieltosopimus kattaa vain kemiallisten yhdisteiden käytön sodankäynnin välineinä. Vaikka myrkytys käyttöön ja täten väkivaltarikokseen syyllistyneiden henkilöllisyydestä olisikin vahva näyttö, toisen maan kansalaisuutta edustavia asianosaisia ei saada oikeuden eteen luovutussopimusten ja -halujen puuttuessa. Ison-Britannian puolustusministeri onkin varoittanut, että maailma tulee kohtaamaan uusia hyökkäyksiä kemiallisilla taisteluaineilla.

Saadaanko kemialliseen sodankäyntiin Syyriassa syyllistyneitä koskaan vastuuseen?

Kansainvälinen yhteisö on vuosia ollut kyvyltään varsin rajoittunut vastaamaan Syyriassa tapahtuneisiin kemiallisten aseiden kiellon sopimusrikkomuksiin. Venäjä ja Kiina ovat viime vuosina pysäyttäneet veto-oikeudellaan YK:n turvallisuusneuvostossa näkemystensä vastaiset päätökset, jotka koskevat toimia Syyriassa. Ne ovat myös vastustaneet kemiallisten aseiden käytön tutkimista. Heinäkuussa 2018 OPCW:n



Syyrian Kemiallisten aseiden kieltöjärjestöle ilmoittamat kemialliset taisteluaineet ja niiden lähtöaineet noudettiin Syyriasta ja tuhottiin kansainvälisessä operaatiossa (OPRECSYR) vuosina 2013-2014. (Kuva: Janne Lehtisaari)

yksi maa, yksi ääni -periaatteella toimiva sopimusvaltioiden konferenssi valtuutti OPCW:n pääsihteerin luomaan järjestelyt kemiallisia aseita käyttäneiden tahojen tunnistamiseksi Syyriassa niissä tapauksissa, joihin vuonna 2014 perustettu OPCW:n selvitysyhmä Fact Finding Mission on jo tutkimuksissaan todennut todennäköisesti liittyvän kemiallisten aseiden käyttöä. Päätös hyväksyttiin kahden kolmanneksen enemmistöllä läsnä olevista ja äänestävistä sopimusvaltioista. Se tarkoitti sitä, että OPCW alkaisi ensimmäistä kertaa tutkia väitettyjä kemiallisten aseiden käytön tapauksia päämääränään kemiallisten taisteluaineiden alkuperän – ja sitä kautta käyttöön syyllistyneen tahon – selville saaminen.

Kemiallisten aseiden kieltojärjestön pääsihteerin asetti konferenssin päätöksen toimeenpanemiseksi erityisen Investigation and Identification Teamin, IIT:n. Huhtikuussa 2020 IIT julkaisi ensimmäisen raporttinsa, jonka tutkimukset keskittyivät kolmeen maaliskuussa 2017 Ltamenah'ssa tapahtuneeseen iskuun. IIT:n toinen raportti, joka koski helmikuussa 2018 Saraqibissa tapahtunutta iskua, julkaistiin huhtikuussa 2021. Raporttien johtopäätöksenä oli, että voidaan perustellusti päätellä Syyrian valtion asevoimien syyllistyneen kemiallisten aseiden (kloorin ja sariini-hermokaasun) käyttöön Ltamenah'n kolmessa iskussa sekä kloorin käyttöön Saraqibin iskussa. Kieltojärjestön tekninen sihteeristö on toimittanut IIT:n raportit tiedoksi YK:n pääsihteerille.

OPCW:n jäsenvaltioiden määräenemmistöpäätöksillä toteuttamat toimet kemiallisten aseiden kielto­sopimuksen rikkojien saattamiseksi vastuuseen ovat suuttaneet esimerkiksi Venäjän. Ne ovat saaneet aikaan sopimuksen soveltamista ja tulkintaa sekä OPCW:n toimivaltuuksia koskevan riitatilanteen. Vaikka OPCW on nyt omilla toimenpiteillään tutkinut ja todennut yhden sopimusvaltion syyllistyneen rikkomuksiin, seuraamusten asettaminen Syyrialle esimerkiksi YK:n turvallisuusneuvoston päätöksellä vaikuttaa olevan kaukana. Kemiallisten aseiden kieltojärjestön toimivaltuudet asettaa seuraamuksia sopimusrikkokille rajoittavat sopimuksen XII artiklan mukaisiin valtuuksiin rajoittaa tai peruuttaa yleis­sopimuksesta kyseiselle valtiolle seuraavia oikeuksia, kunnes valtio täyttää sopimusvelvoitteensa. Sopimusvaltioiden konferenssi päättikin huhtikuussa 2021 lakkauttaa Syyrian oikeuden äänestää konferenssissa, asettua ehdolle kieltojärjestön hallintoneuvostoon sekä toimia missään konferenssin tai hallintoneuvoston luottamustehtävässä.

Yksi keino muiden joukossa

Kemiallisten aseiden käyttö on esimerkki siitä, miten kansainvälisiä sopimuksia lakataan noudattamasta heti oman edun niin vaatiessa, varsinkin jos noudattamatta jättämisestä ei seuraa mitään. Syyria on valtiona sitoutunut kansainväliseen kemiallisten aseiden kielto­sopimukseen, joka yksiselitteisesti kieltää kaikenlaisten myrkyllisten kemiallisten yhdisteiden käyttämisen aseena taistelussa. Seurausvaikutusten ja vastuun puuttuessa kemiallisten aseiden käyttö on kuitenkin päässyt Syyriassa muodostamaan uuden normaalin: näitä kansainvälisesti kiellettyjä ja tuomittuja mutta sodan osapuolille hyvin edullisia sodankäynnin välineitä käytetään häikäilemättömästi.

Tällä hetkellä ydinaseita koskevia neuvotteluja leimaa suurvaltojen välinen epäluottamus. Yhteistä säveltä sopimusjärjestelmän suhteen ei ole löytynyt – ei edes proliferaation estämiseksi. YK:n turvallisuusneuvoston pysyvien jäsenten veto-oikeutta käytetään hyväksi mahdollistamaan oman toiminnanvapauden säilyttäminen ja nostamaan kynnystä puuttua erityisesti jonkin maan sisäisenä konfliktina pidettyihin asioihin. Totuuden jälkeinen aika ulottuu myös joukkotuhoaseiden käyttötapauksiin: vastaanansomattomienkin todisteiden painoarvoa yritetään kumota vetoamalla sopimustekstien nyanseihin tai tarjoamalla erilaisia vaihtoehtoisia faktoja vastauksiksi kysymyksiin. Samalla ydinaseiden teknologinen kehitys mahdollistaa niiden käytön vaikutusten rajaamisen aikaisempaa paikallisemmiksi ja tarkemmiksi.

Ydinaseiden käyttämistä sotilaskohteita vastaan ei ole kielletty kansainvälisin sopimuksin. Lisäksi toisin kuin kemiallisten ja biologisten aseiden kohdalla, ydinaseen käyttötapauksessa käytöstä vastuullinen osapuoli voi tuskin jäädä epäselväksi. Huolenaiheeksi jää, voisivatko muu edellä mainittu kehitys ja sen taustalla vaikuttavat tekijät kuitenkin houkutellessa keikelemaan ja selvittämään ydinaseen rajatun käytön seuraukset käyttämällä asetta taistelukentällä tilanteessa, jossa muilla suurvaltaosapuolilla ei ole suoraan omia intressejä tai sotilaita pelissä. Tämä johtaisi siihen, että kansainvälisen yhteisön olisi jälleen katsottava käsissään olevat kortit kokonaan uusiksi. Tilanteesta ulos tultaessa olisi muodostunut uusi käsitys siitä, miten ydinaseen käyttöön osana konfliktia – silloin, kun siihen ei tunnu liittyvän omaa suoraa uhkaa – suhtauduttaisiin muiden suurvaltaosapuolien ja maailman taholta.

Kirjoittajat:

Filosofian maisteri, Sotatieteiden maisteri Tuuli Haataja toimii Puolustusvoimien tutkimuslaitoksella räjähdde- ja joukkotuhoasevaikutukset -tutkimusalan johtajana.

Filosofian lisensiaatti Timo-Jaakko Toivanen toimii Puolustusvoimien tutkimuslaitoksella CBRNE-tekniologiat-tutkimusalan johtajana.

Pipetinkärkien dekontaminaation kehittäminen monialaisena yhteistyönä

Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön (STM) ja Huoltovarmuuskeskuksen (HVK) yhteisesti rahoittamassa ja STM:n puolustusministeriöltä pyytämässä sekä Pääesikunnan Puolustusvoimien tutkimuslaitokselle määräämässä pipetinkärkien dekontaminaatiohankkeessa (PIDE) kehitettiin 10.5.–11.6.2021 puhdistusmenetelmä 1 millilitran ja 300 mikrolitran pipetinkärkien puhdistamiseksi. Hankkeen aikana toteutettiin pilotti laboratoriomittakaavan kemiallisen puhdistuksen toteuttamiseksi suu-remmassa mittakaavassa.

PIDE-hankkeen taustaa

Kertakäyttöiset pipetinkärjet ovat välttämättömiä tarvikkeita laboratorionäytteiden analysissa. Pipetinkärkien saatavuudessa on ollut vaikeuksia koko COVID-19-pandemian ajan, ja uhkana keväällä 2021 oli, että pandemian pahentuessa tai pakkotestauksen tullessa voimaan ne loppuvat. Myös pipetinkärkien valmistuksessa tarvittavien raaka-ainesten saatavuus oli kansainvälisesti huonontunut. Huoltovarmuusorganisaation muovi- ja kumipooli selvitti pipetinkärkien tuotantoa ja saatavuutta suomalaisen valmistuksen osalta. Suomessa on kaksi pipetinkärkien valmistajaa, Thermo Fisher Scientific Oy ja Sartorius Biohit Liquid Handling Oy, mutta näiden tuotanto oli sopimuksilla varattu muualle.

Suomessa noudatetaan koronavirusepidemiassa strategiaa, jonka periaate on testaa–jäljitä–eristä–hoida. Jotta strategia pystytään noudattamaan kaikissa olosuhteissa ja pandemia pysyy hallinnassa, testaus on avainasemassa. Näin ollen kertakäyttöisten pipetinkärkien (suodattimella varustettujen ja sellaisten, joissa ei ole suodatinta) riittävyys on erittäin tärkeää pandemian torjumisen kannalta. Lisäksi on huomion-arvoista, että samat kärjet ovat laajalti käytössä myös muussa kuin mikrobiologisessa diagnostiikassa.

PIDE-hankkeessa kehitettiin nopealla aikataululla teknisesti ja laadullisesti vaativa, toimiva, edullinen, yksinkertainen ja turvallinen tapa pipetinkärkien puhdistamiseksi. Hanketta johti ja siitä vastasi Puolustusvoimien tutkimuslaitos (PV-

TUTKL). Siihen osallistuivat lisäksi Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto (LUT), Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy (VTT), Terveyden ja hyvinvoinnin laitos (THL), LAB-ammattikorkeakoulu (LAB), Helsingin yliopisto (HY / kemian osasto ja HY / mikrobiologian osasto), Lääkealan turvallisuus- ja kehittämiskeskus Fimea, Huoltovarmuuskeskus (HVK), HUSLAB, TYKS Laboratoriotoimialue (TYKS) ja FINAS-akkreditointipalvelu (FINAS). Sotilaslääketieteen keskus (SOTLK) asetti hankkeen käytön mikrobiologian asiantuntijan.

PIDE-hankkeen aikana syntyi uutta, arvokasta osaamista ja tietotaitoa pipetinkärkien laboratoriomittakaavan kemiallisesta puhdistamisesta, puhdistettujen kärkien monipuolisesta laadunvarmistuksesta, pipetinkärkien turvallisesta keräämisestä sairaalalaboratorioista ja logistiikasta, pilottimittakaavan laitoksen rakentamisesta ja sen toiminnasta sekä eri tutkimusta tekevien tahojen, viranomaisten ja yritysten toteuttaman yhteishankkeen koordinoinnista. PIDE-hankkeessa käytiin läpi myös puhdistettujen pipetinkärkien käyttöönottoon liittyvä lainsäädäntö.

Edellä mainittu osaaminen ja tietotaito ovat hankkeen toteuttajilla. Tilanne ei ole strategisesti kestävä, sillä hankkeen tuloksia ja osaamista ei ole siirretty millekään varsinaiselle toimijalle. Olisi tärkeää nimetä suomalainen taho, jolla perusosaamisen, henkilöstön, omistamiensa analysilaitteiden, pipetinkärkien kulutuksensa ja tilojensa puolesta olisi kyky ottaa pipetinkärkien puhdistus osaksi omaa toimintaansa. Sellainen taho Suomessa voisi olla esimerkiksi Ruokavirasto.

Kaksi asiantuntijaa Ruotsin valtion eläinlääketieteelliseltä laitokselta (Statens Veterinärmedicinska Anstalt, SVA) kävi 9.6.2021 tutustumassa PIDE-hankkeen pilottiin, joka toteutettiin Helsingin yliopiston kemian osastolla. SVA:lla on tarkoitus puhdistaa 900 000 pipetinkärkeä varastoonsa. Pilotin esittely SVA:n asiantuntijoille johti Ruotsilta Suomelle tulleeeseen viralliseen tietopyyntöön PIDE-hankkeen tuloksista. STM on hyväksynyt tukipyynnön, ja siitä on toimitettu virallinen lausunto puolustusministeriöön.

Työpakettit

PIDE-hanke suunniteltiin toteutettavaksi viidessä työpaketissa. Hankkeen toteutus sijoitettiin Helsinkiin, josta pääosa hankkeen toteuttajista oli. Lisäksi Helsingistä oli vuokratavissa sopivia tiloja hankkeen käyttöön. Tuotantoa varten rekrytoitiin ulkopuolelta ammattitaitoisia laboratorio- ja muuta henkilökuntaa.

Työpaketti 1 kehitettiin kemiallinen puhdistusmenetelmä. Menetelmän perustana olivat eräät standardit. Laboratoriossa kehitettiin ja testattiin pipetinkärkien puhdistuksessa käytettävät kemikaalit käyttöjärjestyksineen ja käyttötilavuuksineen sekä selvitettiin pipetinkärkien materiaalien sietokyky puhdistuskemikaaleille. Työpaketissa tuotettiin laboratoriomittakaavassa pipetinkärjet laadunvarmistukseen.

Työpaketti 2 kehitettiin laadunvarmistusmenettelyt pipetinkärkien puhtauden ja kunnan testaamiseen laboratoriomittakaavassa, pilotissa ja puhdistustuotantoa varten. Työ jaettiin kolmeen vastuualueeseen: kemialliset laadunvarmistuksen menetelmät, biologiset laadunvarmistuksen menetelmät sekä fysikaaliset ja mekaaniset laadunvarmistuksen menetelmät. Menetelmillä pyrittiin turvallisen käytön ja luotettavan analyysin saavuttamiseksi varmistamaan, että puhdistetut pipetinkärjet täyttävät samat laatuvaatimukset

kuin uudetkin. Puhdistettujen pipetinkärkien ominaisuuksia verrattiin uusien pipetinkärkien ominaisuuksiin. Lisäksi kokeiltiin useiden puhdistuskertojen vaikutusta pipetinkärkien ominaisuuksiin.

Työpaketti 3 koski pipetinkärkien keräysprosessin luomista ja keräämistä. Työpaketissa testattiin menetelmä pipetinkärkien patogeenisen materiaalin inaktivoimiseksi ja laadittiin pipetinkärkien turvallisen keräämisen prosessikuvaus laboratorio- ja sairaalaorganisaatioissa. Koska käytetyt pipetinkärjet normaalitilanteessa menevät jätteeksi, yhteistyössä monialaisen työryhmän kanssa laadittiin keräämisen ohjeistus. Sen jälkeen toteutettiin turvallinen pipetinkärkien kerääminen laboratorio-organisaatioissa.

Työpaketti 4 oli nimeltään pilotin toteutus ja tuotannon suunnittelu. Työpaketissa toteutettiin pipetinkärkien puhdistuksen pilotti eli yksi täysimittainen pesuasema, jossa työpaketeissa 1 ja 2 kehitetyt puhdistamiseen ja laadunvarmistukseen liittyvät menettelyt oli otettu soveltaen käyttöön. Työpaketissa testattiin tuotantoa ja laadunvarmistusta sekä laadittiin suunnitelmat riittävän kapasiteetin pesulaitoksen toteuttamiseksi mahdollisessa jatkohankkeessa. Piloti toteutettiin Helsingin yliopiston kemian osastolta vuokratussa opetuslaboratorio Gadolinissa (kuvat 1–4).



Kuva 1. Yleiskuva opetuslaboratorio Gadolinista, joka sijaitsee Helsingin yliopiston kemian osastolla Kumpulassa, Helsingissä. (Kuva: Markku Mesilaakso)



Kuva 2. Pipetinkärjet kaadettiin keltaisista, avatuista särmäsjäteastioista isoon muoviasiaan ensimmäistä liuoskäsitteilyä varten. (Kuva: Markku Mesilaakso)

Työpakettiin 5 kuuluivat kokonaisprosessin suunnittelu, kokonaiskoordinointi ja raportointi. Osatehtäviä tässä työpaketissa olivat muun muassa

- kokonaisprosessin toteutuksen koordinointi projektin johdon linjausten mukaisesti
- kokonaiskoordinointi
- työpakettien töiden koordinointi
- tukiryhmien muodostaminen ja koordinointi
- väliraportointi edistymisestä tilaajalle
- eri osallistujaryhmien tukitoimintojen tukeminen ja tiedon tasaaminen
- sen varmistaminen, että tavoitteet saavutetaan suunnitellussa aikataulussa ja tavoitetasolla
- kommunikointi hankkeen sisällä ja yhteistyötahojen kanssa
- viestinnän sisällön tuottaminen
- lainsäädäntötilanteen selvittäminen.

Kirjoittajat:

Filosofian tohtori Markku Mesilaakso toimii osastonjohtajana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksella. Hän vastasi työpaketista 4.

Tekniikan tohtori Katri Laatikainen toimii akatemiautkijana LUT-yliopistossa. Hän vastasi työpaketista 5 sekä toimi hankkeen koordinaattorina.

Filosofian tohtori, professori emerita Heli Siren on toiminut Helsingin yliopiston kemian osastolla. Hän vastasi työpaketista 1 sekä työpaketin 2 kemiallisesta laadunvarmistuksesta.

Tekniikan tohtori Ilpo Kulmala toimii johtavana tutkijana VTT:llä. Hän vastasi työpaketista 2.

Terveystieteiden tohtori Susanna Tella toimii johtavana asiantuntijana LAB-ammattikorkeakoulussa. Hän vastasi työpaketista 3.

Lääketieteen ja kirurgian tohtori Petri Ruutu on emeritusprofessori, joka on toiminut Terveystieteiden ja hyvinvoinnin laitoksessa. Hän tuki työllään työpaketin 5 toteutusta.



Kuva 3. Pipetinkärjet asetettuina pesulaitteeseen terävä kärki ylöspäin. Neste virtaa pesuliuosastiasta kalvopumpun avulla aluksi täyttämään pesulaitteen alaosan ja sen jälkeen pipetinkärkien läpi. (Kuva: Markku Mesilaakso)



Kuva 4. Pesunesteet painettiin letkupumpulla alhaalta ylöspäin. Kuvassa on suodattimellisia pipetinkärkiä, joita käytetään käsin pipetoinnissa. (Kuva: Markku Mesilaakso)

Monialaisen osaamisen hyödyntäminen kansallisen kriisivalmiuden kehittämiseksi

Vuosina 2020 ja 2021 toteutettiin kaksi eri hanketta, joissa tavoitteena oli yhteiskunnan tukeminen kriisin aikana luomalla menetelmät käytettyjen, kertakäyttöisten hengityksensuojainten ja eräiden käytettyjen laboratoriotarvikkeiden puhdistamiseksi uudelleen käyttöä varten. Mainittujen kertakäyttöisten välineiden käyttö puhdistamisen jälkeen ei Suomessa ole lain mukaan sallittua. Ensimmäisessä hankkeessa (HEDE) kehitettiin menetelyt ja laitos käytettyjen FFP2- ja FFP3-hengityksensuojainten dekontaminoimiseksi ja toisessa hankkeessa (PIDE) vastaavalla tavalla menettelyt ja pilotlaitos käytettyjen pipetinkärkien puhdistamiseksi. HEDE-hankkeen idean esittäjä oli Lappeenrannan-Lahden teknillisen yliopiston akatemiattutkija, joka osallistui myös PIDE-hankkeen suunnittelun aloittamiseen yhteistyössä Huoltovarmuuskeskuksen kanssa. Kumpikin hanke toteutettiin kiireellisenä: HEDE-hanke kahdessa osassa 6.4.–18.5.2020 ja 1.–26.6.2020 sekä PIDE-hanke 10.5.–11.6.2021. Perusteena oli hengityksensuojainten sekä pipetinkärkien ja niihin tarvittavan raaka-aineen mahdollinen loppuminen. Yhteistä molemmissa hankkeissa oli nopeasti koottu, monialainen ryhmä ammattilaisia. Heidän tuli asiantuntemuksellaan pohtia, kuinka tavoitteeseen päästään, laatia toteutuksesta suunnitelma, saada suunnitelma hyväksytyksi ja käytännössä toteuttaa hankkeet. Hankkeet hyväksyttiin toteutettaviksi puolustushallinnon alalla sekä sosiaali- ja terveysministeriön ja työ- ja elinkeinoministeriön hallinnonaloilla. Tässä artikkelissa nostetaan esille hankkeissa opittuja asioita suomalaisen kriisivalmiuden osaamisen kehittämiseksi.

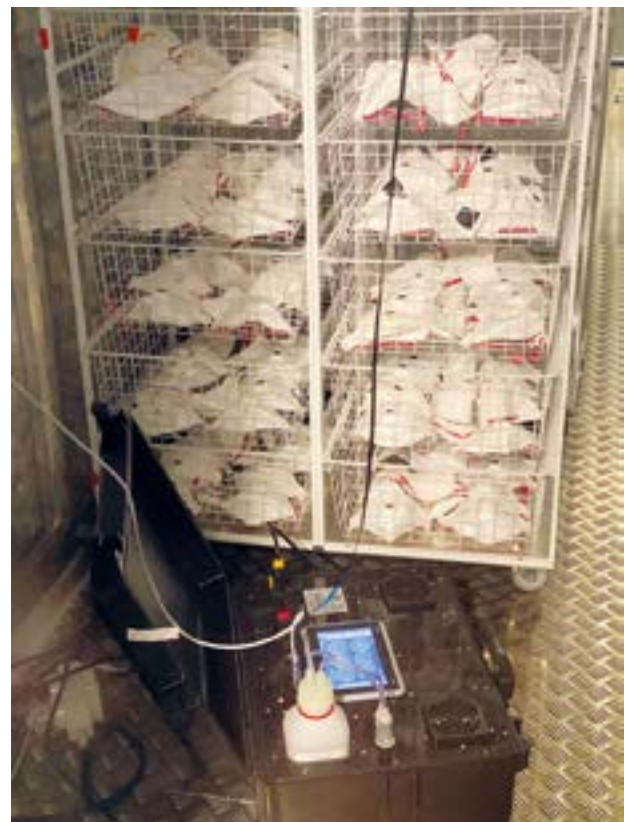
Kaksi tärkeää hanketta

Hengityksensuojainten dekontaminaatio (HEDE)

Tuossa vaiheessa oli jo keskusteltu puhdistusmenetelmästä, joka perustuisi vetyperoksidihöyryn (VHP) käyttöön. Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen (PVTUTKL) ja Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:n (VTT) kanssa oli jo vuonna 2013 alettu tehdä VHP-tutkimusta Puolustusvoimien teknologiaohjelmassa. Työ oli tuottanut uutta tietoa ja höyrytysmenetelmän, jonka mukana olleet tutkijat olivat patentoineet. Kun puhdistamisen oli todettu olevan mahdollista, perustettiin monialainen moniviranomaisyhteistyöprojekti hengityksensuojainten dekontaminaation (HEDE) toteut-

tamiseksi. Hankkeisiin osallistuivat Puolustusvoimista PVTUTKL, Puolustusvoimien logistiikkalaitos (PVLOGL) ja Porin prikaati (PORPR). PVTUTKL vastasi hankkeesta ja johti sitä. Muut osallistujat olivat seuraavilta tahoilta: Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto (LUT), LAB-ammattikorkeakoulu (LAB), VTT, Terveiden ja hyvinvoinnin laitos (THL), Työterveyslaitos, Lääkealan turvallisuus- ja kehittämiskeskus Fimea sekä sairaalapiirit. Operaattorina ensimmäisen osan loppuvaiheessa ja toisessa osassa toimi Millog. Hankkeeseen osallistui reilusti yli sata henkilöä.

Hankkeen tarkoituksena oli kehittää suomalaisen osaamiseen perustuva hengityksensuojainten uudelleenkäytön mahdollistava puhdistamisen infrastruktuuri ja prosessit.



Hengityksensuojaimia asetettuna lankakoreihin vetyperoksidihöyryllä tapahtuvaa puhdistusta varten HEDE-hankkeen pilotvaiheessa. (Kuva: Markku Mesilaakso)

Tavoitteena oli varmistaa puhdistusmenetelmäksi valitun vetyperoksidihöyrytyksen soveltuvuus ja höyrytykseen liittyvät parametrit FFP2- ja FFP3-hengityksensuojainten puhdistamisessa. Hankkeessa tuli kehittää ja käynnistää suuren mittakaavan FFP2- ja FFP3-hengityksensuojaimien puhdistuslaitos sekä varmistaa sen toiminnan tehokkuus, laatu ja turvallisuus. Tavoitteena oli myös luoda kertakäyttöisten suojainten puhdistamisen toimintaverkosto. Lisäksi hankkeessa laadittiin suunnitelma hengityksensuojainten uustuotannon käynnistämiseksi Suomessa. Hanke oli onnistunut, sillä puhdistetut hengityksensuojaimet olivat mikrobiologisesti puhtaita ja täyttivät muutkin hengityksensuojaimille asetetut vaatimukset.

Pipetinkärkien dekontaminaatio (PIDE)

Kertakäyttöiset pipetinkärjet ovat välttämättömiä tarvikkeita laboratorionäytteiden analyysissä. Pipetinkärkien saataavuudessa on ollut vaikeuksia koko COVID-19-pandemian ajan, ja uhkana keväällä 2021 oli, että pandemian pahentuessa tai pakkotestauksen tullessa voimaan ne loppuvat. Myös pipetinkärkien valmistuksessa tarvittavien raaka-aineiden saatavuus oli kansainvälisesti huonontunut. Suomessa



Käytetyt pipetinkärjet esipesun jälkeen valmiina aseteltavaksi pesualustalle. (Kuva: Markku Mesilaakso)

noudatetaan koronavirusepidemiassa strategiaa, jonka periaate on testaa–jäljitä–eristä–hoida. Jotta strategiaa pystytään noudattamaan kaikissa olosuhteissa ja pandemia pysyy hallinnassa, testaus on avainasemassa.

Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön (STM) ja Huoltovarmuuskeskusten (HVK) yhteisesti rahoittamassa ja STM:n puolustusministeriöltä pyytämässä sekä Pääesikunnan Puolustusvoimien tutkimuslaitokselle määräämässä pipetinkärkien dekontaminaatiohankkeessa (PIDE) kehitettiin 10.5.–11.6.2021 puhdistusmenetelmä 1 millilitran ja 300 mikrolitran pipetinkärkien puhdistamiseksi. Hankkeen aikana toteutettiin pilotti laboratoriomittakaavan kemiallisen puhdistuksen toteuttamiseksi suuremmissa mittakaavassa.

PIDE-hankkeessa kehitettiin nopealla aikataululla teknisesti ja laadullisesti toimiva, edullinen, yksinkertainen ja turvallinen tapa pipetinkärkien puhdistamiseksi. Hanketta johti ja siitä vastasi PVTUTKL. Siihen osallistuivat lisäksi LUT, VTT, THL, LAB, Helsingin yliopisto (HY / kemian osasto ja HY / mikrobiologian osasto), Lääkealan turvallisuus- ja kehittämiskeskus Fimea, HVK, HUSLAB, TYKS Laboratoriotuotantoyksikkö (TYKS) ja FINAS-akkreditointipalvelu (FINAS). Sotilaslääketieteen keskus (SOTLTK) asetti hankkeen käyttöön mikrobiologian asiantuntijan.

PIDE-hankkeen aikana syntyi uutta, arvokasta osaamista ja tietoutta pipetinkärkien laboratoriomittakaavan kemiallisesta puhdistamisesta, puhdistettujen kärkien monipuolisesta laadunvarmistuksesta, pipetinkärkien turvallisuudesta keräämisestä sairaalalaboratorioista ja logistiikasta, pilottimittakaavan laitoksen rakentamisesta ja sen toiminnasta sekä eri tutkimusta tekevien tahojen, viranomaisten ja yritysten toteuttaman yhteishankkeen koordinoinnista. Puhdistaminen laboratoriomittakaavassa ja pilotissa toimivat. PIDE-hankkeessa käytiin läpi myös puhdistettujen pipetinkärkien käyttöönottoon liittyvä lainsäädäntö.

Paljon hyödynnettävää osaamista

HEDE- ja PIDE-hankkeissa oli monia samoja toteuttajia. Molempien hankkeiden verkoston luominen tapahtui nopeasti. Luomisessa käytettiin hyödyksi osallistuvien asiantuntijoiden omia asiantuntijaverkostoja. Lyhyessä ajassa oli koottu asiantuntijat, jotka sitten keskustelivat Teamsissa hankkeen toteutuksesta. Osaamisen tuli olla hyvää ja käytettävissä. Sitä tuli pystyä soveltamaan asiassa, jota ei ollut aikaisemmin tehty. Koska verkoston luominen onnistui suhteellisen helposti, muita kriisinhallinnan kehittämisen hankkeita silmällä pitäen voidaan päätellä, että Suomessa on monitieteistä, monialaista, hyödynnettävissä olevaa osaamista – se vain täytyy koota ja saada tavoittelemaan samaa tavoitetta. Tässä esiteltyjä hankkeita voidaan pitää vain esimerkkeinä siitä, mitä kotimaisella osaamisella voidaan toteuttaa.

Hallinnonalojen roolissa toivomisen varaa

Hallinnonalojen ja virastojen tuen saaminen ja osallistuminen vaikutti alkuun molemmissa hankkeissa vaikealta. Yhtälöstä ikään kuin puuttui jotakin. Alkutilanteessa oli tieto mahdollisesta kansallisesta kriisistä: hengityksensuojaimet tai pipetinkärjet loppuvat. Ratkaisun toisella puolella oli konsortio, joka oli esittänyt suunnitelman kriisin ratkaisemiseksi, ja toisella puolella – kirjoittajien tulkinnan mukaan – hallinto, jolla ei ollut menettelyjä kriisin hallintaan tutkimuksen ja kehittämisen avulla sekä niissä luodun operatiivisen osaamisen hyödyntämisen avulla. Kirjoittajien mielestä olisi luotava käytänteitä, keveämpää hallintoa sekä organisoitumis- ja johtamismalleja, joilla voitaisiin ketterästi vastata kansalliseen kriisiin monialaisen osaamisen kehittämisen avulla silloin, kun kriisin hallinta ei ole minkään yksittäisen viraston vastuualueella ja hoidettavissa.

HEDE-hankkeen suunnitelma valmistui 31.3.2020. Viikon ajan hankkeelle etsittiin tilaajaa/rahoittajaa siinä onnistumatta, kunnes Puolustusvoimain komentaja käski käynnistää hankkeen 6.4.2020. Sen jälkeen alkoi käytännön toteutus täydellä voimalla. Tiedon tasaamiseen ja suunnitelmien vahvistamiseen pidettiin lukuisia Teams-kokouksia. Puolustusvoimat tuki henkilö- ja materiaaliresurssein toiminnan aloittamista ja ylläpitoa. Konsortiossa tehtiin lyhyessä ajassa valtava työ, ja jo kymmenen päivää komentajan käskyn jälkeen koekäytössä oli sairaalalaitteista koottu pilottilaitos. Konsortion suunnitteluvoima ja osaaminen olivat johtaneet operatiiviseen hengityksensuojainten puhdistamisen aloittamiseen. Pakolliset hallinnolliset tehtävät kyettiin toteuttamaan riittävällä tasolla ja oikea-aikaisesti pitkälti Puolustusvoimien johdon sitoutumisen ja muodostetun organisaation valmiuksien ansiosta. Hankintatoimintaa ohjaa vahvasti myös kansallinen lainsäädäntö, mikä hidastaa kaupallisten asioiden hoitamista.

Kenen tehtävä?

Vaikka esiteltyt esimerkkihankkeet onnistuivatkin, voidaan sanoa, että Puolustusvoimien tehtäviin ei kuulu kansallisen kriisivalmiuden kehittäminen, kun kohteena ovat lääketieteelliset, sairaanhoidossa ja sairaalalaboratorioissa käytettävät laitteet ja välineet. Ne kuuluvat huoltovarmuuden näkökulmasta terveydenhuollon toimialalle. Puolustusvoimat vastaa kenttälääkinnän valmiussuunnittelusta.

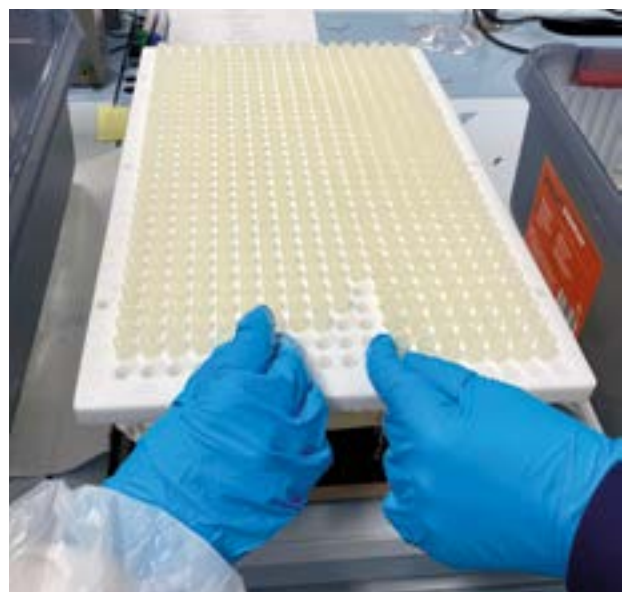
Kenen tehtävä on ideoida ja pyrkiä käynnistämään hankkeita, joilla kansallista kriisivalmiutta kehitetään? HEDE-hankkeen tapauksessa idea lähti yksittäisen kansalaisen huolesta ja päättyi laajamittaiseen toteutukseen. Käytännössä yliopiston työntekijä kaikkien hallinnonalojen ulkopuolelta perusti ja suunnitteli verkoston avulla hankkeen, johon osallistui muita kuin huolto- tai kriisivalmiuden kehittämisen

vastuullisia ja jossa päädyttiin puhdistamaan hengityksensuojaimia suuressa mittakaavassa sen varalta, että muuten ne loppuisivat. Tämä on poikkeuksellinen tapa toimia, ja sitä on vaikeata synkronoida hallinnonalojen normaaliin toimintaan. Kuinka asia pitää Suomessa jatkossa hoitaa?

Kenen tehtävänä on tunnistaa potentiaaliset kriisivalmiutta kehittävät asiat ja ottaa ne toteutukseen hankkeina? Valmiusorganisaatioilla on käytössään päivittyvä tilannekuva. Kriisitilanteessa arvioidaan myös riskit tilanteissa, joissa ei tehdä muuta kuin odotetaan tilanteen kehittymistä parempaan suuntaan tai tilatun toimituksen saapumista ulkomailta. Riskin voidaan myös arvioida olevan sietämätön, jolloin on alettava toimia kansallisin voimavaroin. Jos päädytään kotimaisen asiantuntijavoiman hyödyntämiseen jonkin esille tulleen ongelman ratkaisemiseksi, asian hoitamiseksi on luotava hallinnolliset menettelyt.

Osaamisen siirtäminen kansalliseksi huoltovarmuudeksi tärkeää

Monesti käy niin, että kun hanke on ohitse, siirrytään seuraavaan hankkeeseen. HEDE- ja PIDE-hankkeet liittyivät COVID-19-pandemian vakavien kansallisten seurausten hallintaan. On varmaa, että covid-eritysten lopulta tapahtuttua tulee seuraava pandemia – emme vain tiedä, milloin. Sen kuitenkin tiedämme, että HEDE- ja PIDE-hankkeisiin osallistuneet tahot eivät ole torjumassa seuraavan pandemian vaikutuksia – ei sen vuoksi, että uusi pandemia on mahdol-



Pipetinkärjet aseteltiin käsin pesualustalle, johon sopii kerrallaan 540 kärkeä. (Kuva: Markku Mesilaakso)

lisesti liian kaukana tulevaisuudessa, vaan sen vuoksi, että molemmat hankkeet olivat ”projekteja”, joilla on aina alku ja loppu. Osallistuneet ovat jo siirtyneet toteuttamaan seuraavia hankkeita.

Kuinka osaaminen ja hankkeen tulokset siirretään kansallisen huoltovarmuuden suorituskyvyksi? Mitä osaamista ja tuloksia siirtäminen koskee? Mikä on riittävän tärkeää? Milloin suorituskyky on luotava? Mikä on se taho, joka käsketään toimimaan ja jolle annetaan resurssit luoda itselleen tietty kriisivalmiuden suorituskyky ja ylläpitää sitä? Miten suorituskyvyn edellyttämä asiantuntijaverkosto pidetään yllä? Millaisia valmiussuunnitelmia ja sopimuksia verkoston nopea käyttöönotto edellyttää? Miten varmistetaan, että lainsäädäntö tai muu sääntely ei estä suorituskykyjen hyödyntämistä? Kysymyksiin vastaaminen lienee vastuussa olevien hallinnonalojen (ministeriöt) tehtävä. Konsortio, jolla on hallussaan tutkimus, kehittäminen sekä teknologinen ja muu osaaminen, voi tarvittaessa esittää käsityksensä tarkoituksenmukaisista toimenpiteistä.

PIDE-hankkeen aikana 9.6.2021 kaksi Ruotsin valtion eläinlääketieteellisen laitoksen (Statens Veterinärmedicinska Anstalt, SVA) asiantuntijaa kävi tutustumassa pilotin toteutukseen. SVA:lla on arviomme mukaan perusosaaminen, henkilöstö, analyysilaitteet, tilat ja pipetinkärkien omaa kulutusta niin paljon, että sen olisi mahdollista ottaa pipetinkärkien puhdistus osaksi omaa toimintaansa. Suomessa vastaava taho voisi olla Ruokavirasto, jolla myös on perus-



Hankkeen aikana käytetyt hengityksensuojaimet laitettiin sairaalossa keräysastioihin ja HEDE-puhdistuslaitokseen tullessaan astioissa tai niiden yhteydessä oli varoitus ”tartuntavaarallinen jäte”. (Kuva: Markku Mesilaakso)

osaaminen, henkilöstö, analyysilaitteet ja tilat sekä pipetinkärkien kulutusta.

Koordinointi avainasemassa

Edellä puhuttiin asiantuntijaverkostosta, johon toteutettavaksi määrättyssä hankkeessa liittyvät myös tilaaja, toimeksiantaja, rahoittaja ja luodun suorituskyvyn hyödyntäjä. Roolit voivat osittain sekoittua. Koordinointi onnistui, koska toteuttajaryhmä oli jo hitsautunut yhteen monissa Teams-kokouksissa. Merkittävä seikka koordinoinnin onnistumiseksi ja toimijoita yhdistävä asia oli tavoite: jos suojaimet loppuisivat Suomesta, olisi olemassa keino puhdistaa suojaimia uusiokäyttöön. Koordinaatiotyötä vahvisti myös Puolustusvoimien vahva sitoutuminen ja rooli käytännön toteutuksessa. Lisäksi onnistumista tuki koordinaattorin persoona ja asema: asiantuntijana hän yhdisti väsymättömästi ihmisiä ja asioita, vei asioita eteenpäin asiat edellä ilman hallintorakenteiden aiheuttamia rajoitteita eikä tinkinyt tavoitteista. Koordinaattori olikin käytännössä hankkeen johtaja.

Kirjoittajat:

Professori, Filosofian tohtori Markku Mesilaakso toimii osastonjohtajana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksella. Hän toimi HEDE-hankkeessa teknisenä johtajana ja PIDE-hankkeessa tieteellisenä johtajana.

Tekniikan tohtori Katri Laatikainen toimii akatemiaatutkijana Lappeenrannan-Lahden teknillisessä yliopistossa. Hän toimi HEDE- ja PIDE-hankkeissa PVTUTKL:n kutsumana koordinaattorina.

Insinöörieriverstiluutnantti Jouni Koivisto toimii tutkimusjohtajana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksella. Hän toimi HEDE-hankkeen hallinnollisena johtajana.

Autonomiset aseet ja etiikka

Sotilasetiikassa joudutaan tulevaisuudessa kiinnittämään entistä enemmän huomiota autonomisten aseiden jatkuvaan kehittymiseen ja yleistymiseen. Autonomisten aseiden etiikasta keskusteltaessa päähuomio kohdistuu yleensä laitteisiin. Ovatko ne autonomisia vai vain automaattisia? Tekevätkö ne päätöksiä? Saavatko ne tehdä päätöksiä? Vähemmälle huomiolle on jäänyt laitteita käyttävä ja niiden toimintaa valvova ihminen – sotilas. Meihin kohdistuvat eettiset kysymykset ovat tulevaisuudessa kuitenkin vähintään yhtä tärkeitä. Osaammeko enää nähdä laaja-alaisia moraalisia ja eettisiä syy- ja seuraussuhteita, vai hahmotammeko ne kuin kone: loogisesti ja tehokkaasti? Tuleeko meistä laiskoja ajattelijoita, jotka luottavat koneisiin ja antavat niiden päättää?

Tulevaisuuteen tähyttäessä on joskus syytä vilkaista myös taaksepäin. Autonomisten aseiden etiikan yhteydessä perustuspeiliin tuijottelussa päädytään vähintäänkin 1940-luvulle ja kirjailija Isaac Asimoviin, joka tuli novelleissaan keksineeksi robotiikan lait. Noista fiktiivisistä laeista ammentavat välillisesti myöhemmät elokuvateollisuuden tuotteet, kuten Terminator-saaga ja I, Robot. Jos tavallisella kadunkulkijalla on näkemys autonomisista aseista, se on melko suurella todennäköisyydellä peräisin noista leffoista. Käsite autonominen ase luo mielikuvan pahoista tappajaroboteista, moraalittomista kapistuksista, jotka vievät hyviltä ihmisiltä oikeuden päättää elämästä ja kuolemasta.

Käsitteet *hyvä ja paha* sekä *oikea ja väärä* ovat etiikan tutkimuskohteita. Teorioiden, käsitteiden ja niiden taustojen tutkimuksella pyritään selvittämään, miksi jokin asia on moraalisesti hyvä tai paha. Ilman teorioita ja käsitteitäkin meillä saattaa olla vahvoja näkemyksiä hyvästä ja pahasta sekä oikeasta ja väärästä. Näkemyksemme perustuvat koko elämäkokemukseemme, mukaan lukien esimerkiksi kodin, koulun, työelämän, ystäväpiirin – sekä viihdeteollisuuden – luoman kuvan siitä, mikä on oikein. Jokainen kadunkulkija voi ja saa käydä tuota ensimmäisen tason moraalidiskurssia, eli tehdä arkipäivän moraalipäätelmiä. Asevoimien on syytä ottaa tuo diskurssi tosissaan, sillä asevoimat ovat osa yhteiskuntaa ja sen palveluksessa. Jos jokin asia, vaikkapa autonomiset aseet, nähdään pahana tai epäilyttävänä, asevoimilla on velvollisuus perustella, miksi niitä pitäisi siitä huolimatta voida tutkia, valmistaa ja käyttää.

Perustelun tulee kiinnittyä toisen tason moraalidiskurssiin: tutkimukseen, käsitteenmäärittelyyn ja normatiivisen etiikan teorioihin. Ensimmäisenä pitää luonnollisesti määritellä tutkimuksen kohde. Ikävä kyllä vuodelta 2011 peräisin oleva Ison-Britannian puolustusministeriön raportti toteaa alis-

tuneesti, että on mahdotonta tuottaa autonomisista aseista sellaisia määritelmiä, jotka jokainen yhteisö voisi hyväksyä. Raportti on toistaiseksi ollut oikeassa.

Autonomia

Yleisimmin autonomisten – tai sellaisia piirteitä omaavien – sekä miehittämättömien aseiden määrittelyongelmaa lähestytään kysymyksellä siitä, kuka tekee päätöksen toiminnasta, esimerkiksi kohteen tuhoamisesta. Mikäli koneella on ehdotus siitä, miten kohteen suhteen toimitaan, mutta ihminen tekee päätöksen (human in the loop), voidaan joidenkin inklusiivisten tulkintojen mukaan jo puhua autonomisesta järjestelmästä. Eksklusiivisen tulkinnan mukaan näin ei vielä ole, vaan asejärjestelmästä tulee autonominen vasta, kun sen yksittäiset toimet eivät ole ennustettavissa vaan se tekee valintansa ja sitoutuu niihin ilman ihmisten valvontaa ja hallintaa (human out of loop). Tällöin myöskään järjestelmät, jotka itsenäisesti valitsevat kohteen ja sitoutuvat toimimaan sitä vastaan mutta vaativat kuitenkin ihmisen hyväksynnän toiminnalleen (human on the loop), eivät olisi varsinaisia autonomisia aseita. Edellä mainittua eksklusiivista tulkintaa



(Kuvat: pixabay.com, warontherocks.com, military.com.
Kuvanmuokkaus Pasi Väättäinen)

edustaa esimerkiksi Ison-Britannian puolustusministeriö, kun taas Yhdysvaltojen vastaava ministeriö määrittää aseiden autonomian lähinnä inklusiivisesti.

Määrittelyjen syvälinen ymmärtäminen vaatii teknisen osaamisen lisäksi filosofista osaamista, sillä niissä on lopulta kyse sanojen tulkinnasta. Ei ole lainkaan selvää, mitä esimerkiksi koneen sitoutuminen (engage) juridisessa ja eettisessä mielessä tarkoittaa. Tai milloin järjestelmä tavoittaa Ison-Britannian puolustusministeriön määritelmässä mainitun kyvyn ymmärtää korkeamman tason intentionaalisuutta ja suuntautuneisuutta (capable of understanding higher level intent and direction), ja miten ymmärtäminen pitäisi ymmärtää? Ovatko järjestelmät tulevaisuudessakin vain laitteita, jotka toimivat niihin välitettyjen parametrien mukaan, vai kykenevätkö ne tulevaisuudessa kehittymään moraaliseksi agentiksi eli moraalisesti vastuulliseksi toimijaksi, joka ymmärtää toimintansa vaikutukset ja seuraukset?

Jälkimmäinen vaihtoehto kertoisi etiikan kannalta jo lähes inhimillisen autonomian saavuttamisesta. Inhimillinen autonomia voidaan luokitella useilla tavoin, riippuen esimerkiksi yksilön toimintakyvystä, mutta etiikan näkökulmasta inhimillinen autonomia voidaan nähdä joko individualistisena tai relationalistisena. Individualistisen näkemyksen mukaan toimija on autonominen, jos hän tekee päätöksensä oman harkintansa sekä arvojensa ja uskomustensa perusteella. Relationalistinen näkemys taas sisällyttää autonomiseen päätöksentekoon edellä mainittujen lisäksi yhteisölliset normit ja arvot. Lienee selvää, että kone ei tällä hetkellä kykene saavuttamaan kumpaakaan autonomian tasoa. Se kykenee hahmottamaan vain sen tiedon, joka siihen on välitetty, ja toimimaan sen pohjalta. Pohdittavaksi jää, onko pelkkään tietoon perustuva päätöksenteko sitten jopa parempi vaihtoehto kuin päätöksenteko, joka huomioi myös tilannekohtaisen harkinnan, arvot ja uskomukset.

Sodan etiikka

Kansainvälinen humanitäärinen oikeus (IHL) määrittää sodankäynnin lait (LOAC). Molemmilla on vaikutteita oikeutetun sodan teoriasta (JWT). Kaikki edellä mainitut perustuvat tausta-ajatukseseen, että sotaa käyvät yksilöt ovat moraalisesti vastuullisia toimijoita, jotka kykenevät toteuttamaan aseellisissa konflikteissa suhteellisuuden, erottelun, inhimillisyyden ja sotilaallisen välttämättömyyden periaatteita. Toisin sanoen sotaa käyvän yksilön tulee kyetä erottamaan taistelijat ja sivulliset. Kaikkien voimakeinojen tulee myös olla oikeassa suhteessa saavutettavissa olevaan sotilaalliseen tavoitteeseen. Vaaditaan tietoon pohjautuvaa harkintaa.

Mikäli autonomiset aseet kyetään ohjelmoimaan noudattamaan noita sääntöjä ja tekemään päätöksiä niiden pohjalta,

on vaikea löytää juridisia tai sodan etiikkaan liittyviä periaatteita, jotka estäisivät niiden käytön. Itse asiassa jos koneet saataisiin ohjelmoitua seuraamaan oikeutetun sodan teoriaa ja noudattamaan kaikissa valinnoissaan kansainvälisestä humanitaarisesta oikeudesta johdettuja sodankäynnin sääntöjä yhdistettyinä tilanteen vaatimiin voimankäytön sääntöihin (ROE), on täysin mahdollista, että kone olisi toiminnassaan humaanimpi kuin ihminen. Kone ei kärsi, ei väsy eikä tunne vihaa, surua tahi kostonhimoa. Se ei puolusta länsimaista demokratiaa, ei taistele diktaattorin kunnian vuoksi eikä kamppaile kodin, uskonnon tai isänmaan puolesta. Se vain hoitaa hommansa ilman oletuksia, ja muun ajan se on kuin – kasa metallia ja puolijohteita.

Mikäli taas on todennäköistä, että tulevaisuudessakaan autonomisia aseita ei kyetä ohjelmoimaan niin tarkasti, että ne pystyisivät esimerkiksi tunnistamaan antautuvan tai haavoittuneen sotilaan, täysin autonomisia aseita (human out of the loop) ei tulisi kehittää – ne pitäisi kieltää. Ongelmana on, että emme tiedä, onko täydellinen, juridisesti ja eettisesti toimiva, autonominen asejärjestelmä tulevaisuudessa mahdollinen. Järjestelmien, jotka voisivat taata inhimillisten virheiden ja ennustamattomuuden poistumisen taistelukuultäältä, kieltäminen varmuuden vuoksi – ennen kuin sellaisia on edes olemassa – on joidenkin tutkijoiden ja valtiollisten toimijoiden mielestä tarpeetonta. Onkin todennäköistä, että kieltoa tai rajoituksia ei saada syntymään. Lienee siis syytä varautua.

Taisteluparina kone

Vanhastaan on todettu, että sotilaiden taistelumotivaatio syntyy oman joukon, taistelutoverien, puolustamisesta. Soldiers fight for their buddies. Vaikka motivaatioteorijoita on todellisuudessa tunnistettu huomattavasti enemmän ja ne ovat varsin monisyisiä, on syytä pohtia, millainen vaikutus koneen ilmestymisellä taistelupariksi on motivaatioon ja toimintaan. Tutkimusten ja kokemusten mukaan yllättävän vähäinen. Koneisiin, sikäli kuin ne voi paikallistaa fyysisiksi laitteiksi, luotetaan, ja niitä inhimillistetään. Väitteiden mukaan Roboille on jo jaettu kunniamerkkejä, tuhoutuneille on pidetty muistohetkiä ja niitä on otettu mukaan yksiköiden juhliin.

Sinällään inhimillistämisen ymmärtää, eikä sitä lähtökohtaisesti voi pitää kovin vaarallisena. Oletettavaa on, että meidän enenevässä määrin ihmisiä korvataan tulevaisuudessa esimerkiksi vaativissa ja vaarallisissa tiedustelu- ja raivaustehtävissä. On ajateltavissa, että on jopa hyvä, että miinakentällä rullaavan Robon puolesta ollaan huolissaan muutenkin kuin taloudellisesti-teknisessä mielessä. Pieni inhimillistämisen pitää loitolla ajatuksen pelistä, jossa voi aina ottaa käyttööseen uuden laitteen (elämän), jos vanha tuhoutuu (kuolee). Samalla logiikalla on myös merkitystä silloin, jos käyttöön ote-

taan tappavia autonomisia asejärjestelmiä. Muiden eettisten haasteiden lisäksi kyseisten järjestelmien on epäilty alentavan voimankäytön kynnystä, koska niiden käyttö ei aseta omia sotilaita vaaraan ja ne ovat aina korvattavissa.

Varauduttava on myös siihen, että mahdollinen vastustaja ajattelee juuri edellä mainitulla tavalla – helppoa ja huoletonna – ja käyttää autonomisia tai niihin verrattavissa olevia aseita rutiininomaisesti meitä vastaan. Tällöin ainoa vaihtoehto on suhtautua koneisiin täysin tunteettomasti ja teknisesti – ja tuhota ne. Koneiden ja niiden liikkeelle lähettäjien logiikka on syytä tuntea, eikä etiikkakaan tuntemisesta ole haittaa. Ei pidä kuitenkaan luottaa siihen, että kumpienkaan logiikka saatikka etiikka olisi sama kuin meidän.

Massachusetts Institute of Technology (MIT) on toteuttanut Moraalinen kone -kokeen, jossa ihmisiä ympäri maailmaa on internetin välityksellä pyydetty ratkaisemaan Philippa Footin kuuluisasta The Trolley Problemista johdettuja eettisiä ongelmia. MIT:n kokeessa pitää päättää, mikä olisi oikea ratkaisu tilanteessa, jossa autonomisesti ohjautuva auto saa äkillisen jarruvian. Jarruvian seurauksena joko matkustajia tai jalankulkijoita tulee kuolemaan. Vastaaja voi leikkiä jumalaa ja päättää, onko lapsen, lääkärin, juristin, raskaana olevan naisen, kolmen lapsen isän, lihavan miehen, koiran, kodittoman tai vaikkapa rikollisen elämä arvokkaampi kuin toisen. Tavoitteena oli löytää niitä näkemyksiä, joiden mu-

kaan koneiden tulisi käyttäytyä. Yhtenäistä näkemystä ei löydetty. Kokeessa on annettu yli 40 miljoonaa vastausta, ja ne ovat tulleet eri-ikäisiltä, eri sukupuolta olevilta, eri koulutustaustoja ja eri uskontoja edustavilta ihmisiltä ympäri maailman. Haaviin on jäänyt erilaisia käsityksiä eri kulttuuripiireistä mutta ei yhtenäistä linjaa.

Koetta on kiitelty mielenkiintoiseksi, mutta sitä on myös arvosteltu. Arvostelu kohdistuu ajatukseen, että selvittämällä yleisen mielipiteen voisi löytää keinon ohjelmoida kone eettiseksi. Arvostelijoiden mukaan tämä on äärimmäisen tyypistetty näkemys eettisten ongelmien ratkaisun kompleksisuudesta erityisesti silloin, kun koneen logiikka ja inhimillinen todellisuus kohtaavat. Etiikka ei voi olla ennalta päätettyä kustannuslaskentaa ja optimointia. Etiikan ulottuvuus on paljon laajempi, ja siksi sen kehityksessä esitettyihin kysymyksiin ei aina ole oikeaa tai hyvää vastausta. Sotilasetiikan käyttämissä teorioissa ja sovelluksissa nuo kysymykset nousevat toimintaympäristöstä, joka on muuttuva, monitahoinen, harvoin vain operaatioympäristöön rajattu ja aina haastava.

Osa autonomisten aseiden etiikkaa tutkivista onkin suunnannut tarkastelun koneista takaisin ihmisiin. Kone voi kyllä päättää ja toimia siihen välitettyjen parametrien mukaan, mutta moraalisesti vastuullista siitä ei ainakaan lähitulevaisuudessa tule. Vastuullinen on aina ihminen. Tästä huolimatta luotamme koneisiin varsin sokeasti. On esimer-



(Kuvat: pixabay.com, maxpixel.net ja en.wikipedia.org. Kuvanmuokkaus Pasi Väätäinen)

kiksi huomattu, että algoritmien antamia suosituksia noudatetaan niitä juurikaan kyseenalaistamatta. Oli kyse sitten luottamuksesta tai laiskuudesta, tutkijoiden mukaan olisi palautettava terve epäily koneen ratkaisuja kohtaan. Koneen tarjotessa ratkaisua tai pyytäessä lupaa toteuttaa se vaihtoehtona olisi tutkijoiden mukaan oltava ”anna lisää tietoa” -näppäin. Ihmisen pitäisi tietää, mihin kone ratkaisunsa perustaa.

Pelkkä tieto ei kuitenkaan tässäkään riitä, vaan tarvitaan inhimillistä harkintaa. Harkintaa, joka ei synny tyhjästä vaan vaatii harjoitusta. Harjoituksella voidaan saada aikaan eettinen lihasmuisti. Tuota lihasmuistia on tulevaisuuden digitaalisessa toimintaympäristössä toimivan sotilaan uskallettava ja osattava harjoittaa ja käyttää. Hän tulee toimimaan ympäristössä, jossa osa järjestelmistä tarjoaa valmiiksi laskettuja optimaalisia vaihtoehtoja – laskettuja mutta ei ajateltuja. Sotilaan tehtävänä on nähdä tuo ajattelun vaiva.

Kirjoittaja:

Kenttärovasti, sotatieteiden tohtori Janne Aalto toimii tutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen toimintakykyosastossa.

Kognitiivinen sodankäynti

– tulevaisuuden sodankäyntiä

Termi ”kognitiivinen” viittaa ihmisen (ja/tai koneiden) älyllisiin toimintoihin ja prosesseihin (kuten ajatteluun ja päätöksentekoon) liittyviin ilmiöihin. Sodankäynnin teknologisoitumisen ja teknologian kehityksen myötä sodankäynnin operaatiotempo on nopeutunut. Tämä asettaa sekä ihmisen tiedonkäsittelylle ja päätöksenteolle että älykkäiden koneiden suunnittelulle yhä suurempia haasteita. Muun muassa edellä mainituista syistä ihmismielen toiminnan ymmärtäminen, heikkouksien ja vahvuuksien kartoittaminen sekä teknologian hyväksikäyttö on saanut yhä enemmän huomiota siviilitutkimuksen lisäksi eri maiden puolustusvoimissa. Kognitiivisten toimintojen ymmärtäminen on yksi tulevaisuuden sodankäyntiin liittyvistä keskeisistä haasteista. On jopa väitetty, että tulevaisuuden taistelut ovat yhä enemmän taistelua ihmisen mielestä.

Tehostetaan omaa ja heikennetään vastustajan toimintaa

Kognitiolla tarkoitetaan älyllisiä ja psykologisia toimintoja, joiden avulla ihminen käsittelee tietoa ja ympäristöään. Keskeiset toiminnot liittyvät kohteiden havaitsemiseen ja tunnistamiseen (esim. kyky tunnistaa värejä, muotoja, esineitä ja kasvoja), kykyyn tuottaa ja ymmärtää luettua tai puhuttua kieltä, ajattelu-, päättely- ja ongelmanratkaisukykyyn sekä

muistamiseen ja oppimiseen. Kognitiiviset prosessit ovat yhteydessä ja vaikuttavat muun muassa toiminnan ohjaukseen, tunne-elämään, asenteisiin ja motivaatioon esimerkiksi havaintojemme, tilanteen tulkinnan ja tekemiemme johtopäätösten kautta. Näin ollen vaikuttamalla ihmisen kognitiivisiin toimintoihin voidaan pyrkiä vaikuttamaan myös hänen käyttäytymiseensä.

Kognitiivinen sodankäynti voidaan käsitellä laajasti ottaen toiminnaksi, jossa kognitiivisiin toimintoihin ja prosesseihin liittyviä ilmiöitä hyödynnetään sodankäynnissä omaa toimintaa tehostaen ja/tai vastustajan toimintaa heikentäen. Sodankäynti on tässä yhteydessä ymmärrettävä laajasti käsitäen aseellisen toiminnan lisäksi eri tason konfliktit ja jopa erilaiset vaikuttamispyrkimykset myös normaalioloiksi luokiteltavissa olosuhteissa.

Kognitiivisen sodankäynnin mukaan ihminen voidaan käsitellä taisteluketän yhdeksi domainiksi ja kognitio keskeiseksi eri domaineja läpileikkaavaksi ulottuvuudeksi. Kuten kuvassa 1 havainnollistetaan, kognitiivinen sodankäynti voidaan käsitellä sodankäynnin maa-, meri-, ilma-, kyber- ja avaruusulottuvuuksia poikkileikkaavaksi tasoksi, joka koskettaa sotilaallisen maanpuolustuksen lisäksi käytännössä lähes kaikkia modernin yhteiskunnan toimijoita (puolustusvoimia, siviiliorganisaatioita, yksilöitä ja ryhmiä).



Kuva 1. Sodankäynnin ulottuvuudet. (Grafiikka: Johanna Suominen, kuvat: Puolustusvoimat ja Unsplash)

Näkökulmia kognitiiviseen sodankäyntiin

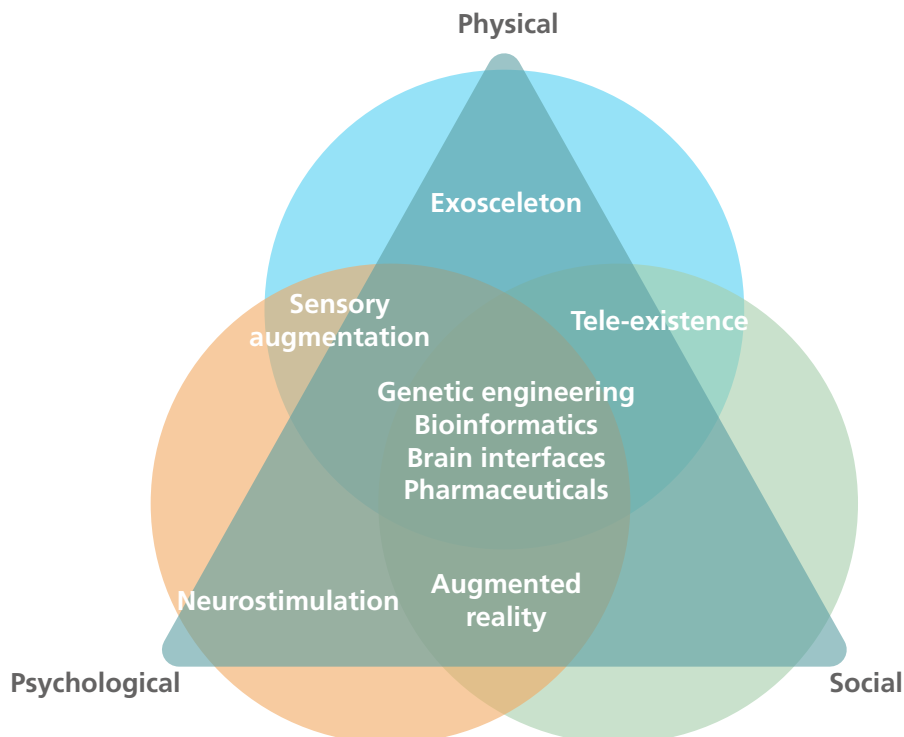
Laajasti luokiteltuna kognitiivista sodankäyntiä voidaan jaotella informaation hallinnan ja informaatiovaikuttamisen, kognitiivisen toimintakyvyn tehostamisen ja heikentämisen sekä älykkäiden koneiden ja koneen ja ihmisen vuorovaikutuksen näkökulmasta.

Ihmisten kognitiivisissa ominaisuuksissa on sekä toiminnallisia että rakenteellisia rajoituksia, joihin on kehittynyt tehokkaita mukautumiskeinoja, kuten valikoiva tarkkaavaisuus. Näiden mukautumiskeinojen tarkoituksena on ollut tehostaa tiedonkäsittelyämme, mutta toisaalta ihminen on niiden takia myös altis muun muassa kognitiivisten vinoumien hyväksikäyttöyrityksille. Kognitiivinen vinouma on psykologinen käsite, jolla tarkoitetaan ihmisten taipumusta hahmottaa ja painottaa havaintojaan, tulkintojaan ja informaatiota virheellisellä tavalla. Ihmisillä on esimerkiksi taipumus etsiä ja havaita vain omia ennakkokäsityksiään tukevaa informaatiota ja omaksua uskomuksia, jos niitä kannattaa useita muita henkilöitä.

Kognitiivisen toimintakyvyn tehostamisella pyritään parantamaan taistelijan tai joukon luontaista kognitiivista suorituskykyä tai ylittämään luonnollisten kykyjen rajat

käyttämällä esimerkiksi augmentaatio-, bio- ja tekoälyteknologioita. Toimintakyvyn tehostamisen teknologiat ovat luonnollisesti alttiita erilaisille vaikuttamispyrkimyksille (hakkeroinnille, häirinnälle jne.). Tehostamisen tarkoituksena voi olla muun muassa palauttaa, täydentää tai korvata ihmisen kykyjä. Ihmisen kognitiivista palautumista kuorimittavista tilanteista ja oppimista voidaan tukea esimerkiksi ns. älylääkkeiden (smart drugs) tai neurostimulaation avulla. Havainnointia ja päätöksentekoa voidaan tehostaa esimerkiksi erilaisilla lisätyn todellisuuden ja päätöksenteon tukijärjestelmien avulla. Ihmiseltä luonnostaan puuttuvia kykyjä, kuten magneettikentän havainnointia tai pimeänäkökykyä, voidaan tuottaa implanttien avulla. Kuvassa 2 havainnollistetaan eri tehostamismenetelmiä.

Tekoälyn ja autonomisia piirteitä omaavien järjestelmien kehityksen myötä kognitioon liittyvät käsitteet ja ilmiöt ovat tulleet keskeisiksi myös järjestelmien ja ihminen-konevuorovaikutusteknologioiden suunnittelussa. Tutkimuksia ja käsityksiä ihmisen kognitiivisista prosesseista on hyödynnetty muun muassa koneen päätelyketjun ohjelmoinnissa (sensorihavainnoista tiedon prosessointiin, analyysiin, johtopäätöksiin ja toimintoihin). On myös huomattava, että koneen kognition ei välttämättä tarvitse noudattaa ihmisen logiikkaa tai kognitiivisten kykyjen rajoituksia. Yhtä



Kuva 2. Kognitiivisen toiminnan tehostaminen. (Grafiikka: Johanna Suominen, lähde: <https://www.gov.uk/government/publications/human-augmentation-the-dawn-of-a-new-paradigm>)

kaikki, vuorovaikutussuunnittelussa pyritään huomioimaan ihmisen ja koneen kognition heikkoudet ja vahvuudet sekä saavuttamaan suhteellinen etu taistelukentällä muun muassa nopeuttamalla havainnointi–tilanteenarviointi–päätös–toiminta–päätelyketjua (ns. OODA-looppia).

Kognitiivisen sodankäynnin tutkimus on ajankohtaista

Ihmisen kognitiivisia toimintoja ja prosesseja on tutkittu melko paljon erityisesti kognitiivisen psykologian, kognitiotieteiden ja neurotieteiden aloilla. Tutkimusta on hyödynnetty muun muassa koulutuksessa, työn organisoimisessa, käyttäjakeskeisessä järjestelmien suunnittelussa sekä kognitiivisten teknologioiden (mm. tekoäly, koneoppiminen, robotiikka) soveltamisessa. Kognitiivisen sodankäynnin käsitteen alla tehtävä tutkimus on kuitenkin vielä melko uutta ja jäsentymätöntä. Ilmiö on tunnistettu muun muassa Naton tiedeorganisaation (NATO STO) piirissä merkittäväksi lähitulevaisuuden tutkimusalueeksi, josta halutaan lisätietoa. Naton kognitiivisen sodankäynnin innovaatiohubin (ks. <https://www.innovationhub-act.org/cognitive-warfare>) alustava tutkimus on tuottanut perustietoa aiheesta ja siihen liittyvistä haasteista. Innovaatiohubin tutkimusraportissa käsitellään muun muassa ihmisen ja aivojen keskeistä merkitystä kognitiivisessa sodankäynnissä, neurotieteiden ja -teknologioiden mahdollisuuksia sekä Venäjän ja Kiinan kognitiivisen sodankäynnin doktriineja.

Hubin työtä on esitelty myös Naton NATO STO:n Human Factors & Medicine -paneelin piirissä. Sen kahdessa paneelokokouksessa vuonna 2021 on aloitettu ilmiötä ja tutkimuskenttää kartoittava työ järjestämällä keskustelutyöpajoja. Keskustelujen pohjalta paneelissa on todettu aihepiiriin liittyvän monia ilmiöitä ja haasteita (esim. tiedon prosessointi ja ajattelu, tunteet, ihminen-konevuorovaikutus, lait ja etiikka), joiden ymmärtämisessä ja ratkaisemisessa käyttäytymistieteillä voi olla merkittävä rooli. Keskustelujen perusteella on kuitenkin todettu myös, että sekä kognitiivisen sodankäynnin osatekijöistä että käyttäytymistieteiden soveltamisesta tarvitaan vielä lisää tietoa ja tutkimusta. Kognitiivisen sodankäynnin vastatoimista järjestettiin Nato-innovaatiohaaste syksyllä 2021 (ks. <https://www.innovationhub-act.org/nato-innovation-challenge>), ja kevääksi 2023 on suunnitteilla aihealuetta käsittelevä symposiumi. Innovaatiohaasteen tavoitteena on kartoittaa kognitiiviseen domainiin kohdistuvien hyökkäysten tunnistamiseen, arviointiin ja suojautumiseen soveltuvia menetelmiä ja toimenpiteitä.

Kognitiiviseen sodankäyntiin liittyvä tutkimus on erittäin ajankohtaista ja tuottaa potentiaalisesti merkittäviä, uusia, innovatiivisia tutkimus- ja sovellusaloitteita myös Naton tiedeorganisaation yhteistyökumppaneille, kuten Suomen puolustusvoimille.

Kirjoittaja:

Filosofian tohtori Kari Kallinen toimii erikoistutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen toimintakykyosastossa ihmisen suorituskyky sotilasympäristössä -tutkimusalalla.



Puolustusvoimien logistiikkalaitos

Puolustusvoimien materiaaliprojektien tuloksekaan johtamisen edellytykset – projektit suorituskyvyn kehittämisen ytimessä

Puolustusvoimien materiaalihankinnoista merkittävimmät toteutetaan materiaaliprojektien kautta Logistiikkalaitokseen kuuluvan Järjestelmäkeskuksen alaisuudessa. Näihin lukeutuvat useimmat puolustusjärjestelmähankinnat. Aalto-yliopiston tuotantotalouden laitoksen projektiliiketoiminnan tutkimusryhmässä toteutettu diplomityö selvittää kirjallisuuden ja empiiristen havaintojen valossa, kuinka materiaaliprojektien johtamista voitaisiin kehittää edistymisen seurannan menetelmien ja mittareiden näkökulmista.

Tutkimuskohteina neljä projektia

Diplomityönä toteutettu tutkimus pyrki vastaamaan kysymykseen: *Kuinka monimutkaisia puolustusjärjestelmäprojekteja voidaan johtaa tulokseksaasti?* Tutkimus tarkasteli neljää Järjestelmäkeskuksessa 2000-luvun aikana johdettua puolustusjärjestelmäprojektia, pseudonyymeiltään *CommsRelay*, *MilConnect*, *FirePlatform* ja *ArmedVehicle*. Projektit *CommsRelay* ja *MilConnect* olivat monimutkaisia ICT-projekteja, ja projekteissa *FirePlatform* ja *ArmedVehicle* puolestaan hankittiin asejärjestelmä tukijärjestelmien. Empiirinen havaintoaineisto kattoi yksilö- ja ryhmähaastatteluja yhteensä 21 projektipäällikön ja muun Puolustusvoimien työntekijän sekä toimittajan edustajan kanssa. Johtamismenetelmiin keskittyvän empiirisen osion lisäksi tutkimus tarkasteli akateemista ja toimialakirjallisuutta projektien edistymisen mittareista.

Neljistä materiaaliprojektista kerätyt havainnot toivat selvästi esille, ettei Järjestelmäkeskuksessa toimiva projektipäällikkö ainoastaan johda projektiaan. Tulokseksaan ja tehokkaan hankinnan toteutumiseksi keskeisiä ovat vuorovaikutustilanteet, joita esiintyy projektin jokaisessa organisatorisessa yhtymäkohdassa. Lisäksi materiaaliprojektien edistymisen seuranta ulottuu paljon määrämuotoisen taulukkolaskentaraportoinnin ulkopuolelle: materiaaliprojektit ja niiden seuranta ovat olennaisesti linkittyneitä loppukäyttäjään puolustushaarojen sisällä, ja sotaharjoituksilla on paikkansa osoittamassa hankintaprojektin edistyminen käytännön tasolla.

Materiaaliprojekteissa projektioorganisaation tehtävänä on toteuttaa projektin tavoitteet vastatakseen projektin omistajaorganisaation, Järjestelmäkeskuksen, projektin loppu-

tuotteelle asettamiin teknisiin vaatimuksiin. Tekniset vaatimukset puolestaan vastaavat hankittavan tai kehitettävän materiaalin loppukäyttäjän, kuten puolustushaarojen, suorituskykyvaatimuksiin. Tämän jatkumon tuloksekas johtaminen ja projektin tilannekuvan seuraaminen vaativat projektioorganisaatiolta ja projektipäälliköltä materiaaliprojektien ominaispiirteet huomioivien projektinhallinnan mallien noudattamista. Tutkimus tiivistää malleista tärkeimmät kymmeneksi tulokseksaan johtamisen edellytykseksi, jotka on kuvailtu seuraavassa.

Edellytys 1: Projektioorganisaation toimiva rakenne ja dynaamisuus

Projektioorganisaation ydin kokoa yhteen projektiin sitoutuneet avainhenkilöt, ja tätä kokoonpanoa on päivitettävä projektin tarpeiden mukaan. Projektioorganisaatiolla on oltava tieto projektin tilanteesta kaikista olennaisista näkökulmista, ja tätä tietoa tulee jakaa aktiivisesti projektioorganisaation sisällä. Projektipäällikön pätevydestä riippumatta projektin toteuttaminen ei ole tehokasta, jos organisaatio ei ole tiedollisesti synkronoitu monimutkaisen projektin joka taholla. Empiirisissä havainnoissa painottuikin kommunikaation ja yhteistyön merkitys projektioorganisaatioon kuuluvien yksittäisten henkilöiden välillä. Tutkituissa projekteissa projektipäälliköt olivat usein mukana projektin päivittäisessä tekemisessä ja tiedottivat avainhenkilöille esimerkiksi puhelimen välityksellä.

Edellytykset 2 ja 3: Luontainen vuorovaikutus kotiorganisaation ja ulkoisten sidosryhmien kanssa

Vuorovaikutus projektioorganisaation ja siihen kytkeytyvien sidosryhmien välillä ei perustu ainoastaan säännöllisiin, ennalta sovittuihin tilaisuuksiin, kuten kokouksiin. Niiden lisäksi projektipäällikkö jakaa ja hankkii projektiin liittyvää tietoa projektioorganisaation ytimen ulkopuolelle ja sieltä projektioorganisaatioon matalalla kynnyksellä tarpeen mukaan. Tutkituissa projekteissa esimerkiksi projekti- ja hankepäällikkö olivat usein tiiviissä, jopa päivittäisessä yhteistyössä. Tarvittaessa projektiin voitiin hankkia tukea esimerkiksi kaupalliselta osastolta. Toisaalta projekteissa korostui myös sujuvan, epämuodollisenkin tiedonvaihdon tärkeä merkitys ulkoisten toimittajien kanssa.

Edellytykset 4 ja 5: Aikataulutettu vuorovaikutus kotiorganisaation ja ulkoisten sidosryhmien kanssa

Projektipäällikkö on toistuvassa aikataulutetussa, ennalta sovitussa vuorovaikutuksessa projektin sidosryhmien kanssa tiedon hankkimiseksi ja jakamiseksi. Tarpeen mukaan syntyvien vuorovaikutustilanteiden ohella myös aikataulutetuilla ja määrämuotoisilla tilaisuuksilla, kuten projekti- ja hankekokouksilla, on paikkansa. Ne varmistavat organisaation normien mukaisesti, että olennainen tieto projektin tilanteesta välittyy kaikille tarvittaville tahoille. Tutkituissa projekteissa määrämuotoisten kokousten muistioilla ja muulla dokumentaatiolla oli tärkeä asema uusien henkilöiden perehdyttämisessä projektiin.

Edellytys 6: Usean eteenpäin katsovan näkymän ylläpitäminen

Sen lisäksi, että projektipäällikkö on tietoinen projektin lyhyen aikavälin tavoitteista, hänen tulee ymmärtää projektin pitkän aikavälin merkitys ja tulevien epävarmuustekijöiden vaikutukset projektin johtamisen tarpeisiin. Tutkituissa projekteissa projektipäälliköt pyrkivät etukäteen varmistamaan projektin resursoinnin tuleviksi budjettikausiksi, ylläpitivät varasuunnitelmia korkean tason linjausten muuttumisen varalta ja huolehtivat kauaskantoisten suunnitelmien tekemisestä järjestelmän koko elinkaaren yli jo hankintavaiheessa.

Edellytys 7: Määrämuotoinen seuranta ja raportointi

Projektiin liittyvä ennalta määrättyjä, tilannetta kuvaavia mittareita, joita projektipäällikkö seuraa. Mittareiden lukemat raportoidaan eteenpäin määrämuotoisesti. Näihin mittareihin lukeutuivat tutkituissa projekteissa monet budjettiin, aikataulutukseen ja projektin riskeihin liittyvät mittarit. Tutkimus esittää lisäksi uusia mittareita, joita voitaisiin ottaa käyttöön jo nykyisillä johtamis- ja tiedonkeruumenetelmillä. Erityisesti olemassa olevien indikaattoreiden muutokset voisivat toimia portfoliotasolla aikaisina varoitussignaaleina, jos esimerkiksi projektin kestoarvio ja tunnistettujen riskien todennäköisyydet päättyisivät kasvusuuntaisiksi.

Edellytys 8: Projektikohtaisten ulottuvuuksien tunnistaminen ja seuranta

Puolustusvoimien materiaaliprojektit ovat keskenään hyvin erilaisia paitsi hankittavien materiaalien myös muun muassa sopimussuhteidensa, yhteydenpitokynnyksensä ja hankintastrategioidensa osalta. Tähän diversiteettiin vaikuttaa ulkoisten toimittajien laaja kirjo kaupallisista toimijoista aina ulkomaisiin julkisyhteisöihin. Ketterää ohjelmistokehitystyötä sisältänyt CommsRelay-projekti vaati edistymisen ja toteutuneen tuloksen ilmaisemiseen erilaisia mittareita



Matalalla kynnyksellä tapahtuva vuorovaikutus ja tiedonjako ovat tärkeä osa monimutkaisten puolustusjärjestelmäprojektien johtamista. (Kuva: Alexandra Hauhia)

kuin projektit FirePlatform ja ArmedVehicle, jotka keskittyivät fyysisten asejärjestelmien, ajoneuvojen ja varusteiden ympärille. Määrämuotoisen seurannan lisäksi voidaan raportoida projektipäällikön ylläpitämän, projektin tarpeisiin räätälöidyn seurannan pohjalta muodostunut tilannekuva, joka osaltaan voi myös auttaa määrämuotoisten raporttien muodostamisessa. Tyypillisiä projektikohtaisia mittareita olivat vastaanotettujen tai valmiiksi saatettujen fyysisten lopputuotteiden lukumäärät ja ulkoisten henkilöstöresurssien käyttöasteet.

Materiaaliprojekteilte ominaista on teknisten vaatimusten ja suorituskykyvaatimusten täyttymisen todentaminen käytännön kokeilla. Tärkeä osa sekä fyysisten tuotteiden että ohjelmistokokonaisuuksien kehitystä on yksittäisten toiminnallisuuksien testaaminen eristetyissä testausympäristöissä. Projektien lopputuotteita arvioidaan lisäksi kenttäkokeilla sekä laajan yhteistoiminnallisuuden ja saavutetun suorituskyvyn näkökulmasta sotaharjoituksissa. Käytännön koestustapahtumat ja harjoitukset toimivatkin projektin lopputuotteen kehityksen edistymisen yksinkertaisina mittareina.

Edellytys 9: Materiaalien koestustapahtumat

Projektissa hankittavat ja kehitetyt materiaalit arvioidaan käytännön kokeissa, joissa niitä käytetään tavoiteltujen ominaisuuksien, kuten teknisten ominaisuuksien, tilan toteamiseksi. Kokeet voivat olla kiinteä osa projektin lopputuotteen kehitystyötä etenkin, jos tuotetta kehitetään iteratiivisesti.

Edellytys 10: Sotaharjoitukset

Materiaaleja arvioidaan erityisissä sotaharjoituksissa, joissa niitä käytetään tarkoitettuja operatiivisia käyttöolosuhteita muistuttavassa ympäristössä. Materiaaleista tehdyt havainnot paljastavat tavoiteltujen, ennalta asetettuja suorituskykyvaatimuksia vastaavien toiminnallisuuksien tilan. Merkittävät sotaharjoitukset ja niitä varten vaadittavat lopputuotteen ominaisuudet voivat jo itsessään muodostaa virstanpylväitä projektin aikajanelle.

Tutkimuksen tulokset hyötykäyttöön

Tutkimus esittää, että projekteista tunnistetut johtamismenetelmät ja niistä kehitetyt tuloksetkaan johtamisen edellytykset tulisi ottaa huomioon tulevien projektien toteutuksen suunnittelussa ja projektiohjeistusten laadinnassa. Projekteista tehtyjen havaintojen perusteella Puolustusvoimien materiaaliprojektien edistymisen seuranta olisi myös mahdollista täydentää joillakin kirjallisuudessa esitetyillä menetelmillä tai projektityyppikohtaisilla mittareilla. Esimerkkinä lupaavasta menetelmästä tutkimus esittää tuloksen arvo -menetelmän (engl. Earned Value Management), jota käytetään laajalti projektin ylätasen edistymisen seurantaan niin siviilimaailman projekteissa kuin ulkomaisissa puolustusorganisaatioissa. Materiaaliprojektien harkittu jako projektityyppeihin – kuten ohjelmistokehitysprojekteihin, rakennusprojekteihin, innovaatioprojekteihin ja niin edelleen – puolestaan mahdollistaisi yksittäisten, kohdennettujen mittarien kehittämisen tukeutuen kunkin tyyppin kohdalla olennaiseen toimialakirjallisuuteen ja -tutkimukseen.

Kirjoittaja:

Diplomi-insinööri, valtiotieteiden kandidaatti Santeri Kivinen valmistui heinäkuussa 2021 diplomi-insinööriksi Aalto-yliopistosta tuotantotalouden koulutusohjelmasta.

Sukellusturvallisuutta ja vedenalaista toimintakykyä arktisissa olosuhteissa kehitetään Puolustusvoimissa

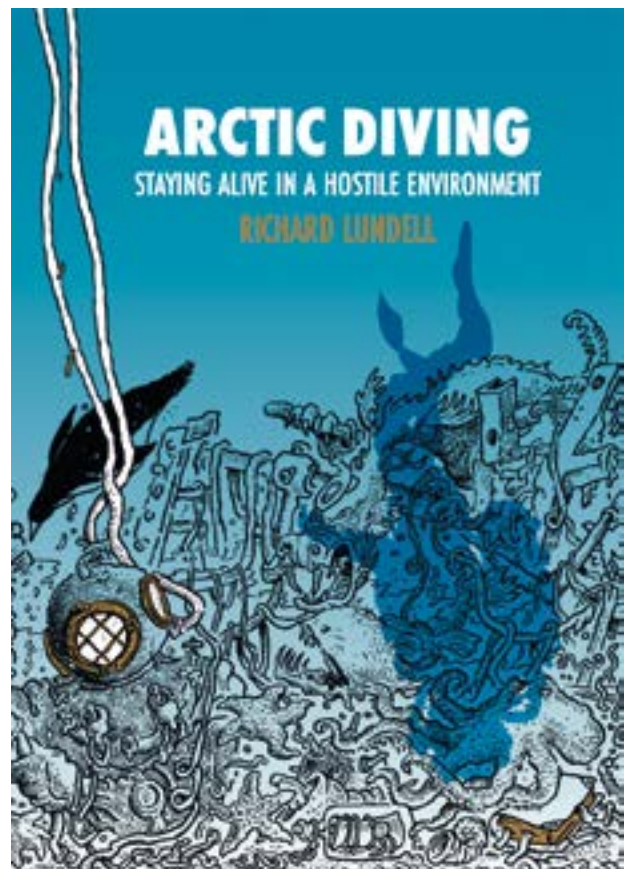
Ilmaa hengittävä ihminen poistuu luonnollisesta elinympäristöstään, kun hän siirtyy vedenpinnan alapuolelle. Vesi on jo itsessään ihmiselle vaarallinen ympäristö, mutta kun siihen lisätään muita riskitekijöitä – kuten kylmyys, pimeys ja huono näkyvyys – riskit kasvavat entisestään. Vielä kun sukeltajalta edellytetään vaativan vedenalaisen tehtävän suorittamista, voidaan puhua hyvin vaativan muodon sukeltamisesta. Vaativaa sukeltamista ei voida suorittaa turvallisesti ilman tieteellisiin menetelmiin perustuvaa tutkittua tietoa. Suomessa sukellaan aina kylmissä olosuhteissa, koska 20 metrin syvyydessä veden lämpötila on 4 °C jokaisena vuodenaikana. Kylmyys on sukeltajalle epämukavuustekijä, mutta se myös huonontaa fyysistä ja kognitiivista toimintakykyä ja lisää sukeltajantaudin riskiä. Koska olosuhteet ovat vaativat ja sukeltamisen riskit siten suuret, myös aihealuetta tarkastelevan tieteellisen tutkimustyön tarve on ollut suurta.

Tutkimuskohteina sukeltajantautitapaukset, lämmöneristyskaasu ja sykevälvaihtelut

Vuoden 2021 keväällä tarkastetussa väitöskirjassa ”Arctic Diving - Staying Alive in a Hostile Environment” tarkasteltiin sukeltamista erittäin kylmissä arktisissa olosuhteissa kolmen vertaisarvioidun artikkelin tulosten kautta. Ensimmäisessä osatyössä tavoitteena oli selvittää, minkä tyyppiset tekijät ovat yhteydessä sukeltajantautiin suomalaisessa sukelluspopulaatiossa, sekä ehdottaa keinoja riskien vähentämiseksi. Toisessa osatyössä tutkittiin, olisiko argon kuivapuvun lämmöneristyskaasuna parempi passiivinen lämmöneristyskeino kuin ilman käyttö samaiseen tarkoitukseen. Aikaisemmin argonin hyötyä ei ole osoitettu tieteellisin keinoin, mutta sukeltajat käyttävät sitä silti kylmissä olosuhteissa. Kolmannessa osatyössä pyrkimyksenä taas oli selvittää sykevälvaihtelumittauksilla tahdosta riippumattoman hermoston reaktiota erittäin kylmään sukeltamiseen sekä arvioida menetelmän perusteella, liittyykö kylmäsukellukseen erityisiä, tahdosta riippumattoman hermoston muutosten kautta ilmeneviä riskejä. Väitöskirjan yleisenä tavoitteena oli ehdottaa keinoja siihen, miten kylmäsukeltamisesta voisi tehdä turvallisempaa.

Suomalaisten sukeltajien kärsimien sukeltajantautien piirteiden tutkimiseksi kävimme läpi kaikki vuosina 1999–2018 Turun yliopistollisessa sairaalassa sekä Helsingin Mediox-

gen-klinikalla hoidetut sukeltajantaudit. Sukeltajantaudin takia hoitoon hakeutuneiden vuotuinen määrä oli keskimäärin 29 henkilöä. Hoitojen perusteella vaativamman tyyppinen sukeltamismuoto, jossa hengittämiseen käytetään erilaisia kaasuseoksia tai suljetun kierron sukelluslaitetta – niin kutsuttu tekniikkasukellus –, vaikutti lisääntyneen viimeisen 20 vuoden aikana merkittävästi. Tekniikkasukellukset olivat syvempiä, ja ne tehtiin suureksi osaksi luolissa ja veden täyttämässä kaivoksissa. Oireprofiili oli samanlainen sekä tekniikkasukeltajien että muiden vapaa-ajan sukeltajien



Richard Lundell väitteli Helsingin yliopistossa keväällä 2021 ensimmäisenä Suomessa sukelluslääketieteen alalta. Hänen väitöskirjansa *Arctic Diving - Staying Alive in a Hostile Environment* perustuu pääosin Puolustusvoimissa tehtyyn tutkimustoimintaan. Kuva on Richard Lundellin väitöskirjan etukannesta. (Kuva: Heikki Paakkanen)

ryhmissä. Tekniikkasukeltajat olivat kokeneempia, ja kokemustaso vaikutti myös korreloivan sukeltajataudin tunnistamiseen ja hoitoon hakeutumiseen. Tekniikkasukeltajat nimittäin käyttivät ensiapuhapetta kaksi kertaa niin useasti kuin muut vapaa-ajan sukeltajat, ja hoitoviivekin oli merkittävästi lyhyempi. Sekä tekniikkasukeltajien että muiden vapaa-ajan sukeltajien ryhmissä tavallisin ylipainehappihoidon hoitoprotokolla oli Yhdysvaltain laivaston hoitoprotokolla 6 (USNTT6, ilman lisähapetta tai lisähappijakson kanssa), minkä jälkeen jatkohoidoissa oli jonkin verran vaihtelua. Yli 80 prosenttia sukeltajista parani täysin paineistushoidon jälkeen. Tämä oli yllättävänkin hyvä tulos, kun sitä verrataan aikaisempiin, muualla tehtyihin tutkimuksiin.

Vertasimme ilmaa ja argonia kuivapukusukeltamisen lämmöneristyskaasuna erittäin kylmissä olosuhteissa ja osoitimme, että kahdeksasta mitatusta iholämpötilasta laskettu ihon keskilämpötila laski merkittävästi 45 minuutin sukelluksen aikana sekä ilmaa että argonia eristyskaasuna käyttäneissä ryhmissä. Silti lämpötilan lasku oli merkittävästi suurempaa ilmaa pukukaasuna käyttäneessä ryhmässä, mikä kertoo argonin olevan näissä olosuhteissa parempi lämmöneristyskaasu (iholämpötilan muutos ilmasukelluksissa = $-4,16\text{ }^{\circ}\text{C}$, SE = 0,445, $p < 0,001$; ero ryhmien välillä: argon-ilma = $2,26\text{ }^{\circ}\text{C}$, SE = 0,358, $p < 0,001$). Myös elimistön keskilämpötilan muutos laski merkittävästi sukelluksen aikana kummassakin ryhmässä mutta merkittävästi enemmän ilmaa käyttäneessä ryhmässä (elimistön keskilämpötilan muutos ilmasukelluksissa = $-1,53\text{ }^{\circ}\text{C}$, SE = 0,153, $p < 0,001$); ero ryhmien välillä: argon-ilma = $0,77\text{ }^{\circ}\text{C}$, SE = 0,117, $p < 0,001$).

Tutkimme ihmiselimistön sukellusheijasteita tarkastelemalla viiden minuutin sykevälivaihtelujaksoja erittäin kylmässä vedessä. Ihmiselimistö reagoi kylmään tahdosta riippumattoman hermoston säätelämällä lämmönsäätelymekanismeilla. Tutkimuksessamme totesimme muutoksia tahdosta riippumattoman hermoston niin kutsutun parasympaattisen osan aktiviteetissa, kun arvioimme sen toimintaa RMS-SD-mittauksilla (RMSSD = changes in root mean square of successive RR interval differences). Sukelluksen alkumittaus osoitti parasympaattisen aktiviteetin lisääntyvän merkittävästi (14,67 ms; SE = 6,09, $p = 0,02$), minkä jälkeen se vähentyi merkittävästi (12,92 ms; SE = 6,09, $p = 0,04$). Tämän jälkeiset mittaukset osoittivat aktiviteetin lisääntyvän loppusukelluksen ajan merkittävästi (97,86 ms; SE = 2,28, $p < 0,001$).

Uuden tiedon lisäksi vahvistusta vanhalle

Tutkimuksen perusteella voidaan päätellä, että suomalaiset sukeltajat näyttäisivät olevan siirtymässä vaativampiin sukeltamismenetelmiin. Vaativamman tyyppisiä sukeltamismuotoja käyttäneet sukeltajat, niin kutsutut tekniikkasukeltajat, olivat ylliedustettuja sukeltajataudin takia hoitoon



Sykevälivaihtelumittausten käyttö on verrattain uutta sukelluslääketieteellisessä tutkimustyössä. Kirjoittamishetkellä menetelmää hyödyntäneitä julkaistuja tutkimuksia on vain noin 20. Menetelmä antaa oivia mahdollisuuksia tahdosta riippumattoman hermoston parasympaattisen ja sympaattisen osan aktiviteetin samanaikaiseen tarkasteluun. Esimerkiksi pelkästään syketasoa tarkastelemalla ei voida arvioida hermoston eri osien aktiviteettia. (Kuva: Heikki Paakkanen)

hakeutuneiden aineistossa. Diagnosoitujen sukeltajantautien määrä pysyi melko tasaisena vuosien 1999–2018 aikana. Paineistushoitoprotokolla osoittautui tutkimuksessa tehokkaaksi, ja suurin osa sukeltajantaudin saaneista parani hyvin nykyisillä hoitomuodoilla ja jatkoi sukeltamista onnistuneen hoidon jälkeen. Ensiapuhapen käyttö, jota suositellaan sukeltajantaudin ensioireiden hoitoon, oli edelleen liian vähäistä, ja oireiden tunnistamisen haasteet tai oireiden kieltäminen mahdollisesti pidensivät hoitoon hakeutumisen viivettä. Koulutuksessa tulisi panostaa sukeltajantaudin oireiden tunnistamiseen ja taudin stigmatisointia vähentävään työhön, jotta oireita saaneet sukeltajat eivät itse viivyttsi hoitoon hakeutumistaan.

Argon oli tutkimuksessamme ilmaa parempi lämmöneristyskaasu kuivapukusukeltamisessa erittäin kylmissä arktisissa olosuhteissa. Argonin käyttö voi tehdä sukeltamisesta turvallisempaa, vähentää sukellukseen liittyviä riskejä, parantaa toimintakykyä ja ehkäistä kohtalokkaita sukellusonnettomuuksia. Argon on tehokas passiivinen lämmöneristysmenetelmä, ja sen käyttöä voi suositella erittäin kylmissä olosuhteissa sukeltaville.



Suomalainen suljetun kierron laitteella sukeltava tekniikkasukeltaja aloittamassa jäänalaista sukellusta Ojamon kaivoksella alkukevällä 2020. Sukeltajalta mitattiin sukelluksen aikana mm. ihon pintalämpöä ja sykevälivaihtelua. Lisäksi hän suoritti veden alla valppautta ja reaktioaikaa mittaavan Critical Flicker Fusion Frequency -testin. Ennen sukellusta ja sukelluksen jälkeen tehtiin myös paljon muita mittauksia, mm. sydämen ultraäänitutkimuksia. (Kuva: Richard Lundell)

Sykevälivaihtelumittauksemme osoittavat, että tahdosta riippumattoman hermoston parasymptaattisen osan aktiiviteetti lisääntyi sukeltamisessa aluksi merkittävästi, minkä jälkeen se hetkellisesti vähentyi ja tämän jälkeen lisääntyi uudestaan sukelluksen loppuun asti. Tätä parasymptaattisen hermoston aktiiviteetin hetkellistä vähentymistä ei ole kuvattu aikaisemmin. Koska sukelluksen alussa ilmenee voimakas parasymptaattisen hermoston aktiiviteetin lisääntyminen, kylmien sukellusten alussa sukeltajan olisi suositeltavaa suorittaa lyhyt totuttautumisvaihe ennen kuin hän alkaa rasittaa itseään. Fyysinen rasitus nostaa tahdosta riippumattoman hermoston symptaattisen osan aktiiviteettia, ja voimakas parasymptaattisen ja symptaattisen osan samanaikainen aktivoituminen tunnetusti lisää pahanlaatuisten sydämen rytmihäiriöiden riskiä. Lisäksi tutkimuksen tulokset antavat aiheutta esittää, että erittäin kylmissä olosuhteissa sukeltaville tulisi asettaa tiukat seulat sydän- ja verisuonitautien riskitekijöiden suhteen.

Tähystys eteenpäin: suomalaisen sukelluslääketieteen tutkimuksen nykytila ja tulevaisuus

Suomessa sukelluslääketieteen tutkimustyö on suureksi osaksi äskettäin julkaistun väitöskirjatyön ja siihen liittyvien lisäprojektien johdosta lähtenyt hyvään nousujohteeseen. Kirjoittamishetkellä suomalaisille yliopistoille on rekisteröity yhteensä kolme alan väitöskirjaprojektia, ja on todennäköistä, että näistä seuraava valmistuu noin vuoden sisällä. Toistaiseksi ei ole juurikaan kansainvälisesistikään tutkittua tietoa erittäin kylmien olosuhteiden sukeltamisesta, joten perusteet tutkimustyön jatkamiselle ovat vahvat. Väitöskirja on paitsi luonut alalle kasvavan tutkimusverkoston myös paljastanut monta aihealuetta, joista tarvitaan lisää tietoa.

Erityisen paljon kansainvälistä huomiota ja kiitosta on saanut väitöskirjan osatyö, jossa tarkastelimme tahdosta riippumattoman hermoston toimintaa sykevälivaihtelumenetelmällä. Menetelmä on sen verran uusi, erityisesti sukelluslääketieteessä, että sen avulla voidaan lähivuosina varmastikin todeta monia uusia löydöksiä – esimerkiksi sellaisia, joita ei ole voitu kuvata ainoastaan syketasoa tarkastelemalla. Sykevälivaihteluun vaikuttavat monet tekijät. Siksi on tärkeää, että tutkijat ovat erityisen hyvin perehtyneitä menetelmään – muutoin riskinä on, että tuloksista tehdään vääränlaisia johtopäätöksiä. Allekirjoittanut on jatkanut sukeltajien sykevälivaihtelututkimusta mutta viimeisimmissä mittauksissa siirtynyt tarkastelemaan menetelmää myös muun tyyppisillä sukelluksilla. Viimeisin julkaistu osatyö on tehty tekniikkasukeltajien avulla, jotka sukelsivat 45 metrin sukelluksen suljetun kierron sukelluslaitteella. Kyseisessä julkaisussa onnistuimme varmentamaan väitöskirjaosatyön sukelluksen alun uuden löydöksen. Lisäksi täysin uutena löydöksenä pystyimme toteamaan, että erittäin kylmissä olosuhteissa kylmyys on itse asiassa suurempi parasymptaat-

tisen aktiviteetin lisääjä kuin ympäröivän veden paine, jota on aikaisemmin pidetty merkittävämpänä tekijänä.

Muissa tällä hetkellä meneillään olevissa sukelluslääketieteen tutkimusprojekteissa tutkimme ultraäänimittauksilla sydämen toimintaa sukeltaessa kylmässä vedessä. Sydämen toimintaa sukeltamisen yhteydessä on tutkittu hyvin vähän. Lisäksi tarkastelemme uudestaan 20 vuoden ajalta kerättyä sukeltajataudin hoidon aineistoa hieman erilaisesta näkökulmasta. Nykyisessä tarkastelussa olemme kiinnostuneita selvittämään eri tekijöiden vaikutusta hoidon lopputulokseen. Useimmat projektit tehdään yhteistyössä siviilitoimijoiden kanssa, mutta meneillään on myös monia Puolustusvoimien sisäisiä tutkimusprojekteja, joissa tarkastelemme spesifimmin sotilassukeltamiseen liittyviä kysymyksenasetteluita.

Lopuksi

Puolustusvoimissa tehtävä sukelluslääketieteellinen tutkimustyö tuottaa suoraan Puolustusvoimien sukellustoimintaan hyödynnettävissä olevaa tietoa. Tutkimusten tavoitteena on parantaa sukellusturvallisuutta sekä joukkojen vedenalaista toimintakykyä. Tutkimustyö on tuottanut kansainvälisestikin paljon kiinnostusta herättäneitä tuloksia. Tämän johdosta voidaan hyvällä omallatunnolla todeta, että Suomi on noussut kansainvälisellä vertailuasteikolla korkeatasoista, aktiivista sukelluslääketieteen tutkimustyötä tekevien maiden joukkoon. Itsenäisen kansallisen tutkimuksen tekeminen on ainoa varma tapa pysyä kehityksen kärjessä ja turvata joukoillemme parhaat edellytykset menestykseen.

Kirjoittaja:

Lääketieteen tohtori, Richard Lundell toimii päällikkölääkärinä Sotilaslääketieteen keskuksen Santahaminan terveysasemalla. Hän on vuodesta 2016 asti tehnyt sukelluslääketieteen alan tutkimusta yhteistyössä Sukelluslääketieteen keskuksen sekä usean siviilitoimijan kanssa. Keväällä 2021 hän väitteli ensimmäisenä Suomessa sukelluslääketieteen alalta.

Hornet-kaluston elinkaaren loppu häämöttää

– saavutetaanko tavoite-elinikä turvallisesti ja taloudellisesti?

Nykyisen elinkaarisuunnitelman mukaan Suomen ilmavoimien ensimmäiset F/A-18 Hornetit poistuvat käytöstä vuonna 2025 ja viimeiset vuonna 2030. Tavoitteena on, että kalustolla kyetään toimimaan turvallisesti poistamisajankohtaan asti ja samalla pitämään käytettävyyttä määritetyllä tasolla mahdollisimman kustannustehokkaasti. Mitä haasteita ja riskejä tavoitteen saavuttamiseen liittyy? Kuinka hyvin niitä kyetään hallitsemaan? Voiko Ilmavoimat keskittyä ydintehtäviinsä luottaen siihen, että Hornetille asetettu tavoite-elinikä saavutetaan turvallisesti ja taloudellisesti? Avainasemassa tämän tavoitteen saavuttamisessa ovat Hornetille laaditun järjestelmällisen eheydenhallintaohjelman toteuttaminen sekä sen taustalla kehitetyt kansallinen tietopohja, menetelmät ja osaaminen. Eheydenhallinnan kyvykkyyksiä on rakennettu suunnitelmallisesti jo vuosituhaten vaihteesta lähtien Ilmavoimien rahoituksella toteutetuissa tutkimushankkeissa. Niiden päätoteuttajina ovat olleet Patria Aviation Oy, Finflo Oy (nyk. Elomatic), Teknologian tutkimuskeskus VTT sekä Aalto-yliopisto ja Tampereen yliopisto.

Mihin Hornetin rakenteiden eheyden ja eliniän hallinta perustuu?

Ilmavoimien Hornet-kaluston rakenteiden hallintaa varten on laadittu ja otettu käyttöön kansallinen eheydenhallintaohjelma, joka noudattaa Yhdysvaltain puolustushallinnon määrittämää standardia MIL-HDBK-1530 Aircraft Structural Integrity Program (ASIP). Lyhyesti sanottuna ASIP tarkoittaa systemaattista tapaa toimia ja hallita lentoturvallisuudelle kriittisiä rakenneyksiskohtia. Hornetin eheydenhallintaohjelman perustaksi on koottu kaikki saatavilla oleva tieto ja dokumentaatio liittyen konetyypin suunnitteluun, testaukseen ja tyyppihyväksyntään. Kaluston käyttö- ja ylläpitovaiheen aikainen eheydenhallinta sisältää käytön seuranta- ja ohjausta sekä vauriohavaintojen ja rakenneanalyysien perusteella tehtäviä ehkäiseviä ja korjaavia toimenpiteitä. Tässä artikkelissa tarkastellaan seuraavia eheydenhallinnan peruskysymyksiä:

- Miten Hornet-kalusto väsyä Ilmavoimien käytössä?
- Mitä kertyneistä vauriohavainnoista voidaan ennustaa?
- Millä keinoilla lentoturvallisuus- ja käytettävyyseriskit hallitaan?

Miten Hornet-kalusto väsyä Ilmavoimien käytössä?

Hornetin väsymisseurantajärjestelmien tuottaman tiedon avulla kyettiin jo elinkaaren alkuvaiheessa toteamaan, että Ilmavoimien käyttö väsyttää koneen rakenteita huomattavasti enemmän kuin koneen suunnittelu- ja hyväksyntävaiheessa oletettu käyttö. Tämä on ollut merkittävin ohjaava tekijä siinä, kuinka paljon on kansallisesti panostettu Hornetin rakenteiden eheydenhallinnan suunnitteluun ja sitä tukevaan tutkimus- ja kehitystyöhön.

Ilma-alusten rakenteet optimoidaan mahdollisimman kevyiksi, mikä lähtökohtaisesti altistaa metallirakenteet väsymisille ja asettaa niille elinikärajan. Väsymistä pyritään enustamaan mahdollisimman tarkasti koneen suunnittelu- ja testausvaiheessa perustuen oletukseen lentokaluston käytöstä. Hävittäjäkoneen operatiivisella käyttötavalla ja -ympäristöllä on oleellinen merkitys rakenteiden eliniän kulutusnopeuteen.

Yhtenä eheydenhallintaohjelman päätehtävistä on operatiivisten kuormien ja ympäristön spektrien selvittäminen sen jälkeen, kun käytöstä on kertynyt riittävästi kokemusta ja mitattua dataa. Hornet-kaluston käyttöspektrin tarkempaa määrittämistä varten tehtiin vuosituhaten alussa mittava kansallinen tutkimus- ja kehitystyö lennonaikaisten kuormien mittausjärjestelmän kehittämiseksi. Kahteen Hornet-yksilöön asennettiin HOLM-järjestelmä (Hornet Operational Loads Measurement), jonka tarkoituksena on tuottaa tarkempaa, mahdollisimman hyvin koneen kriittiset rakenteet kattavaa tietoa lentämisen ja koulutusohjelman rasittavuudesta. HOLM-koneilla kerätystä lentomittausdatasta koostettu, kaluston keskimääräistä käyttöä kuvaava operatiivinen käyttöspektri toimii perustana rakennekohtien elinikäanalyysille. HOLM-järjestelmällä on myös kerätty rajattuja datakoosteita esimerkiksi väsyyskokeissa käytettävien kuormituspektrien muodostamiseksi.

Yksittäisten ilma-alusten käytön seuranta varten Horneteihin on asennettu konevalmistajan kehittämä väsymisseurantajärjestelmä SAFE (Structural Appraisal of Fatigue Effects). Se mittaa kriittisten rakennekohtien kuormittumista ja taltioi lentoa kuvaavia parametreja. SAFE-ohjelmisto laskee jokaiselta lennolta FLE-väsymisindeksin (Fatigue Life Expended) arvon, jota käytetään Hornetin väsymisseurannan pääsuurena.

Väsymisindeksin avulla muodostetaan yhteys rakenteita kuormittavan liikehdinnän ja kriittisten rakennekohtien eliniän kulutuksen välille. Kullekin koneyksilölle laskettava FLE-keräytymä lentotuntia kohti kuvaa eliniän kulutusta, josta edelleen lasketaan arvio rakenteen eliniästä. SAFE-järjestelmän ohella yksittäisten Hornetien väsymisseurantaan käytetään Suomessa kehitettyä parametripohjaista menetelmää. Neuroverkkoihin perustuva laskentamalli auttaa ennustamaan eliniän kulutusta koneissa, joihin ei ole asennettu HOLM-mittausjärjestelmää.

Hornetin käytön- ja väsymisenseurantajärjestelmien tuottaman tiedon perusteella kaluston käyttöä ohjataan siten, että koneyksilöille asetettu tavoite-elinikä saavutetaan. Lentokoulutusohjelman sisältöjä säättämällä sekä lentäjien ohjeistuksella on kyetty keventämään käytön rasittavuutta pitkällä aikavälillä. Koneiden valintaa lentopalvelukseen ja huoltoihin ohjataan koneyksilöiden väsymisyystiedon ja -järjestyksen perusteella.

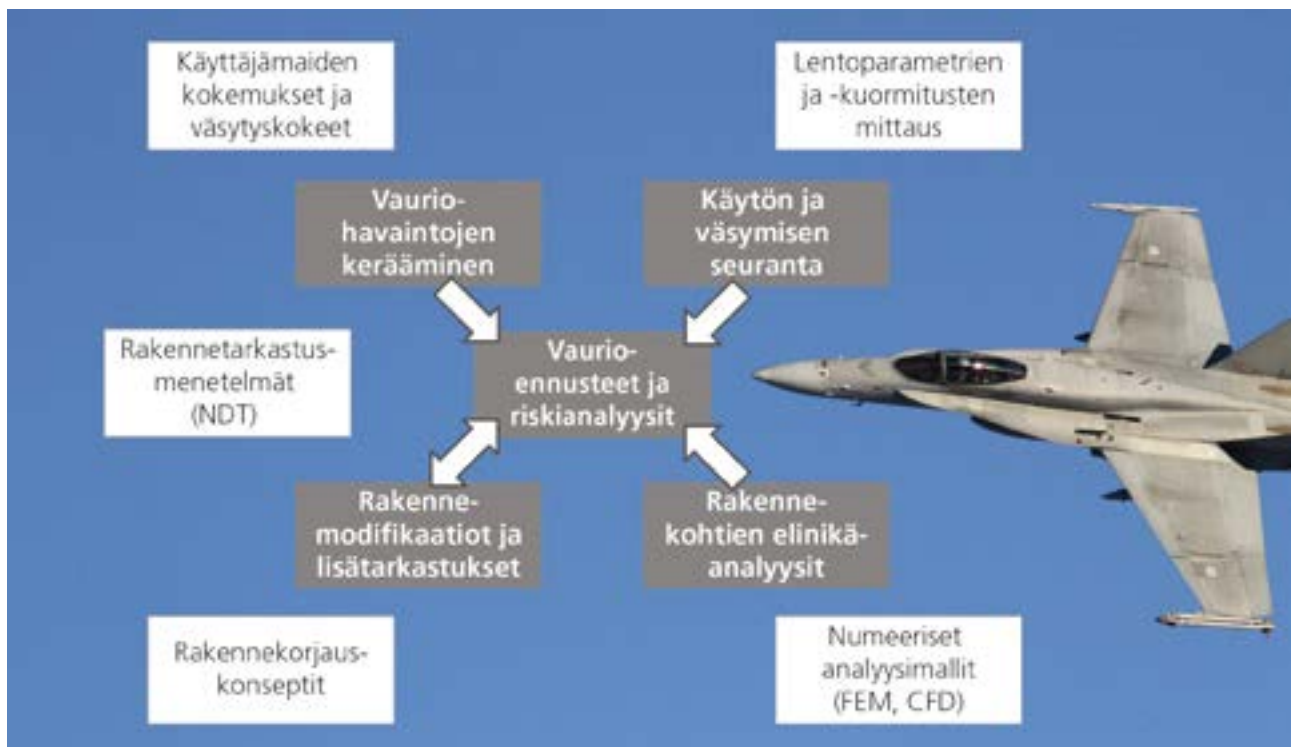
Mitä vauriohavainnoista voidaan ennustaa?

Ilmavoimien Hornet-kaluston rakenteiden kuntoa valvotaan ja analysoidaan seuraaviin tietolähteisiin perustuen:

- havainnot konevalmistajan (Boeing) ja Hornet-käyttäjämaitten toteuttamien väsytykskoekiden tuloksista
- käytönaikaiset vauriohavainnot Hornet-käyttäjämaitteilta sekä niihin liittyvät analyysit, tarkastukset ja modifikaatiot
- omista tarkastuksista ja huolloista kertyneet vauriohavainnot
- pääkäyttäjän (US Navy) julkaisemat päivitykset tarkastusohjelmiin ja rakenteiden elinikärajoihin.

Hornet-käyttäjien välisiltä yhteistyöfoorumeilta saatu tieto on ollut erittäin merkittävää kansallisen eheydenhallinnan perusteiden ja tulosten kannalta. Kansainväliseen tiedonvaihtoon ja yhteistyöhön on kyetty vastavuoroisesti tarjoamaan kansallisen tutkimus- ja kehitystyön tuloksia ja osaamista.

Ilma-alusten vauriohavaintojen tekemisessä avainasemassa ovat ainetta rikkomattomiin tarkastusmenetelmiin (NDT, Non-Destructive Testing) liittyvät kansalliset kyvykkyydet. NDT-menetelmäkehitys on keskeinen lentokonerakenteiden hallinnan tutkimusten osa-alue. Eheydenhallinnan päätöksenteon kannalta tärkeään asemaan on noussut tarkastuksiin käytettävien kansallisten NDT-kyvykkyyksien arviointi POD-testeillä (Probability of Detection). Niillä vastataan



Hornetin eheydenhallintaohjelman keskiössä on kansallinen kyky tehdä vaurioennusteiden ja riskianalyysien perusteella päätökset ennalta ehkäisevien rakennemodifikaatioiden ja lisätarkastusten tarpeesta ja ajoituksesta. Ennusteet ja riskianalyysit perustuvat väsytykskoekiden tuloksiin, käytönaikaisiin vauriohavaintoihin ja käytön seurannan dataan sekä rakennekohtien elinikäanalyysiin. Näiden osa-alueiden toteuttamiseksi on kansallisen rakennetutkimuksen tuloksena kehitetty lentomittausjärjestelmää, rakenneanalyysi- ja virtauslaskentamalleja sekä rakennekorjaus- ja NDT-menetelmiä. (Grafiikka: Ilpo Paukkeri/Puolustusvoimat, kuva: Puolustusvoimat)

kysymykseen ”mikä on suurin särö, joka voi jäädä havaitsematta” tietyllä todennäköisyydellä ja luottamusvälillä.

Käytön ja kunnan seuranta tuottaa lähtödataa rakenneanalyysille, joilla arvioidaan tarkasteltavan rakenteen elinikä Ilmavoimien käytössä. Safe Life -suunnitteluperiaatetta noudattavalle rakenteelle arvioidaan turvallinen elinikä Ilmavoimien käyttöprofiililla. Vaurionsietoisien rakenteiden periaatetta (Damage Tolerance) noudatettaessa sallitaan ”lentäminen säröillä”, jolloin tulee kyetä arvioimaan särönkasvunopeus ja kriittinen särönpituus kyseisessä rakennekohdassa. Analyysiin perustuen määritetään rakennetarkastuksen aloituskyynys ja jaksot.

Analyysissä käytetään FEM-menetelmällä (Finite Element Method) luotuja rakennemalleja, joihin syötettävien aerodynaamisten kuormitusten määrittämiseen käytetään puolestaan CFD-virtauslaskentamenetelmiä (Computational Fluid Dynamics). Merkittävä osa kotimaisesta Hornetiin liittyvästä rakennetutkimus- ja kehitystyöstä on kohdistunut rakenneanalyysien edellyttämien mallien kehittämiseen. Koko koneen rakennetta kuvaavan globaalien FEM-mallien tarkentamisen ohella on tehty detaljimalleja yksittäisistä rakennekohdista analyysejä varten. CFD-laskentaa varten on kehitetty kansallisiin tarpeisiin räätälöityjä malleja ja simulaatioita. Analyysimallien ja -menetelmien toiminnan arviointi tehdään vertaamalla analyysien tuloksia rakennetarkastusten ja muun kunnan seurannan havaintoihin todellisista vaurioista.

Millä keinoilla lentoturvallisuus- ja käytettävyyseriskit hallitaan?

Kriittisten rakennekohtien säröytymisen aiheuttamia riskejä hallitaan käytännössä rakennetarkastuksilla ja -modifikaatioilla, joiden tarpeeseen ja ajoitukseen liittyvät päätökset perustuvat vaurioennusteisiin ja riskianalyysiin.

Hornetille määritetyn rakennetarkastusohjelman tarkoituksenmukaisuutta ja tehokkuutta arvioidaan elinkaaren aikana kaluston operatiivisesta käytöstä ja huollosta kertyvään tietoon ja analyysiin perustuen. Kaluston ikääntyessä rakennetarkastusohjelmaan on jouduttu lisäämään merkittävä määrä uusia rakennetarkastuksia riskien hallitsemiseksi. Kasvava rakennetarkastuskuorma uhkaa kaluston käytettävyyden pitämistä vaaditulla tasolla. Tarkastusjaksojen optimointimahdollisuuksia selvitetään ja tutkitaan.

Ilmavoimien Hornet-kalustolla todettiin jo elinkaaren alkuvaiheessa tarve mittaville rakennemodifikaatio-ohjelmille elinikätaavoitteen saavuttamiseksi. Ennalta ehkäisevien rakennemodifikaatioiden tarkoituksena on hidastaa väsymistä esimerkiksi rakenteen vahvistamisella, kiinnittimien vaihtamisella, pienten säröjen poistamisella tai elinikää paranta-

villa pintakäsittelyillä. Modifikaatio-ohjelmissa käytettävien menetelmien aikaansaamaa parannusta elinikään on tutkittu myös kansallisesti toteuttamalla väsytysoesarjoja Hornetin rakennekohtia edustavilla koesauvoilla.

Metallirakenteiden väsymissäröjen hallinnan ohella on kehitetty korjauskonsepteja Hornetin komposiittirakenteissa esiintyneiden vaurioiden korjaamiseksi. Korjauksia on suunniteltu sekä kotimaisen rakennetutkimusyhteisön että kansainvälisen Hornet-käyttäjäyhteisön voimin.

Hornetin eliniän hallintaan on kehitetty viime vuosina riskiperusteinen menetelmä, jolla kyetään määrittämään kvantitatiivinen riskitaso yksittäiselle rakennekohdalle. Menetelmä huomioi sekä kumulatiivisen kokonaisriskin että hetkellisen riskitason kasvun lentotuntia kohti. Menetelmä perustuu arvioon tehtyjen rakenneanalyysien tarkkuudesta sekä lentokonerakenteissa esiintyvistä materiaali- ja valmistuslaadun hajonnasta.

Miltä tulevaisuus näyttää?

Hornet-kaluston ikääntyessä on odotettavissa, että rakennehaasteet tulevat lisääntymään ja vaikeutumaan. Eheydenhallintaohjelman ansiosta uudet säröhavainnot löydetään todennäköisesti niistä rakennekohdista, jotka on kyetty ennakoimaan ja joihin on saatavilla tarkastus- tai korjaussuunnitelma. Näissä tapauksissa rakenteen elinikä kyetään turvaamaan lisätarkastuksilla tai eliniän palauttavalla rakennekorjauksella. Kuinka todennäköisesti kaikki vakavat vauriot kyetään ennakoimaan? Loppuelinkaaren aikana tietyissä rakenteissa voi ilmetä ennakoitua laajemmalle levinnyt väsymisvaurio. Toisaalta vakava säröhavainno voi tulla vastaan sellaisessa rakennekohdassa, jota ei ole osattu huomioida eheydenhallintaohjelmassa. Tällöin rakennekohdan kuormitusta, särönkasvu-aikaa ja kriittistä särökoko ei tunneta. Rakenteessa sallittu särökoko voi olla niin pieni, että säröjen havaitseminen NDT-tarkastuksilla on epävarmaa eikä lentoturvallisuutta voida perustaa tarkastuksiin. Rakennesan korjaaminen, vaihtaminen tai tarkastaminen voi olla erittäin vaikeaa ja kallista, jolloin kaluston taloudellinen elinikä rajoittuu käytettävyyden ja kustannusvaatimusten kautta. Esimerkki worst case -skenaariosta loppuelinkaaren aikana on kuvitteellinen tilanne, jossa lähes koko Ilmavoimien Hornet-kalusto jouduttaisiin maadoittamaan yhdestä koneyksilöstä löytyneen keskirungon pääkaaren hajoamisen vuoksi. Ennakoimattomien rakenneongelmien välttämiseksi on syytä ylläpitää aktiivista, tehokasta eheydenhallintaohjelmaa kaluston elinkaaren loppuun asti.

Kirjoittaja:

Diplomi-insinööri Ilpo Paukkeri toimii teknisenä asiantuntijana Järjestelmäkeskuksen ilmajärjestelmäosastossa.



Maasotakoulu, Maavoimien tutkimuskeskus

Autonomian rooli tulevaisuuden maataistelussa

Missä olemme nyt?

Miehittämättömiä asejärjestelmiä on käytetty ensimmäisestä maailmansodasta lähtien. Kehityksen eturintamassa olivat miehittämättömät ajoneuvot (Unmanned Ground Vehicles, UGV). Toisessa maailmansodassa käytettiin jo miehittämättömiä ilma-aluksia (Unmanned Aerial Vehicles, UAV). Tultaessa 2010-luvulle suurvallat olivat jo ottaneet laajasti käyttöön kauko-ohjattavia UAV-järjestelmiä. Nykyään kyse ei ole enää pelkistä kokeiluista, vaan järjestelmien käyttökohteiksi ovat vakiintuneet tiedustelu- ja vaikuttamistehtävät.

Miehittämättömien, maassa liikkuvien laitteiden kehitystä edisti voimakkaasti länsimaiden läsnäolo Afganistanissa (vuosina 2001–2021). Alueella laajasti käytetyt tienvarsipommit ja improvisoidut räjähteet (Improvised Explosive Device, IED) pakottivat etsimään ratkaisuja, joilla räjähteitä kyetään raivaamaan. Esimerkiksi Yhdysvallat tuotti joukkonsa käyttöön useita tuhansia raivausrobotteja.

Viimeisin piirre miehittämättömissä järjestelmissä on autonomia, joka mahdollistaa toiminnan ilman ihmisen ohjausta, valvontaa tai muuta interventiota. Pisimmällä autonomian soveltamisessa ovat UAV-järjestelmät, joista edistyneimmät kykenevät pitkäkestoiseen tiedusteluun, itsenäiseen aluevalvontaan ja kohteiden maalittamiseen (ts. TVM-tehtäviin), jopa kineettiseen vaikuttamiseen. UAV-laitteita, joilla on kaikki edellä mainitut kyvyt, kutsutaan yleisnimellä vaanivat asejärjestelmät (Loitering Muni-

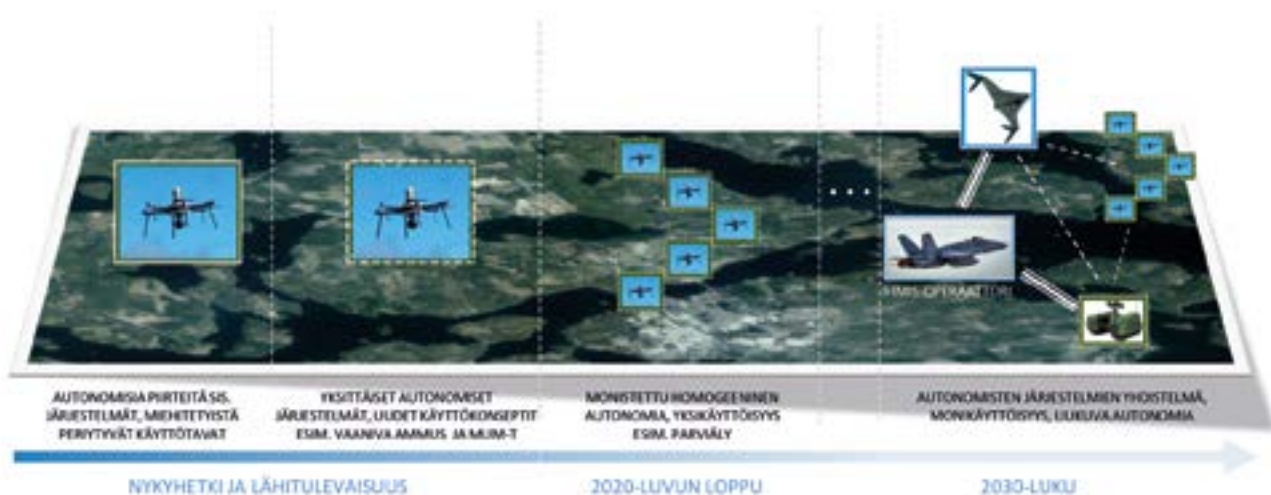
tion). Suuren yleisön tietoon vaanivat aseet tulivat Armenian ja Azerbaidžanin käydessä sotaa Vuoristo-Karabahin hallinnasta vuonna 2020.

Ilma-aseista poiketen autonomisesti toimivia UGV-järjestelmiä ei ole juuri saatavilla kaupallisesti. UGV-järjestelmät perustuvat toistaiseksi ihmisoperaattoreihin, jotka kauko-ohjaavat ja valvovat laitteiden toimintaa. Pisimmälle UGV-laitteiden autonomiassa on kenties päästy navigointisovellutuksissa, joissa laite saadaan etenemään itsenäisesti ennalta määrättyihin reittipisteisiin perustuen.

Mihin suuntaan olemme menossa?

Nykytilakartoitus osoittaa, että yhä useammat miehittämättömät ilma- ja maajärjestelmät suunnitellaan modulaarisiksi. Yksittäisiin laitteisiin voidaan liittää moduuleita tarpeen ja tehtävän mukaan, ja useampia laitteita voidaan kytkeä toimimaan yhdessä. Laitteiden tavallisia hyötykuormia ovat tiedustelusensorit, asejärjestelmät ja tartuntavarret.

Modulaarisuus näkyy myös yksittäisten lavettien perusrakenteissa. Esimerkiksi laitteen vetotapa pyöristä teloihin voidaan vaihtaa kentällä tilanteen mukaan. Vastaavasti ilmassa liikkuvilla järjestelmillä voi olla kyky nousta ja laskeutua yhtä lailla vaaka- kuin pystyasossakin. Tulevaisuudessa nähtäen myös maassa liikkuvia järjestelmiä, joista lähetetään nelikoptereita erillisiin tehtäviin.



Ennuste autonomian kehitysskeleista taistelukentällä. (Kuva: Puolustusvoimat)

Järjestelmien kyky toimia parvena kehittyy jatkuvasti. Parviälyä ja parveilua on tutkittu ja demonstroitu yhtä lailla sotilaallisissa kuin myös siviilisovellutuksissa. Parveilun etuja ovat laitteiden lukumäärän skaalautuvuus ja hajautetun päätöksenteon mukanaan tuoma resilienssi. Tulevaisuudessa autonomisia järjestelmiä voidaan kytkeä toisiinsa. Tällaisissa rakenteissa voi muodostua sekä johto- että vertaissuhteita, joista jälkimmäisissä vaihdetaan tietoa erityyppisten järjestelmien oman toiminnan tueksi.

Autonomisia järjestelmiä tutkitaan myös Maavoimissa

Maavoimat jatkaa miehittämättömien, autonomisten järjestelmien tutkimusta. Tutkimusta tarvitaan, koska maailmalla kehitetyt ja käyttöönotetut konseptit eivät välttämättä sovelu Maavoimien käyttöön sellaisinaan. Käytännössä on nähty esimerkiksi, kuinka reiden paksuisen puunrunгон ylittäminen voi aavikko- ja kaupunkiympäristöön suunnitellulle UGV:lle olla kertakaikkisen ylitsepääsemätön tehtävä.

Pelkkä järjestelmien tekniisiin ominaisuuksiin keskittyvä tutkimus ei kuitenkaan riitä. Näin ollen tutkimusta edistetään useista näkökulmista. Niitä ovat muun muassa autonomisiin järjestelmiin liittyvät uhkakuvat, tekoälyn tulevaisuus, autonomian sovellettavuus laajasti maataistelun suorituskykyihin ja autonomian vaikutukset toimintatapoihin sekä taktisella että taisteluteknisellä tasolla. Autonomisiin järjestelmiin liittyy myös tutkittavia juridisia ja moraaliseettisiä kysymyksiä, joihin ei välttämättä aina löydy suoria vastauksia tahi totuuksia.

Varsin mielenkiintoinen autonomisiin järjestelmiin liittyvä osa-alue on miehittämättömien laitteiden käyttö miehittyjen laitteiden keskellä. Kansainvälisessä kirjallisuudessa tutkimusalue tunnetaan nimellä Manned-Unmanned Teaming (MUM-T), ja laitevalmistajat esittelevät jo kilvan toimintamallin mukaisia suorituskykykonsepteja.



Esimerkki raskaan kokoluokan UGV-ajoneuvosta (virolaisen Milrem Robotics -yhtiön Type-X). (Kuva: Milrem Robotics)

Maavoimat ei tee autonomisiin järjestelmiin liittyvää tutkimusta yksin. Työ etenee rinta rinnan ja yhteistyössä tutkimus- ja opetuslaitosten kanssa. Puolustusvoimien tutkimuslaitos ja Maanpuolustuskorkeakoulu ovat näiden joukossa ensisijaisia ja luonnollisia kumppaneita, mutta maavoimallinen tutkimus ottaa jo myös ensiaskeliaan kohti kansainvälistä tutkimusyhteisöjä ja muita yliopistoja.

Pohdintoja ja tulevaisuudennäkymiä

Lähihistorian maataisteluissa on käytetty uutena suorituskykyinä autonomisia asejärjestelmiä. Näiden konfliktien perusteella voisi olettaa, että autonomisia suorituskykyjä nähdään tulevaisuuden taistelukentillä entistä enemmän. On myös oletettavaa, että kyvykäs vastustaja pyrkii vaikuttamaan maataistelun kulkuun useiden eri taistelun ulottuvuuksien kautta vielä näkemättömillä autonomisilla järjestelmillä.

Maassa taisteleville, maahan kaivautuneille maa joukoille ilma-aseet – vaanivatkaan sellaiset – eivät sinällään ole uusi uhka. On kuitenkin oletettavaa, että suojan löytäminen vaikeutuu entisestään, kun sensoriteknologiat kehittyvät ja vaanivat asejärjestelmät pysyvät tauotta ilmassa. Myös ilmatorjuntajärjestelmille autonomisesti käyttäytyvät suorituskyvyt voivat olla erilainen uhka kuin mitä vastaan järjestelmät on alun perin suunniteltu.

Maan pinnalla autonomisten järjestelmien nivominen osaksi jääkärijoukon taktiikkaa ja perustaistelumenetelmiä asettanee totut toimintatavat kokonaan uuteen valoon. Olisiko hyväksyttävää esimerkiksi, että tiedustelemaan asetettu autonominen parvi avaa itsenäisesti tulen ja siten paljastaa jäljessä tulevan joukon? Taktis-moraaliseettisiä kysymyksiä riittää, eivätkä tutkijoilta lopu työt tällä saralla. On siis oletettavissa, että autonomisten järjestelmien käyttöönotto pakottaa Maavoimat tutkimaan kokonaan uusia toimintatapoja tai vähintäänkin tarkastelemaan nykyisiä kriittisesti.

Autonomisiin järjestelmiin ja niiden soveltamiseen liittyvän osaamisen kartuttaminen, kehittäminen ja käyttöönotto ei tapahdu hetkessä. Onneksi työ on hyvässä vauhdissa ja siihen on valjastettu poikkitieteellisesti valtakunnan parhaita autonomian osajia.

Kirjoittajat:

Sotilasvirkamies, diplomi-insinööri Timo Lampinen toimii Maavoimien tutkimuskeskuksessa tutkimusinsinöörinä vastualueinaan erilaiset autonomiaan, tekoälyn ja operaatioanalyysin tukeen liittyvät tutkimustehtävät.

Diplomi-insinööri Tatu Tahkokallio toimii erikoistutkijana Maavoimien tutkimuskeskuksessa tehtäväänään kehittää tutkimus- ja kehittämistoimintaan liittyviä metodeja ja prosesseja.

Integraatiotestaus osana kehittämistoimintaa

Ohjelmistojen rooli nykypäivän sotilaallisessa toiminnassa on suuri. Tämä artikkeli tarkastelee ohjelmistojen integraatiotestausta osana johtamisjärjestelmäsuorituskyvyn rakentamista Maavoimissa. Esimerkkinä esitellään taistelunjohtojärjestelmän testausprosessi. Lopuksi artikkeli pohdii integraatiotestauksen ja ohjelmistokehityksen tulevaisuuden suuntia.

Kymmenen vuotta integraatiotestausta

Maavoimat aloitti johtamisjärjestelmäohjelmistojen integraatiotestauksen vuoden 2012 alussa. Tätä aiemmin integraatiotestaamiselle ei ollut varsinaista tarvetta, koska suorituskyvyt ostettiin valmiina tuotteina. Järjestelmiä toki testattiin mutta lähinnä käyttäjien näkökulmasta. Tilanne muuttui, kun Puolustusvoimat käynnisti M18-johtamisjärjestelmän kehittämisen ja muodostui tarve ohjelmistotuotantojen testaustoiminnalle.

Tänä päivänä Maavoimien johtamisjärjestelmäsuorituskykyjen kehittäminen nojaa vahvasti empiiriseen tutkimus- ja kehitystyöhön. Tässä kokonaisuudessa integraatiotestauksella pyritään varmistamaan sekä ohjelmistopäivitysten että uusien ohjelmistojen toimivuus ja laatu. Maavoimissa ohjelmistotuotannolle on tunnusomaista yhteistyö, jossa integraatiotestaukseen sitoutetaan tarpeen mukaan ammattiosaajia sekä Puolustusvoimista että teollisuudesta.

Testaukseen osallistuva Puolustusvoimien henkilökunta voidaan jakaa kahteen ryhmään. Ensimmäinen koostuu järjestelmien kehittämisestä vastaavista järjestelmäasiantuntijoista. Heidän joukostaan muodostetaan integraatiotoimisto, jonka tehtävänä on edistää ja valvoa integraatiotestausta. Toinen ryhmä muodostuu loppukäyttäjien edustajista, jotka tulevat järjestelmiä käyttävistä joukko-osastoista. Teollisuudesta testaukseen osallistuu projektipäälliköitä ja ohjelmistokehittäjiä, jotka ovat vastuussa ohjelmistojen varsinaisesta koodauksesta.

Maavoimien testaus- ja integraatiosykli osoittautunut toimivaksi

Ohjelmistojen kehitystyö perustuu aina ennalta määritettyihin vaatimuksiin. Vaatimukset voivat olla tarkkoja, jolloin tarkoituksena on saada aikaan palvelutuotantoon siirrettävä ohjelmisto tai sen osa. Vaatimukset voivat olla myös epätydellisiä, esimerkiksi jos tavoitteena on pelkkä proof-of-

concept (POC) -demonstraattori. Tarkat vaatimukset perustuvat aina Maavoimien määrittämiin suorituskyky- ja kyvykkyystarpeisiin, kun taas POC-ideoita voi syntyä myös integraatiotestaamisen aikana.

Vuonna 2019 integraatiotestaus jaettiin kahteen vaiheeseen: esi-integraatioon ja varsinaiseen integraatioon. Vaiheistamiseen päädyttiin, kun havaittiin, että laboratorioissa kehitettyjen POCien integrointiyhtymiset tuotantokelpoisten ohjelmistokomponenttien kanssa eivät olleet mielekkäitä. Nykyisellään esi-integraatioissa pääpaino on yksittäisten toiminnallisten ja ei-toiminnallisten vaatimusten toimivuuden ja integraatiomahdollisuuksien tarkastelussa. Näitä tavoitteita tukee testausympäristö, joka on varsinaisen integraatioverkon kaltainen mutta yksinkertaisempi eikä skaalaudu suurta käyttäjämäärää varten.

Varsinaisessa integraatioverkossa testataan yksittäisen järjestelmän kohdealustaa, ohjelmiston toimivuutta kokonaisuutena ja kokonaisuuden yhteensopivuutta Maavoimien kohdearkkitehtuurin muiden elementtien kanssa. Varsinaisen integraatiotestauksen tavoitteena on varmistaa, että ohjelmistojulkaisu vastaa asetettuja vaatimuksia ja on riittävän luotettava palvelutuotantoon siirrettäväksi.

Varsinaisia integraatiotestejä tehtiin ennen vuotta 2020 puolen vuoden sykleissä. Tällöin testejä seuranneiden kenttäkokeiden kautta kyettiin viemään uusia toiminnallisuuksia palvelutuotantoon kaksi kertaa vuodessa. Sittemmin on siirrytty malliin, jossa testatut, paketoitiedut ohjelmistot siirretään kenttäkokeisiin vain kerran vuodessa. Uuden toimintamallin etuna on koodaukseen ja esitestaukseen vapautunut lisäaika, joka vuorostaan on tuottanut integraatiotestaukseen valmiimpia, laadukkaampia ohjelmistojulkaisuja.

Nykyprosessissa peräkkäisiä vaiheita ovat integraatiotestaus, kenttäkoe ja palvelutuotantoon vienti, joista jokainen vie noin kuusi kuukautta. Käytännössä integraatiotestaus jatkaa kuitenkin toimintaansa myös kenttäkokeiden ja palvelutuotantoon viennin aikana. Laajempia integraatiotestaustilaisuuksia järjestetään useamman kerran vuoden aikana.

Kenttäkokeet toteutetaan tietyn tai tiettyjen joukko-osastojen kanssa yhdessä. Kenttäkokeisiin osallistuvilla joukko-osastoilla on yleensä mahdollisuus käyttää ohjelmistoja myös koulutus- ja harjoitustarkoituksiin. Kenttäkokeissa käyttäjien määrä on integraatiotestaukseen verrattuna mer-

kittävästi suurempi: käyttäjinä toimivat henkilökunnan lisäksi varusmiehet ja reserviläiset.

Kenttäkokeen loppupuolella suoritetaan katselmointi, jonka perusteella tehdään päätös julkaisun siirtämisestä palvelutuotantoon. Palvelutuotantoon vienti tarkoittaa ohjelmistojulkaisun käyttöönottoa joukko-osastoissa, joissa ko. suorituskyky on käytössä.

Hätämuutoksilla pikakorjauksia

Esi-integraatiotestauksen, integraatiotestauksen ja kenttäkokeiden aikana havaittujen vikojen ja vajaatoiminnallisuuksien vaikutus arvioidaan tapauskohtaisesti. Jos todetaan, että havaitun vian tai puutteen kanssa voidaan elää palvelutuotannossa, vika korjataan vasta tulevassa ohjelmistoversiossa. Jos taas vika tai puute on kenttäkokeen – ja tulevan palvelutuotannon – kannalta kriittinen, se korjataan hätämuutoksella. Hätämuutosten käyttöä ei tosin suositella, koska ne rikkovat integraatioprosessin. Hätämuutospäätöksissä operatiivisten käyttäjien kuuleminen ja heiltä saatavan ohjauksen huomioiminen on sikäli tärkeätä, että he edustavat



Kuva 1. MATI2TSTJJ yhdistettynä taktiseen verkkoon. Kuvassa Android-päätelaite, LV241-kenttäradio ja taistelijan reititin. (Kuva: Puolustusvoimat)

järjestelmien käyttöön liittyvää taktista ja taisteluteknistä erityisosaamista.

Työpajat uusien ideoiden hautomona

Olenainen osa integraatiotestauksen toimintamallia on työpajatoiminta. Työpajoissa järjestelmäasiantuntijat, loppukäyttäjien edustajat, ohjelmistokehittäjät ja muut testajat keskustelevat pyöreän pöydän ääressä tarpeista, rajoitteista ja resursseista.

Työpajat toimivat kyvykkyysvaatimus- ja järjestelmävaatimusmäärittelyjen välimaastossa tilaisuuksina, joissa ideoita voidaan tarkastella sekä teknisistä että toiminnallisista näkökulmista. Työpajat eivät kuitenkaan tee päätöksiä vaatimusten toteuttamisesta, vaan nämä ovat hankejohton vastuulla.

Taistelunjohtojärjestelmän integraatiotestaus – monipäiväinen ja monitoimijainen tapahtuma

Maavoimien tietojärjestelmän uusi taistelunjohtojärjestelmä (MATI2TSTJJ) hyödyntää M18- taktista verkkoa ja koostuu Android-päätelaitteista, taistelijan reitittimistä ja kenttäradioista (kuva 1). Teknisesti järjestelmää voidaan käyttää myös ilman kenttäradiota kaupallisen LTE-verkon yli. Taistelunjohtojärjestelmän käyttäjiksi on suunniteltu Maavoimien perusyksiköt.

MATI2TSTJJ:n kehitystyö on edennyt integraatiotestien kautta kenttäkoevaiheeseen, ja taistelunjohtosovelluksen avulla on lupa johtaa esimerkiksi kovapanosammuntoja. Varsinaisen taistelunjohtosovelluksen lisäksi testattavina ovat reititinohjelmit sekä asennus- ja hallintajärjestelmät. MATI2TSTJJ-järjestelmän integraatiotestaus nivoutuu täten tiiviisti M18-järjestelmän testaamiseen.

MATI2TSTJJ-integraatiotestaus käynnistyy tyypillisesti siten, että testausta edeltävällä viikolla Maavoimat vastaanottaa uuden ohjelmistojulkaisun toimittajalta. Heti perään Maavoimien tietojärjestelmäsektori tekee ohjelmistolle suppean vastaanottotestauksen. Sillä varmistetaan, että ohjelmistopakettit asentuvat kohdelaitteisiin oikein ja että sovellukset toimivat päällisin puolin odotetulla tavalla (kuva 2).

Varsinaisen integraatiotestausviikon ensimmäisenä päivänä joukko-osastoista tulleet testajat asentavat ohjelmit kaikille testilaitteille. Tämän jälkeen testausryhmä testaa uudet ohjelmistoversiot vakioituilla testitapauksilla. Näin varmistetaan, etteivät uudet ominaisuudet ole rikkoneet aiemmin kehitettyjä toiminnallisuuksia.

Testausviikko huipentuu yhteiseen tilannekuvatestipäivään. Taistelunjohtojärjestelmä on liitetty esi-integraatioympäristöön, ja järjestelmän toimivuus testataan osana M18-jär-

jestelmää. Ohjelmistokehittäjät osallistuvat tilannekuva-testeihin tavallisesti havainnoijan roolissa. Tämä tarjoaa mahdollisuuden seurata järjestelmän käyttöä autenttisessa ympäristössä, ja toimintatavasta onkin saatu hyviä kokemuksia.

Testausviikon lopussa havaitut viat ja poikkeamat sekä mahdolliset kehitysideat kirjataan tiketöintijärjestelmään. Tike-töintijärjestelmää hyödyntäen arvioidaan ja suunnitellaan tulevat tehtävätarpeet ja pyydetään työmääräarviot toimittajilta. Lopulta uusien, kehitettäväksi valittujen ominaisuuksien on määrä päätyä integraatiotesteihin seuraavassa integraatioharjoituksessa.

MATI2TSTJJ-kehitystyön erityishaasteena on, että taistelunjohtosovellus on suunniteltu Android-alustalla toimivaksi. Haaste tämä on siksi, että Android-käyttöjärjestelmää hyödyntäviin päätelaitteisiin tulee uusia Android-versioita lähes vuosittain ja yhteensopivuuden varmistaminen eteen- ja taaksepäin vaatii sovelluksen jatkuvaa ylläpitoa ja testausta. Nykyinen integraatiotestauksen toimintamalli vaikuttaa kuitenkin olevan Android-alustan päivityssyklin kanssa hyvin yhteensopiva ja mahdollistaa täten taistelunjohtosovelluksen päivittämisen palvelutuotantoon siirron jälkeenkin.

Kohti tulevaisuutta

Vaikka tulevaisuutta on vaikea ennustaa, peräpeiliin katso-malla voi todeta Maavoimien integraatiotestaustoiminnan olleen jatkuvassa kehityksessä viimeiset kymmenen vuotta. Tämän suunnan voi olettaa jatkuvan ja toimintamallien muovautuvan Maavoimien tarpeiden ja toimintaympäristön muutoksen mukana.



Kuva 2. Android-päätelaitteeseen kehitetty taistelunjohtosovelluksen prototyyppi. (Kuva: Puolustusvoimat)

Tietyt perusarvot toki pysyvät. Palvelutuotantoon halutaan jatkossakin viedä vain koestettuja, laadukkaiksi todettuja ohjelmistoja. Maavoimissa laaduksi koetaan paitsi ohjelmis-tojen toiminnallinen virheettömyys myös tieto järjestelmis-sä piilevistä vioista sekä mahdollisista epäkäytettävyyksistä. Tällainen tieto voi tiukan paikan tullen olla kultaakin arvokkaampaa. Sotilaallisten suorituskykyjen kehittämisen kannalta on siis järkevää, että Maavoimat ylläpitää testaus- ja kehitystoimintaa, joka ei reagoi ”joka rasahdukseen” vaan tukee vakaata, huolellista ohjelmistojen kehittämistä.

Tulevaisuudessa uusilla, ohjelmistoihin nojaavilla suorituskyvyillä – siinä missä MATI2TSTJJ-järjestelmälläkin – on jatkuvana haasteena siviiliteknologioiden nopea kehitys mutta usein myös tarve palvella tai vähintäänkin toimia yhteen Maavoimien ja toisten puolustushaarojen muiden hankkeiden kanssa. Tässä skenaariossa kehityssykli kiihty-vät ja testattavan koodin ja rajapintojen lukumäärä kasvaa vauhdilla. Lienee siis aiheellista tutkia, miten testausauto-maatiolla olisi mahdollista edistää ohjelmistotuotantoa. On-neksi tällä saralla on jo otettu ensiaskeleita kohti ohjelmis-torobotiikkaa.

Lopuksi todettakoon, että tekoälyn ja koneoppivien malli-en hyödyntämisen tulisi alan asiantuntijoiden mukaan olla jo nyt kaikessa ohjelmistokehityksessä läsnä. Tulisi tutkia, millaisia oivalluksia ohjelmistojen käsittelemästä tiedosta ja käyttäjien tavasta käyttää ohjelmistoja on kerättävissä. Li-säksi tulisi tutkia, miten koneoppimista voitaisiin hyödyntää tiedon keräämisessä ja jalostamisessa sekä uusien oivallusten tekemisessä. Kenties taktinen kyvykkyytemme loikkaisi ensi vuosituhannele, jos nykyiset kehityspanokset suunnattaisiin paperikarttojen jäljittelyn sijaan toisaalle. Esimerkiksi tais-telusimulaatioita reaaliajassa laskeva, skenaarioita tuottava johtamisjärjestelmä saattaisi mullistaa taisteluosastojen esi-kuntatyöskentelyn.

Kirjoittajat:

Diplomi-insinööri Tatu Tahkokallio toimii erikoistutkijana Maavoimien tutkimuskeskuksessa tehtävänäään kehittää tutki-mus- ja kehittämistoimintaan liittyviä metodeja ja prosesseja.

Insinööriyliluutnantti, maatalous- ja metsätieteiden maisteri Marko Leppävuori toimii Maavoimien tutkimuskeskuksen T&K-osastossa vastuualueenaan Maavoimien taistelunjohto-järjestelmän kehitys- ja testaustoiminta.

Tätä artikkelia varten haastateltiin kapteeni Markku Hölsöä, joka palvelee Maavoimien tutkimuskeskuksen T&K-osastolla tutkijajupseerina.



Merisotakoulu, Meritaistelukeskus

Merenpohja – tuntematon uhka toimintaympäristössä

Suomen merialueiden merenpohja on geologiselta luonteeltaan erittäin uniikki. Keskisyvydeltään hyvin matala merialue pitää sisällään muun muassa syviä ruhjelaaksoja, joissa virtaa voimakkaita merivirtoja, sekä rauhallisia lahtia, joissa sedimenttejä kasaantuu valtameristä poiketen matalissakin olosuhteissa. Merialueidemme rikkaus tuo myös mukanaan haasteita erityisesti sen merenpohjan tutkijoille ja käyttäjille. Jos emme tunne merenpohjan uhkakuvia, oma merialueemme voi kääntyä taistelussa meitä vastaan. Miksi muutenkaan merenpohjamme olisi täynnä sinne vajonneita hylkyjä?

Metaanipurkauksia myös Itämeressä

Keväällä 2001 kahden hengen miehitetty sukellustutkimuslaite teki tutkimusmatkan Öron edustalla ja löysi merenpohjasta kahdeksan hehtaarin kokoisen kraatterin. Kraatteri oli

syntynyt metaanipurkauksesta merenpohjan sedimenttikerrostumien antaessa periksi kallioperästä ajan mittaan tihkuneelle metaanille. Metaani oli muodostanut sedimenttikerrostumien alle kaasutaskun, joka oli paisuttanut merenpohjaa ylöspäin kuin hiiva kohoavaa pullataikinaa. Purkautuessaan metaani ei vain aiheuttanut merenpohjaan purkaukraatteria vaan teki myös yläpuolisesta vesipatsaastaan kantamattoman. Näin ollen kaasupurkauksen aikana vesipatsaan pinnalla kulkenut alus olisi autuaasti, syytä tietämättömänä, vajonnut hylkyksi merenpohjaan vain muutamassa sekunnissa.

Vaikka Öron edustalla oleva kraatteri onkin ainutlaatuisen metaanipurkaus Suomen merialueilla, metaanin purkautuminen merenpohjan sedimenteistä ei ole niinkään harvinaista. Merivoimien keräämissä viistokaikukuvissa on havaittavissa pieniä mutakraattereita useiltakin karttalehdiltä ympäri Suomen merialueita. Tosin näiden mutakraat-

Ruostunut laivan hylky Utön edustalla.
(Kuva: Laura Laaksonen)



tereiden purkauksien metaanipitoisuudet ovat niin pieniä, etteivät ne upottaisi soutuvenettäkään. Metaanin määrä on kuitenkin tarpeeksi merkittävä häiritsemään tutkimuslaitteita, kuten viisto- tai akustisia sedimenttikaikuluotaimia. Vesipatsaassa oleva metaani häiritsee kaikuluotaimesta lähtevää äänisignaalia, kun ääni siirtyy eikä kykene saavuttamaan merenpohjaa tai vastaanottavia antureita. Tällaisissa tilanteissa kaasu on yleensä jäänyt loukkuun harppauskerroksen alle, eikä se näin ollen ole kyennyt noustessaan läpäisemään ylempää, tiivistä vesikerrostumaa. Teoriassa tällaiseen harppauskerrokseen loukkuun jääneen kaasupilven alle voisi esimerkiksi piiloutuakin jollakin sukeltavalla esineellä.

Metaanikraattereita esiintyy myös muissa merissä kuin vain Itämeressä. Esimerkiksi Pohjanmeren pohjassa on havaittavissa neliökilometreittäin kraatteripeltoja, jotka toimivat myös indikaattoreina öljyesiintymille. Siellä missä esiintyy öljyä, on tyypillisesti myös metaanikaasua, mutta missä on metaanikaasua, ei aina ole öljyä. Näin on Suomen merialueilla, missä kallioperästä tiikuu vain metaanikaasua eikä öljyä ole niinkään havaittavissa. Toisaalta vaikka Pohjanmerellä onkin merigeologisia rikastumismahdollisuuksia, myös merigeologiset hasardit ovat siellä paljon vaarallisempia kuin Itämerellä. Norjan edustalla merenpohjassa tapahtuu esimerkiksi maanvyörymiä, joista merkittävin, Storeggan maanvyörymä, aiheutti kivikaudella 14-metrinen tsunamiaallon Färsaarille. Vaikka Itämeressä ei tällaisia vedenalaisia maanvyörymiä merkittävässä määrin tapahdu, sellainen olisi tapahtuessaan erittäin vaarallinen.

Tsunami Itämerellä epätodennäköinen mutta mahdollinen

Tutkijat ovat todenneet, että tänä päivänä tsunamin syntymisen Itämerellä olisi hyvin epätodennäköistä. Tätä on perusteltu Itämeren mataluuteen vedoten: hyökyaalto ei kykenisi matkustamaan keskisyvydeltään 54 metriä syvässä meressä. Kuitenkin viimeisen 12 000 vuoden sisällä Itämeren altaassa on tapahtunut ainakin 16 tsunamiaallon tapaista vedenkorkeuden äkillistä muutosta. Näin ollen on harhaanjohtavaa todeta, että hyökyaallon muodostuminen olisi täysin mahdotonta Itämerellä. Aallon voisi aiheuttaa esimerkiksi rantatörmän romahtaminen tai merenpohjan kallioperän jännitteiden purkautuminen eli maanjäristys. On toisaalta huomioitava, että Suomen rikkonainen, saaristoinen rantaviiva osin suojelee asutusalueita aalloilta, minkä vuoksi eteläiseltä Itämereltä tulevat aallot tyypillisesti murtuvat jo ennen rannikkoa. Tänä päivänä on paikoitellen havaittavissa nopeita merenpinnan korkeuden muutoksia ilmanpaine-erojen seurauksina. Varsinkin kapeissa salmissa merenpinta voi ilmanpaine-erojen vuoksi laskea tai kohota metrin verran vain 15 minuutissa. Ainakin yhden veneen tiedetään ajaneen karille, kun merenpinta olikin satunnaisesti oletettua alempana ilmanpaine-erojen vaikutuksesta.

Suurin uhka erittäin haastava merenpohjan topografia

Toisaalta Suomen merialueiden merenpohjan suurimmat vaarat eivät ole tällaiset yksittäiset, hyvin harvinaiset tapahtumat, joita tapahtuu arvaamattomasti ja erittäin epätodennäköisesti. Merialueidemme merkittävin vaara on se itse sellaisenaan – niin kuin se on makaavana merenpohjana. Vaikka Suomessa on totuttu rikkonaiseen, karikkoiseen rantaviivaan ja rakenteeltaan mosaiikkiseen saaristoon, se ei maailmalla ole mitenkään tuttu merenkulullinen toimintaympäristö. Kaiken kaikkiaan Suomen merialueilla on eniten merimerkkejä maailmassa Yhdysvaltojen jälkeen. Saaristonavigointi vaatii merenkulkijalta erityisiä taitoja, jotta hän ei ajautuisi vedenalaiseen uhkaan, joka voi odottaa aivan väylän tuntumassa. Miten muutenkaan risteilyalus olisi ottanut pohjakosketuksen Ahvenanmerellä aurinkoisena, tyynenä päivänä syksyllä 2020? Monesti pohjakosketus on peräisin inhimillisestä virheestä, mutta meidän haastavalla merialueellamme pienikin virhe voi johtaa haaksirikkoon. Suomen merialueiden merenpohjan topografia on luonteeltaan yksi maailman haastavimmista. Sen vuoksi ei tule ottaa itsestäänselvyytenä kykyämme käydä taisteluun tässä vähän tunnetussa vedenalaisessa toimintaympäristössä.

Merenpohjan laatu tutkimuksen pääkohteena

Nykyään Suomen merivoimien merigeologinen tutkimus kohdistuu pääsääntöisesti merenpohjan laatuun eli siihen, kuinka pehmeää vallitseva merenpohjan maalaji on luonteeltaan. Mielenkiinto merenpohjan maalajien pehmeyyteen perustuu niiden kykyyn kannatella pohjaan pudotettavaa merimiinaa niin, etteivät miinojen herätteitä vastaanottavat anturit hautautuisi sedimenttikerrostumiin. Kannattelevia eli kovia maalajeja ovat esimerkiksi kallio, moreeni ja hiekka sekä jääkauden aikana muodostunut tiivis glasiaalisavi. Jääkauden jälkeen Itämeren pohjaan alkoi kerrostua postglasiaalisavea, jonka kannattelevuus on puolipehmeää; siihen pudotettava esine ei täysin uppoudu kerrostumaan. Kuitenkin viimeisimpien tuhansien vuosien aikana Itämeren pohjan syvänteisiin on alkanut kerrostua erittäin löyhää resistentistä liejusavea, jonka kannattelevuuskyky on hyvin heikko. Löyhän rakenteensa myötä resistentinen liejusavi lähtee myrskyjen aikana erittäin helposti uudelleen liikkeelle ja peittää alleen uusia alueita. Näin ollen merialueidemme pohjassa toimii edelleen aktiivinen merigeologinen prosessi, joka on luonteeltaan arvaamaton ja näin ollen vaarallinen.

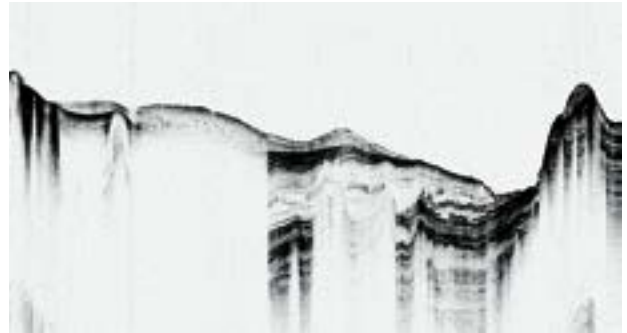
Kartoittamalla resistentin liejusaven kasaantumisympäristöjä kyetään saavuttamaan ymmärrys siitä, millaiset olosuhteet ovat otolliset juuri tämän kaltaisen löyhän sedimenttikerrostuman muodostumiselle. Kartoituksen tuloksena on



Postglasiaalisia savikerrostumia merenpohjan sedimentinäytteessä Saaristomereltä. Näytteen ympärille kaukalo on levinnyt tummaa, löyhärakenteista resenttistä liejusavea. (Kuva: Laura Laaksonen.)

saavutettu kokonaisvaltaisempi käsitys siitä, millainen toimintaympäristö merenpohja todellisuudessa on. Aikaisemmin merenpohjaa on tyypillisesti pidetty hyvin stabiilina ja rauhallisena ympäristönä, missä hyvin harvoin tapahtuu erityisiä muutoksia. Tutkittaessa merenpohjan sedimenteistä kerättyjä poikkileikkauksia on kuitenkin paljastunut aivan uudenlainen, hyvin dynaaminen merenpohja, missä erityisesti merivirrat sekä aallokko pitävät vesimassaa ja merenpohjaa jatkuvassa liikkeessä. Tuloksia tukevat sukeltajien kertomat tarinat sellaisista merenpohjan olosuhteista, joissa veden virtaus on ollut niin voimakas, että pystyssä pysyäkseen on täytynyt nojata virtausta vastaan.

Tekemällä tuntemattomasta tunnettu voidaan tehdä uhasta mahdollisuus. Suuntaamalla tutkimusta resenttisen liejusaven käyttäytymiseen ja esiintymiseen kyetään optimoimaan merimiinoittamisen tehokkuutta merenpohjan toimintaympäristössä. On myös huomioitava, etteivät liejusaven ominaisuudet rajoita pelkästään merimiinoitustoimintaa. Pehmeän, huokoisen rakenteensa myötä liejusavi myös ab-



Merenpohjan sedimenttikerrostumia kuvaava kaikugrammi, joka on kerätty Katanpää-luokan miinanorjunta-aluksilla käyttäen TOPAS-laitteistoa. Kaikugrammissa päällimmäisenä on havaittavissa resenttistä liejusavea, jonka orgaanisuus aiheuttaa häiriöitä alempiin sedimenttikerrostumiin. Oikeassa laidassa taas on havaittavissa virtausuoma, joka on kuluttanut voimakkaasti merenpohjan sedimenttejä.

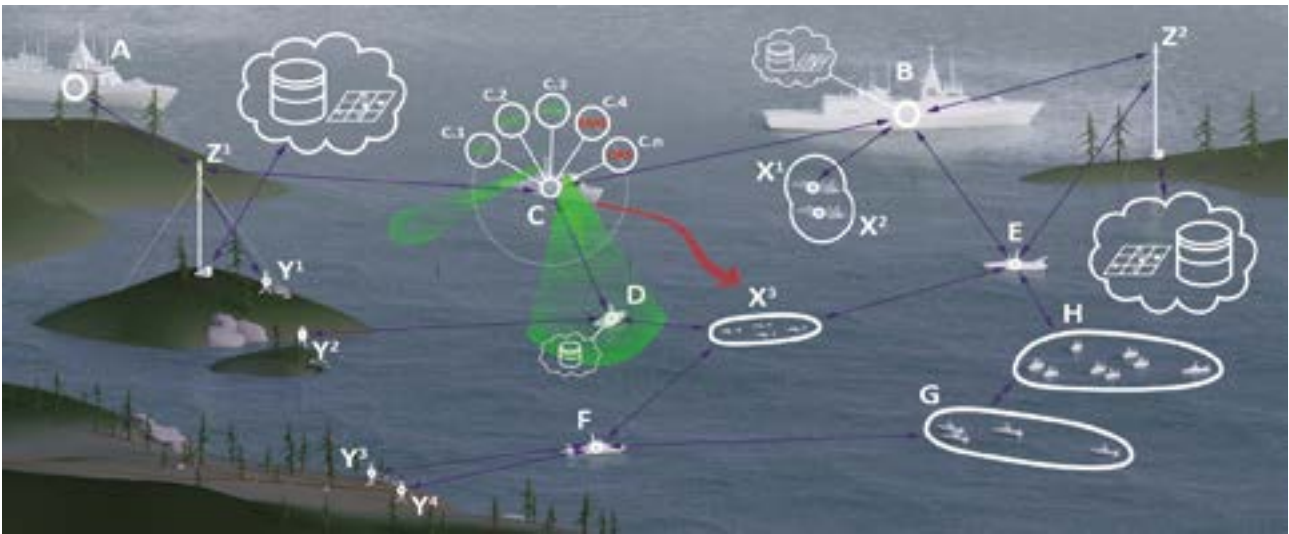
sorboi itseensä ääntä eli vaimentaa ääniherätteitä sekä toisaalta eloperäisen koostumuksensa myötä päästää itsestään kaasuja, jotka jo edellä on todettu haitallisiksi vesipatsaan toimintaympäristössä. Näin ollen sen ominaisuudet voivat koitua vastustajan hyödyksi tilanteissa, joissa liejusedimentti toimii äänieristeenä tai sen kaasut piilottajina. Siinä määrin kuin pehmeä liejusavi tuottaa ongelmia Suomen merivoimien merimiinoittamiselle, se on ongelma myös muille merenkulkijoille merialueillamme. Jos kuitenkin tunnemme merenpohjamme ominaisuudet, tulemme aina olemaan vastustajaa askeleen edellä merenpohjan toimintaympäristössä.

Kirjoittaja:

Filosofian maisteri Laura Laaksonen toimii kirjoittaessaan artikkelia merenpohjan pehmeiden sedimenttien dokumentoina Merisotakoulun Meritaistelukeskuksessa vedenalaisen sodankäynnin tukitietokeskuksessa. Hän kirjoitti pro gradu -tutkielmansa Turun yliopistossa Merisotakoululle resenttisen liejusaven käyttäytymisestä Suomen merialueiden merenpohjan hydrodynaamisissa ympäristöissä.

Kyberfyysisten järjestelmien mallintaminen

– laskennallisilla menetelmillä tulevaisuuteen



Verkottuneita järjestelmiä merellisessä toimintaympäristössä. (Kuva: Vesa Viljanen)

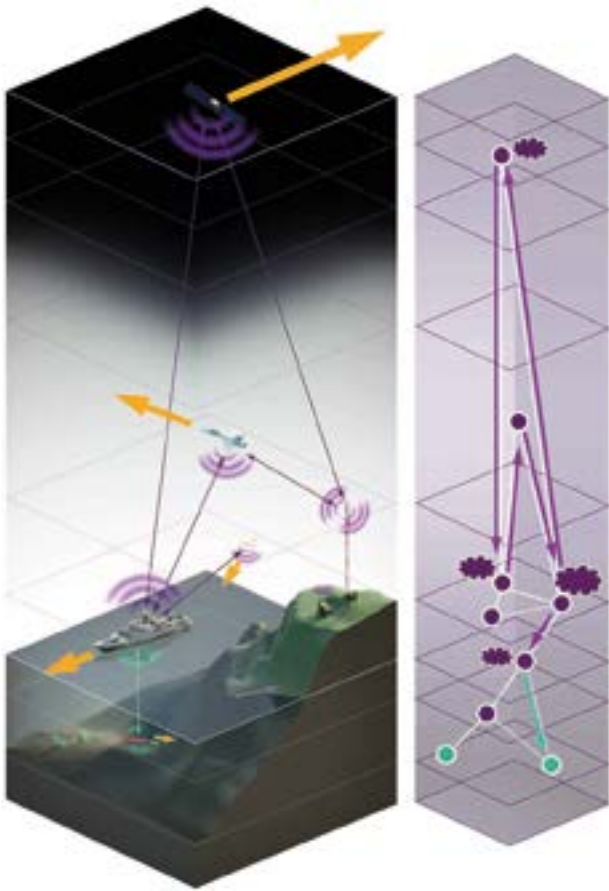
Yksi kyberfyysisten järjestelmien mallintamisen keskeisistä haasteista on kyetä kuvaamaan fyysisen ulottuvuuden ja kyberulottuvuuden välisiä dynaamisia vuorovaikutus- ja syy-seuraussuhteita. Opinnäytetyönä toteutetulla tutkimuksella on pyritty perehtymään kasvavan kiinnostuksen kohteena olevan aihealueen määrittelyihin sekä selvittämään muun muassa merellisen toimintaympäristön mallintamisessa hyödynnettäviä menetelmiä.

Fysiikasta verkkoon ja takaisin

Kyberfyysiset järjestelmät (Cyber-Physical System, CPS) ovat keskeinen tulevaisuuden kehityskohde niin arkipäiväisessä elämässä, teollisuuden tarpeissa kuin maanpuolustuksessa. Sama pätee myös moniin muihin soveltamiskohteisiin, joissa verkottuneiden sensorien tuottamalla reaaliaikaisella tai älykkäällä tilannekuvalla saavutetaan seurattavien fyysisen prosessien tehokkuuden, laadun tai luotettavuuden kannalta keskeinen hyöty. Kyberfyysisten järjestelmien kehittymisen on katsottu olevan tietokoneiden keksimisen jälkeen seuraava iso muutos, joka näkyy muun muassa sulautettujen järjestelmien, automaatiotekniikan ja palvelupohjaisten ratkaisujen kehityksessä. Muutoksen mahdollistajana ovat erilaiset digitalisaation myötä tulleet tekniikat, kuten ketterät

IoT-rajapinnat (Internet of Things), pilvipalvelutekniikat sekä uudet infrastruktuurittomat (ad hoc) ja infrastruktuurilliset tietoliikenneyhteydet (esim. 5G, LPWAN, NB-IoT). Johtamis- ja taistelujärjestelmien välillä on voitu hyödyntää hieman vastaavasti telemetriatietojen välittämiseen tarkoitettuja taktisia datalinkkejä, kuten Link 16- ja -22-järjestelmiä. Useimmat jo olemassa olevat järjestelmät ovat siis yhdisteltävissä kattavampiin kokonaisuuksiin uusien, ketterämpiä informaatioteknologisia ratkaisuja käyttäen.

Muutoksen voi ajatella olevan fyysisen ulottuvuuden laajentamista keinotekoisella kyberulottuvuudella, jolla pohjustetaan informaation saatavuuden lisäksi robotisaation eli järjestelmien autonomistumisen edellyttämiä teknologioita. Muutoksesta puhutaan esimerkiksi IT-OT-konvergenssina, jolla tarkoitetaan informaatioteknologisten ja operaatioteknologisten järjestelmien tiiviimpää integroitumista toisiinsa. Markkinoinnillisena terminä kehityksen keskeisimmistä innovaatioista, kuten kyberfyysisistä järjestelmistä ja IoT:stä, käytetään neljättä teollista vallankumousta (Teollisuus 4.0). Vertailuna sille kolmannen teollisen vallankumouksen keskeisimpinä keksintöinä pidetään tietokoneita ja automaatiotekniikkaa (1969), toisen sähköä (1870) ja ensimmäisen vesi- ja höyryvoimaa (1784).



Kuva 1. Fyysinen ulottuvuus ja kyberulottuvuus. (Kuva: Vesa Viljanen)

Kehityksen tuomat muutokset asettavat informaatio- ja kybertoimintaympäristöt yhteiskunnallisesti niin merkittävään asemaan, että niiden puolustamisesta ja niihin vaikuttamisesta on tullut hyvin merkityksellistä. Kyberfyysisuus avaa myös uudet kyberuhkien haasteet, sillä vaikutus ei ole ainoastaan informatiivista vaan myös välittömän fyysistä. Kehitys vahventaa niin yhteiskunnan kuin sotilaallisten järjestelmien riippuvuutta tietoverkkojen ja tietoteknisten palvelurakenteiden osien toimivuudesta ja luotettavuudesta.

Vastineena uhkille kybermahdollisuuksina on tuottaa usealla sensorilla kattava käsitys erilaisten fyysisten prosessien kullusta. Näin em. tiedoista koostetun tilannekuvan voi jakaa nopeampia päätöksentekoprosesseja varten. Kattava sensoritietojen saatavuus avaa mahdollisuuksia fyysisten prosessien tarkalle analysoinnille ja tätä kautta aiempaa kokonaisvaltaisemmalle prosessien tehostamiselle sekä tekoälyn hyödyntämiselle osana päätöksentekoa.

Tutkimus- ja mallinnusongelmat tarkastelussa

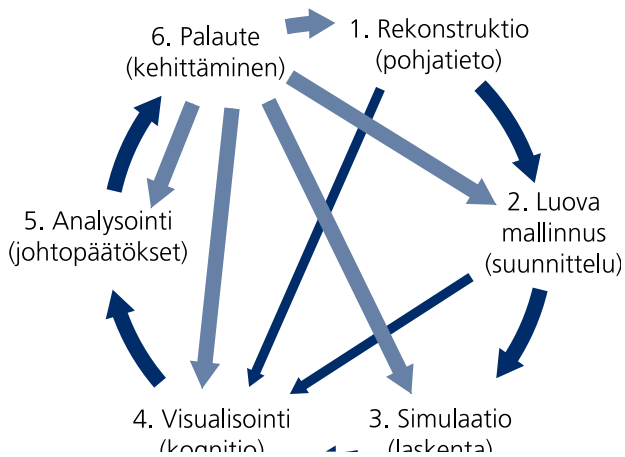
Opinnäytetyönä toteutetulla monimenetelmäisyystutkimuksella on pyritty perehtymään aihealueen määritelmiin ja kontekstiin, jossa fysiikkaan painottuva tutkimus kohtaisi kybertutkimuksen ja täten lähentäisi näitä kahta tutkimusala. Fysiikan tutkimuksen ja kybertutkimuksen välisen yhteistyön kehittäminen voisi tuoda innovatiivisuutta niin sanotusti ”kyberriippuvaisten” tai ”kybertehostettujen” järjestelmien suunnittelulle. Näin ollen kyber-käsitteen osalta on pyritty keskittymään enemmän mahdollisuuksiin kuin uhkiin.

Tutkimuksen ongelmana on esitetty tarve tehokkaammille suunnittelukeinoille tulevaisuuden monimutkaistuvien järjestelmäkokonaisuuksien kehittämiseksi ja ottamiseksi käyttöön. Tutkimustyön mallintamiseen liittyvässä osuudessa on selvitetty erilaisia olemassa olevia ohjelmia, joilla voidaan tukea toiminnallisten mallien ja laskennallisten arvioiden tuottamista ennen kuin järjestelmä on olemassa tai käytössä. Kyberfyysiset järjestelmät tuovat tähän aiempaa monimutkaisemman mallinnusongelman, johon ei ole kovinkaan monia yleisesti tiedossa olevia ohjelmistoja.

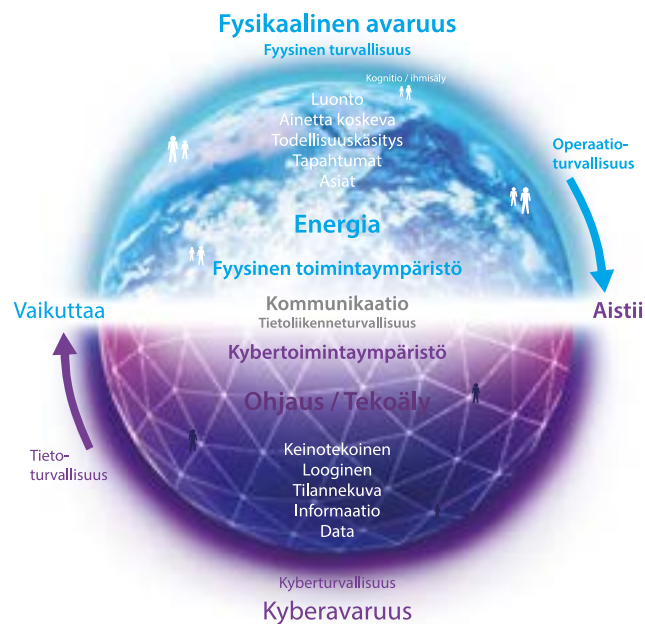
Mallinnusongelmana on ollut selvittää keinoja nk. *dynaamisten hybridijärjestelmien* vuorovaikutus- ja syy-seuraussuhteiden ymmärtämiseksi. Dynaamisella tarkoitetaan ajallisesti muuttuvaa eli liikevoimallista, hybridillä taas asioiden yhdistelmää. Käytännössä luonnollisissa kontekstissa kyseisen kaltaisia järjestelmiä ovat muun muassa langattomat kyberfyysiset järjestelmät. Esimerkkejä niistä ovat autonomiset ajoneuvot, sensoriverkot, mobiililaitteet ja muut tilannekuvasidonnaiset järjestelmät. Kuvassa 1 on kuvattu ulottuvuuksissa ja niiden välillä tapahtuvaa dynamiikkaa eli fyysistä etenemistä sekä informaation etenemistä.

Opinnäytetyö on toteutettu yleisluonteisena innovatiivisena selvitystyönä ilman varsinaista työn tilaajaa tai maanpuolustuksellista näkökulmaa. Tässä artikkelissa aihetta on lähennetty maanpuolustukselliseen hyödynnettävyyteen. Alla tärkeimmät tavoitteet.

Käsitteet Kyber-, kyberfyysinen, mallintaminen	Järjestelmän malli Yksittäisen kyberfyysisen järjestelmän malli	Mallintamisen prosessi Kyberfyysisien järjestelmien dynamiikan mallintaminen
--	---	---



Kuva 2. Mallintamisen kokonaisuus. (Kuva: Vesa Viljanen)



Kuva 3. "Kyberfyysinen pyörä". (Kuva: Vesa Viljanen)

Mallintamisen kokonaisuus voidaan saavuttaa loogisilla työvaiheilla

Mallintamisen kokonaisuuden määritelmällä on kuvassa 2 kuvattu mallintamisprosessia, jonka mukaan mallintamista voidaan toteuttaa erilaisina loogisina, kokonaisuutta kehittävinä työvaiheina. Tutkimus- ja kehittämistoimintaan pohjautuvilla mallinuksilla voidaan saavuttaa tuloksia, joilla voidaan vaikuttaa muun muassa päätöksentekoprosesseihin eri tavoin.

Kyberfyysinen järjestelmä – kyberulottuvuuden ja fyysisen ulottuvuuden rajalla

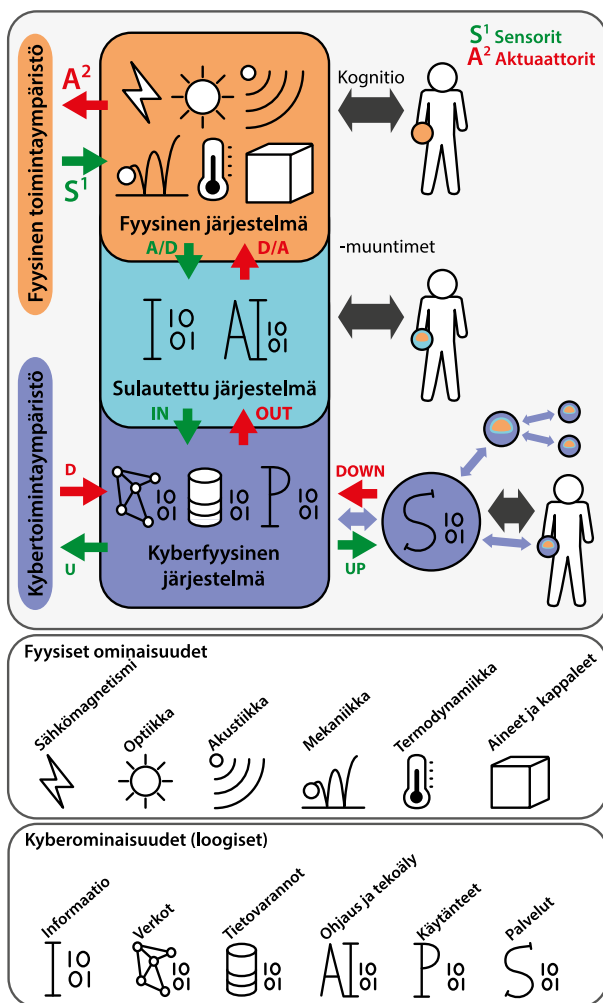
”Kyber-” on lähtöisin 1940-luvulta matemaatikko Norbert Wienerin kirjasta *Cybernetics: or control and communication in the animal and the machine*, johon se on lainattu kreikan kielen sanasta *kyberneo* – ’ohjata, hallita’. Kybernetikka (cybernetics) on edelleen nimitys kyseisen tieteen alalle, johon tämäkin tutkimus pohjautuu, mutta käytännölläheisistä lähtökohdista. Nykymuotoinen kyber-käsite ei sellaisenaan tarkoita mitään konkreettista, vaan sitä käytetään muun sanan etuliitteenä esimerkiksi sanassa *kyberturvallisuus*. Kyber-käsite viittaa tietotekniikassa informaatiota hallinnoiviin rakenteisiin, joilla on niin fyysisiä kuin kognitiivisia mutta erityisesti loogisia tasoja. Kyber- ja kyber-avaruus osoittavat yleensä tietoverkkoihin, sillä ne voivat muodostaa laajan, muuttuvan ympäristön, jonka kautta voidaan ns.

liikkua, seurata muiden liikettä ja vaikuttaa toisiin järjestelmiin ilman fyysisiä rajoitteita – edellyttäen tietysti, että riittävä pääsy verkon johonkin osaan on olemassa. Tässä tutkimuksessa kyberavaruutta on käsitelty loogisena rakenteena, jonka perusominaisuutena on ohjata ja hallita informaatiota. Fyysisyydellä taas tarkoitetaan kaikkea ainetta koskevaa, kuten ympärillä olevaa luontoa ja luonnonlakeja, jotka ovat samalla kybertoimintaympäristön kantavia rakenteita.

Kyberfyysisyydellä korostetaan fyysisen ulottuvuuden ja kyberulottuvuuden välistä rajapintaa eli käytännössä näiden ulottuvuuksien keskinäismerkitystä toisilleen jossakin järjestelmässä. Järjestelmä voidaan luokitella kyberfyysiseksi, mikäli se täyttää sille annetut ehdot pääpiirteissään. Kyberfyysiset järjestelmät mahdollistavat ohjaustoiminnallisuuksia kuvaavien palautesilmukoiden laajentamisen paikallisen järjestelmän ulkopuolelle muihin verkossa oleviin järjestelmiin (avoin järjestelmä). Näin kyetään saavuttamaan eri järjestelmien välille esimerkiksi kollektiivinen älykkyys, kuten parviäly. Mikäli kyberfyysinen järjestelmä ei liity suoraan ihmiseen itseensä, ihmisen läsnäolon tarve edellä mainittujen kaltaisten järjestelmien lähellä vähenee. Järjestelmien käyttö voi siis tapahtua yhä useammin tietoverkkopohjaisten palvelujen kautta etänä. Kyberfyysisten järjestelmien autonomisuuden kehittyminen taas vähentää jatkuvan ihmisohjauksen tarvetta. Tämän voi tulkita hillitsevän tietoverkkojenkin vaatimusten kasvua. Abstrakti kuvaus kyberfyysisestä palautesilmukasta ilmentyy kuvan 3 kautta.

Fyysisten ominaisuuksien lisäksi kyberfyysiseen järjestelmään kuuluvat kuvassa 4 kuvatut kyberominaisuudet, kuten loogiset verkkorakenteet, tietoturva parantavat käytänteet ja palvelurajapinnat ihmisen ja koneen välillä. Näin saavutetaan järjestelmä, joka

1. aistii tietoa (informaatio) fyysisestä toimintaympäristöstä sensorien (S1) avulla
2. valmistelee päätöksiä (ohjaus ja tekoäly) paikalliseen tietoon perustuen
3. jakaa ja vastaanottaa tietoa tiedonsiirtoyhteyksin kyber-toimintaympäristönsä kanssa (verkot, tietovarannot, käytänteet, palvelut)
4. muuttaa päätöksiä (ohjaus ja tekoäly) verkosta saadun tiedon perusteella
5. vaikuttaa takaisin fyysiseen toimintaympäristöön aktuaattorien (A2), kuten sähkömoottorin tai aaltolähteen, avulla.



Kuva 4. Kyberfyysisen järjestelmän abstrakti kuvaus. (Kuva: Vesa Viljanen)

Dynamiikan mallintamisen prosessi perustuu mallintamisen kokonaisuuteen

Dynamiikan mallintamisen prosessia eli dynamiikan simuloinnin edellyttämiä mallinnuksia ja sen jälkeisiä analyysejä on tutkimuksessa käsitelty mallintamisen kokonaisuuteen pohjautuen. Prosessin validointi eri tapauksissa edellyttäisi jatkotutkimusta ja kokeellista työtä, kuten erilaisten ohjelmien käyttöä ja esimerkkitapausten laadintaa simulaatioista. Alustavat havainnot tästä olivat, että dynamiikan simulointia voi hajauttaa useampiin eri ohjelmiin, niin stokastisiin kuin deterministisiin, mutta haasteeksi muodostuvat muun muassa simulaatioiden ajallinen synkronointi, kuten diskreettien tapahtumien ja jatkuvaan aikaan perustuvien simulaatioiden yhteensovittaminen. Myös käytettävyys ja tulosten luotettavuus kärsivät, mikäli simulaatiota suoritetaan usealla eri ohjelmalla. Muutosten keskinäisvaikutuksia voi olla vaikeaa tai jopa mahdotonta simuloida hajautetusti. Selvityksen pohjalta voidaan kuitenkin todeta olevan olemassa muutamia – ilmaisia ja kaupallisia – ohjelmia, joilla järjestelmät, lähtöasetelmat ja simulaatiot voidaan toteuttaa yhden ohjelmiston puitteissa.

Keskeiset havainnot

Tutkimuksessa toteutettu strukturoitu haastattelu tuki tarvetta tutkimuksen keskeisimpien käsitteiden, kuten ”kyber-”, ”kyberfyysinen” ja ”mallintaminen”, selvittämiselle. Haastattelu tuki myös omakohtaisten tulkintojen itsekriittisyyttä saadun palautteen muodossa. Haastattelun lisäksi nykytila-analyttinen läheselvitys tuki tarvetta kyberfyysisten järjestelmien suomenkieliselle selvitystyölle. Tutkimuksessa toteutettiin myös kokeellinen nykytila-analyysi tukiasemaverkkojen luotettavuudesta mobiilien järjestelmien toimivuudelle. Se tuki osaltaan tutkimus- ja mallin- nusongelmassa esitettyjä selvitystarpeita.

Kyberfyysisten järjestelmien – kuten minkä tahansa muun monimutkaisen asian – mallintamisella ja simuloinnilla voidaan saavuttaa helposti liian monimutkaisia ja epäluotettavia tuloksia, mikäli käytössä ei ole riittävän laadukasta pohjatietoa, kuten järjestelmää riittävän tarkasti kuvaavia järjestelmämalleja, ympäristötietoa tai laskentamalleja ja niitä tukevaa tietoa. Tässä on hyvä muistaa tilastotieteilijä George E. P. Boxin lausahdus vuodelta 1976: ”Kaikki mallit ovat väärässä, mutta jotkut ovat käyttökelpoisia.” Mallintamisen keinot ovat juuri monimutkaisuusyistä kovan kysynnän ja kiinnostuksen kohteina. Perinteisin menetelmin ongelmakohtiin ei nimittäin voida pureutua kovinkaan tarkasti, jos halutaan löytää säännönmukaisuuksia, raja-arvoja tai muita järjestelmän tehokkuutta ja luotettavuutta kuvaavia tietoja, tässä tapauksessa myös järjestelmien tiedonvälittymisen (tilannetietoisuuden) tasoa.

Järjestelmien tehokkuuksien ja luotettavuuksien mallintamisessa keskeistä on hahmottaa ne mahdollisuudet, joissa järjestelmämalleista voidaan simuloida ja visualisoida myös pienempiä osakokonaisuuksia. Tällöin tulokset voivat näiltä osin olla luotettavampia ja helpommin hahmotettavissa kuin kokonaisessa maailmasimulaatiossa.

Laskentatehojen saatavuuden ja ohjelmistojen kehittyessä yhä monimutkaisempia malleja ja simulaatioita kyetään käsittelemään aiempaa tehokkaammin. Näin myös tulosten laatu ja luotettavuus paranevat.

Yhteenveto

Monimutkaisten järjestelmien harkintaan ja luotettavuuteen perustuva käyttö edellyttää kykyä mallintaa ja simuloi-

da niitä sekä etupainoisesti että edelleen käyttöönoton aikana. Mallintamisella saavutetaan myös keskeisiä kustannusetuja, sillä kohteena olevaa järjestelmää ja siihen liittyviä muita resursseja ei tarvitse kuluttaa esimerkiksi aktiivisella koe- tai koulutustoiminnalla. Näin ollen mallinnettua virtuaalista järjestelmää voidaan käyttää simulaatioissa kustannustehokkaasti. Mikäli järjestelmistä kyetään luomaan yhtenäisten standardien mukaisia järjestelmämalleja käyttämällä esimerkiksi Modelica-olio-ohjelmointikielen FMU-malleja (Functional Mock-up Unit) tai HLA-standardin (High Level Architecture) FOM-malleja (Federation Object Model), myöhemmin voidaan mahdollisesti toteuttaa niitä hyödyntäen myös digitaalisia kaksosmalleja ja simulaatiomalleja suunnittelutarpeiden lisäksi operatiivisiin ja koulutuksellisiin tarpeisiin.

Kirjoittaja:

Insinööri Vesa Viljanen toimii Meritaistelukeskuksessa informaatioteknologian ja mallinnuksen asiantuntijana. Opinnäyte-työ on toteutettu Metropolian älykkään teollisuuden ylempään ammattikorkeakoulututkintoon.



Satakunnan lennosto, Ilmataistelukeskus

Hävittäjätoiminnan suorituskyky-mittaus

Suorituskykymittariston kehittämisen lähtökohdat

Joukko, sen sotavarusteet tai käyttöperiaatteet eivät yksinään muodosta suorituskykyä. Hävittäjäparven suorituskyky ilmataistelussa muodostuu kokonaisuudesta, johon vaikuttavat samanaikaisesti parven ohjaajat, parven lentokoneet järjestelmineen sekä parven soveltamat taistelutekniset ja taktiset käyttöperiaatteet (engl. Tactics, Techniques and Procedures, TTPs). Parven suorituskykyä arvioitaessa tulisi mitata näiden tekijöiden yhteisvaikutusta.

Ilmataistelussa, kuten lähes missä tahansa päätöksentekoaaktiiviteetissa, toivottu lopputulos on mahdollista saavuttaa myös virheellisillä päätöksillä. Toisaalta myös ei-toivottuun lopputulokseen voidaan päätyä oikeilla päätöksillä. Tämän vuoksi pelkän lopputuloksen mittaaminen tarjoaa puutteellisen kuvan parven suorituskyvystä. Pyrittäessä kokonaisvaltaisesti ymmärtämään parven suorituskykyä on tarkoituksenmukaista tarkastella lopputuloksen lisäksi siihen johtanutta prosessia ja välituloksia.

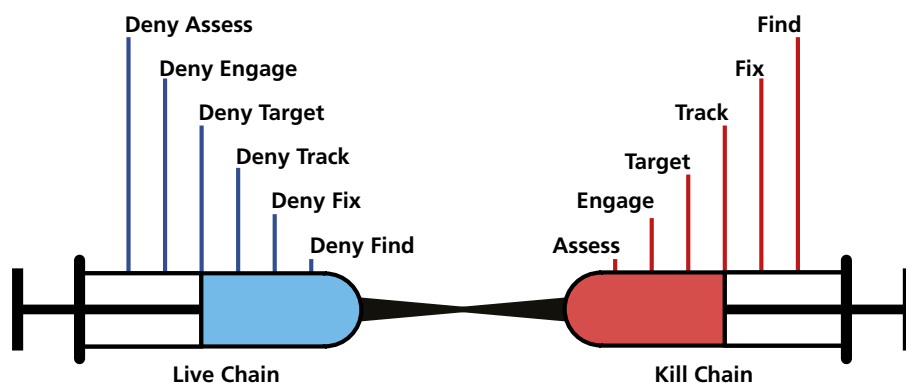
Tässä artikkelissa esitellään vuosina 2018–2021 kehitetyn viisiosaisen suorituskykymittariston rakennetta ja soveltamista parven suorituskyvyn mittaamiseen. Prosessin ja sen välituotteiden tarkastelun hyödyllisyyttä havainnollistetaan kahden kuvitteellisen TTP:n hyvyysvertailulla. Vertailuun osallistuu kaksi parvea; parvi A ja parvi B. Parvet oletetaan ohjaajien taitotason ja hävittäjien varustuksen kannalta samanlaisiksi. Parvet sitoutuvat samanlaiseen ilmataistelutilanteeseen, mutta niillä on käytössään keskenään erilaiset TTP:t.

Suorituskyvyn osa-alueet

Perinteisesti parven suorituskykyä on arvioitu mittaamalla sen tekemän työn lopputulosta (engl. Output Performance, OP) ja vertaamalla sitä asetettuun tavoitteeseen. Yksinkertaisimmillaan OP on kuvattu ilmavoittojen ja -tappioiden määränä tai niiden välisenä suhteena. Esimerkin tarkastelussa parvet eivät saavuttaneet ilmavoittoja eivätkä kärsineet -tappioita. Toisin sanoen OP:n perusteella TTP:iden hyvyudessa ei havaittu eroja.

Vaikuttamisen ketju (engl. kill chain) on prosessi, jolla kuvataan hyökkäyksen etenemisen vaiheita. Vastaavasti selviytymisen ketju (engl. live chain) on prosessi, jolla kuvataan vastustajan hyökkäyksen etenemisen vaiheiden estämistä. Jokaisella hyökkääjällä on yksi kill chain jokaista hyökkäämäänsä maalia kohden. Yksi hyökkääjä voi vaikuttaa useaan maaliin, ja samaan maaliin voi vaikuttaa usean hyökkääjän kill chain. Jokaisella lentokoneella on yksi live chain.

Kill chainin vaiheet ovat Find, Fix, Track, Target, Engage ja Assess. Find-vaiheen jälkeen maali on havaittu. Sensorihavainto maalista ei kuitenkaan välttämättä tarkoita, että ohjaaja olisi tiedostanut tämän havainnon. Fix-vaiheen jälkeen maalin paikka on määritetty sellaisella tarkkuudella, että sitä vastaan voidaan hyökätä. Track-vaiheen jälkeen maalista on muodostettu jatkuva seuranta. Mikäli maali havaitaan hävittäjäturkalla, Find-, Fix- ja Track-vaiheet toteutuvat sensoritasolla lähes yhtäaikaisesti. Target-vaiheen jälkeen maali on maalinnettu, ja Engage-vaiheen jälkeen maalia vastaan on hyökätty. Engage-vaiheen toteutuminen ei välttämättä tarkoita, että maaliin olisi saatu vaikutusta. Assess-vaiheen



Kuva 1. Kill chain ja live chain havainnollistettuna kahtena, vuorovaikutteisena prosessina. (Kuva: Heikki Mansikka)

jälkeen on tehty arvio uuden hyökkäyksen (engl. recommit) tarpeesta. Live chainin vaiheet taas ovat Deny Find, Deny Fix, Deny Track, Deny Target, Deny Engage ja Deny Assess.

Kuten kuvassa 1 on havainnollistettu, hyökkääjän kill chain vaikuttaa maalin live chainiin ja päinvastoin. Koska kill chain- ja live chain -prosessit pitävät sisällään parven suorituskyvyn kannalta keskeisimmät tehtävät (engl. tasks), parven kykyä toteuttaa näitä prosesseja kuvataan termillä tehtävänsuorituskyky (engl. Task Performance, TP). TP määritetään erikseen kill chainille ja live chainille (TPkill ja TPlive).

Oletetaan, että edellä kuvatussa tarkastelussa parvi A oli lähempänä saavuttaa ilmavoiton kuin parvi B. Parven A kill chain -prosessi eteni pidemmälle kuin parven B, eli parven A TPkill oli parempi kuin parven B. Oletetaan lisäksi, että parvi A kykeni säilyttämään suuremman selviytymismarginaalin kuin parvi B. Toisin sanoen parven A TPlive oli parempi kuin parven B. Tilannetietoisuus (engl. Situation Awareness, SA) on pitkäkestoisen muistin mentaalisten mallien, työmuistin tilannemallien ja havaintojen avulla rakentuva ymmärrys ympäristön tilasta ja siinä odotettavissa olevista muutoksista. SA on OP:hen tähtäävän prosessin välituote, jonka perusteella ohjaaja kohdentaa huomioitaan ympäristöön, antaa merkityksiä havainnoilleen ja päivittää käsitystään ympäristöstä. Ilmataistelussa hyvä SA edesauttaa taktista päätöksentekoa. Parven päätöksenteon kannalta on edullista, että parven jäsenen SA on samanlainen ja oikea.

Oletetaan, että parven A ohjaajien SA oli oikeampi ja samankaltaisempi kuin parven B ohjaajien. Tällöin on todennäköistä, että parvi A kykenisi säilyttämään suorituskykynsä paremmin, jos ilmataistelutilannetta muutettaisiin SA:n muodostamisen ja säilyttämisen kannalta haastavammaksi.

Parven ohjaajilla on rajalliset kognitiiviset resurssit, joiden avulla he prosessoivat informaatiota ja tekevät taktisia päätöksiä. Mitä enemmän työn kognitiivista vaativuutta lisätään, sitä suurempi on kognitiivisten resurssien tarve. Epätasapaino työn vaatimien resurssien ja ohjaajien kognitiivisten resurssien välillä aiheuttaa epäedullista kognitiivista kuormitusta (engl. Mental WorkLoad, MWL). MWL on OP:hen tähtäävän työn välituote, joka vaikuttaa ohjaajien kykyyn ylläpitää haluttu suoritustaso. Mikäli työn vaatimien resurssien tarvetta kasvatetaan riittävästi, ohjaajien kognitiiviset resurssit kuluvat loppuun ja MWL kasvaa tasolle, jolla haluttua suoritustasoa ei enää kyetä ylläpitämään. Suoritustaso laskee myös tilanteessa, jossa MWL on liian matala. Ilmataistelussa tämä on kuitenkin epätodennäköistä.

Oletetaan, että parven A ohjaajilla oli keskimäärin matalampi MWL kuin parven B ohjaajilla. Voidaan ajatella, että parven A ohjaajilla oli käytössään kognitiivisten resurssien reserviä. On odotettavissa, että mikäli ilmataistelutilanteen

kognitiivista vaativuutta vähitellen lisättäisiin, parvi A kykenisi kognitiivisten resurssien reservin avulla säilyttämään halutun suorituskyvyn pidempään kuin parvi B.

Normatiivinen suorituskyky (engl. Normative Performance, NP) kuvaa ideaalien ihmisten ja todellisten ihmisten päätösten eroa. Mitä lähempänä ideaalien ihmisten päätöksiä todellisten ihmisten päätökset ovat, sitä parempi on todellisten ihmisten NP. Ilmataistelussa NP kuvaa, miten tarkkaan käskettyä TTP:tä noudatetaan. Jos kuvitellaan, että esimerkiksi parven B ohjaajat eivät edellä kuvatussa tarkastelussa noudattaneet käskettyä TTP:tä, koko TTP:n hyvyyden vertailu on perusteetonta. Puolustusvoimien vakiintuneissa käytännöissä NP-mittaus on lähinnä joukkotuotannon koulutusarvioita: mitataan, tehdäänkö siten kuin on ohjeistettu, opetettu ja käsketty.

Kuten esitetty yksinkertainen esimerkki havainnollistaa, pelkän OP:n perusteella arvioituna TTP:t olivat yhtä hyviä. Mutta kun TTP:n hyvyyttä arvioitiin OP:n lisäksi SA:n, MWL:n ja TP:n avulla, kahden TTP:n välillä oli eroa parven A käyttämän TTP:n hyväksi. Lisäksi havaittiin, että vertailun mielekkyyden varmistamiseksi on mitattava myös NP:tä. Seuraavaan lukuun on koottu joitakin huomioita suorituskyvyn eri osa-alueiden mittaamisesta.

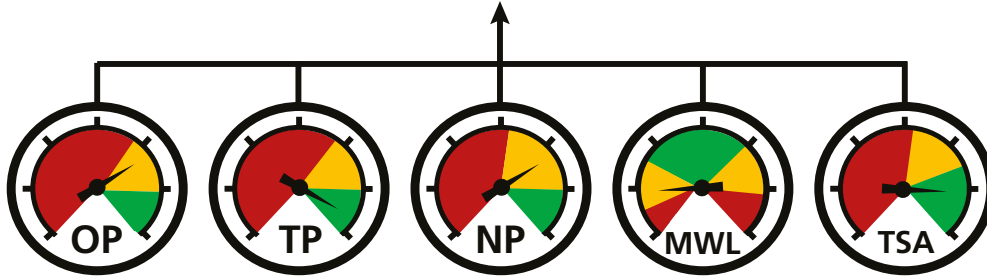
Suorituskyvyn osa-alueiden mittaaminen

OP:n mittaamista helpottaa se, että johto-organisaatio yleensä määrää käytettävät mittarisuureet. OP:tä mitattaessa voidaan huomioida esimerkiksi tuotetut ja kärsityt tappiot, ohjuskulutus, operaatioon kuluva aika, käytetty polttoaine tai ilmatilan hallinnan taso. Valittaessa mitattavia suureita on varmistettava, että mittaustulos muodostaa edustavan kuvan halutusta loppuasetelmasta ja komentajan tahdon toteutumisesta.

TPkillin mittauksessa maaliin kohdistuvasta hyökkäyksestä tunnistetaan kill chainin vaiheiden toteutuminen. TPkillin mittauksessa ei ole merkityksellistä, mikä tai mitkä omista laiveteista toteuttavat kill chainin vaiheet. TPlivein mittauksessa kustakin omaan lentokoneeseen kohdistuvasta hyökkäyksestä tunnistetaan hyökkäyksen kohteen live chainin vaiheet.

Yksinkertaisessakin ilmataistelutilanteessa muodostuu useita kill chainejä ja live chainejä, joiden vaiheet muuttuvat nopeasti. TPkillin ja TPlivein mittaaminen manuaalisesti muodostuu helposti työlääksi, etenkin jos ilmataistelutilanteessa on runsaasti sensoreita. Virtuaali- ja konstruktiivisiin ilmataistelusimulaatioihin onkin jo toteutettu kill chainien ja live chainien seuranta- ja raportointiautomaattia. SA:n mittaamiseen on olemassa useita menetelmiä, jotka kuitenkin soveltuvat huonosti ohjaajien SA:n mittaamiseen ilmataistelussa. Ilmataistelukeskuksessa on kehitetty menetelmä, jossa ohjaajien tietoa ilmataistelutilanteesta verrataan

Hävittäjäosaston suorituskyky



Kuva 2. Periaatekuva hävittäjäosaston suorituskyvyn mittaristosta. (Kuva: Heikki Mansikka)

lennon läpikäynnissä esitettyyn ilmataistelutilanteen todelliseen tilaan. Menetelmä on rakennettu siten, että sen avulla voidaan mitata parven ohjaajien yhteisen SA:n (engl. Team SA, TSA) samanlaisuutta ja oikeellisuutta erilaisissa ilmataistelutilanteissa. Menetelmällä ei kyetä esittämään parven SA:n muutoksia reaaliajassa tehtävän läpikäynnin aikana. Sen sijaan menetelmä parantaa läpikäynnin laatua auttamalla kohdentamaan osallistujien huomiota sellaisiin tekijöihin, joilla on merkitystä SA:n kannalta. Ilmataistelukeskuksessa on lisäksi käynnistymässä tutkimus SA:n estimoimiseksi live- ja virtuaalisimulaatioista tallennetusta informaatiosta.

Tällä hetkellä suosittelavin menetelmä ohjaajien MWL:n mittaamiseksi on NASA-TLX. NASA-TLX on subjektiivinen mittaamenetelmä, jossa ohjaajilta kysytään lennon jälkeen mielipidettä tehtävän kognitiivisesta kuormituksesta kuuden dimension suhteen. NASA-TLX:n käyttö on helppoa ja nopeaa, eikä sen avulla määritetty MWL poikkea esimerkiksi sydänsähkökäyrän avulla määritetystä MWL:stä – ainakaan tilanteessa, jossa korkeasta ilmoitetusta MWL:stä ei aiheudu ohjaajalle kielteisiä seuraamuksia. NASA-TLX:ää on käytetty onnistuneesti MWL:n määrittämiseen DTT- ja WTSAT-simulaattoreissa. Ilmataistelukeskuksessa on lisäksi käynnistymässä tutkimus MWL:n määrittämiseksi ohjaajan respiraatiofrekvenssistä ja -volyymista.

NP:n mittaamiseksi on tunnistettu tyypillisen ilmataistelulennon keskeiset TTP-säännöt, luotu mittari niiden noudattamisen tarkkuudesta ja tositettu mahdollisuus kerätä NP-informaatiota lentotallenteista. Pyrkimyksenä on, että NP-informaatio saadaan kerättyä ilman, että lennon lentäneiden ohjaajien tarvitsee osallistua keräämiseen.

Parven suorituskyvyn mittaristo

Pelkän OP:n määrittäminen jättää huomiotta prosessin ja välituotteet, joiden avulla OP saavutetaan. Tämän vuoksi OP muodostaa rajoitetun kuvan parven suorituskyvystä ilmataistelussa. Ilmataistelukeskus on yhteistyössä Aalto-yliopiston kanssa luonut mittariston, jonka avulla on mah-

dollista arvioida esimerkiksi hävittäjäosaston suorituskykyä aiempaa kokonaisvaltaisemmin. Mittaristo sisältää OP-, TP-, NP-, SA- ja MWL-mittarit alamittareineen.

Kuvan 2 mukaisesti mittaristoa käytettäessä OP:lle, TP:lle, NP:lle ja TSA:lle annetaan hyväksyttävät minimiarvot, MWL:lle taas hyväksyttävät minimi- ja maksimiarvot. Kuvassa 2 punaiset sektorit ovat ei-hyväksyttäviä arvoja, keltaiset sektorit raja-arvoja ja vihreät sektorit hyväksyttäviä arvoja. Yhdellekään mittaristossa käytettävälle suureelle ei ole olemassa globaaleja raja-arvoja. Tämän vuoksi käyttäjän on määritettävä mittarien raja-arvot ja mahdolliset painot.

Soveltamismahdollisuudet hyvin monipuoliset

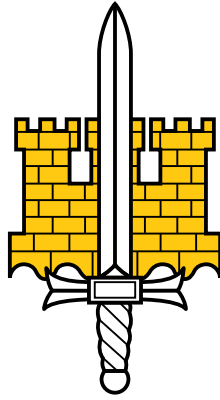
Kehitetty mittaristo on tarkoitettu joukon, sotavarusteen ja käyttöperiaatteen suorituskyvyn mittaamiseen. Henkilöstön mittaamisessa ja vertailussa tyypillisiä käyttötilanteita ovat yksilö- ja joukkovertailut, koulutuksen seuranta ja koulutusmenetelmien vertailu. Käyttöperiaatteiden mittaaminen ja vertailu liittyvät yleensä taktiikan kehittämiseen, jolloin mittariston avulla verrataan kahden tai useamman TTP:n hyvyttä. Sotavarusteiden mittaaminen ja vertailu toteutetaan ihmisen ja teknologian välisen vuorovaikutuksen tarkasteluna: mikä sotavarustus tuottaa parhaan suorituskyvyn, kun varioidaan käyttöperiaatetta, henkilöstöä ja olosuhteita tehtävän ja vertailutilanteen edellyttämällä tavalla. Vaikka mittaristo on tehty ilmataistelua silmällä pitäen, sen periaatteet ovat sovellettavissa myös muuhun taisteluteknis-taktisen tason sotilaalliseen toimintaan.

Kirjoittajat:

Everstiluutnantti (evp) Heikki Mansikka on entinen Hornet-ohjaaja ja toimii nykyisin Maanpuolustuskorkeakoulun Sotatekniikan laitoksen dosenttina.

Matti Jalava toimii Ilmataistelukeskuksen tutkimusjohtajana.

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



Maanpuolustuskorkeakoulu

Virtuaali- ja lisätyn todellisuuden teknologiat opetuskäyttöön sotilaskoulutuksessa

Realismia teorian sijaan

Opetuskäytössä voidaan nykyään hyödyntää erilaisia teknologisia ratkaisuja, joilla luodaan oppijoille muokattuja oppimistilanteita tai oppimisympäristöjä. Ympäristöä, jossa sisältö on toteutettu virtuaalisesti, kutsutaan virtuaalitodellisuudeksi (VR). Lisätyllä todellisuudella (augmented reality, AR) taas tarkoitetaan ratkaisua, jossa fyysiseen ympäristöön lisätään virtuaalisia elementtejä. Täydentävinä termeinä lisätystä todellisuudesta voidaan erottaa yhdistetty todellisuus (MR – mixed reality, XR – extended reality), mikäli virtuaalisen sisällön kanssa voi olla vuorovaikutuksessa. Yksi ratkaisu tällaisten menettelyjen opetuskäyttöön ovat niin sanotut VR-lasit. Niillä koulutettava katselee virtuaalisesti luotua tilannetta tai ympäristöä, tai lasien läpi katseltavaan ympäristöön lisätään niiden avulla opetusmielessä esineitä tai asioita. Vuorovaikutus voi tapahtua erilaisilla ohjainlaitteilla, joilla voidaan simuloida vaikkapa maalien tulittamista tai tarttumista.

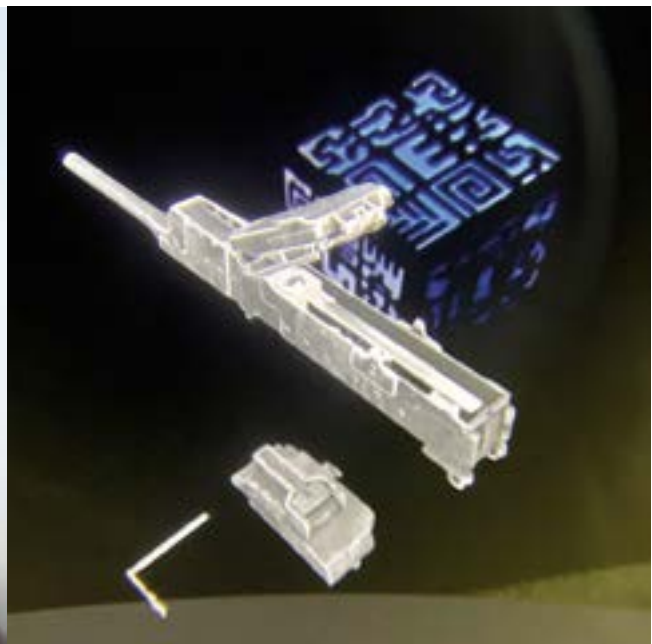
Uusilla digitaalisen teknologian pedagogisilla sovelluksilla voidaan lisätä realismia elävöittämällä tilanteita ja mahdol-

listamalla vuorovaikutus perinteisemmän, yleensä esittävän materiaalin sijaan. Lisätyn todellisuuden hyödyntämisellä on havaittu olevan positiivisia yhteyksiä sekä oppimiseen että motivaatioon.

Oppimisen, motivaation ja koulutettavien oppimistilanteista tekemien tulkintojen yhteydet ovat myös vastavuoroisia: motivaation eri muodoilla ja suhtautumisella virheisiin on merkittäviä yhteyksiä oppimiseen ja muihin oppimisprosessin lopputulemiin, kuten pitkäaikaisempaan tunteiden ja yksilöllisten tekijöiden kehitykseen. Erilaisten pedagogisten ratkaisujen, kuten opetusteknologian käyttämisen, vaikutus ulottuu erilaisia polkuja pitkin paljon laajemmalle ja pidemmälle kuin yksittäisten koulutustilanteiden lopputuloksiin. Onkin tarpeellista tarkastella seurauksia oppimistuloksen lisäksi yksilöllisten motivaatiotekijöiden valossa.

VR-lasit vs. kirja ja videotykki

Tässä kirjoituksessa tarkastelemme koasetelmaa, jossa tutkittiin VR-lasien opetuskäytön yhteyksiä oppimiseen, motivaatioon ja virhetuntemuksiin. Koe on osa laajempaa koko-



(Kuvat: Juha Hollanti ja Antti-Tuomas Pulkka, Pasi Leskinen)

naisuutta, jossa tutkitaan koko tuotantoketjua. Se koostuu muun muassa sisällön tuottamisesta, AR-/VR-pedagogiikan rakentamisesta, opettajan hallintatyökaluista ja oppilaiden päätelaitteista sekä sisältöjen tallentamisesta Puolustusvoimien verkko-oppimisympäristöön (PVVOY).

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, onko VR-lasien opetuskäyttö kyseisessä harjoituksessa yhteydessä koulutettavien osaamiseen (12.7 ITKK 96:n käytännön käsittelykoe), tilannekohtaiseen motivaatioon (kiinnostus, minäpystyvyys ja koettu pätevyys) ja suhtautumiseen virheisiin (virheiden ennakointi ja ärsyttävyyks). Lisäksi selvitettiin koulutettavien kokemuksia opetusmateriaalista.

Otoksen muodostivat 32 upseerioppilasta, jotka osallistuvat 12.7 ITKK 96:n huoltopurun oppitunnille ja käsittelykoeseen.

Tässä tutkimuksessa mitattiin kyselyillä yksilöllistä kiinnostuneisuutta (*"Harjoitus vaikuttaa minusta... [ei yhtään kiinnostavalta – hyvin kiinnostavalta]"*) ja minäpystyvyyttä eli luottamusta omaan osaamiseen ja sen riittävyuteen (*"Uskon, että pystyn suoriutumaan ... kokeessa annetuista tehtävistä"*) motivaatiotekijöinä. Virhetuntemuksista tarkasteltiin virheiden ennakoitua (*"Tiedän etukäteen, että opiskelussa ja kokeessa tulee tapahtumaan virheitä"*) ja koettua virheiden ärsyttävyyttä (*"Virheen tekeminen on ärsyttävää"*). Koulutettavilta myös kysyttiin arvioita materiaalin toimivuudesta. Kyselyt pidettiin 1) ennen oppituntia ja 2) käsittelykokeen jälkeen.



(Kuva: Puolustusvoimat)

Koeryhmä (n=16) opiskeli VR- ja AR-teknologioiden avulla, **kontrolliryhmä** (n=16) taas perinteisesti kirjan sekä videotykillä heijastetun tekstin ja kuvien avulla. Koeryhmä piti VR-laseja päässään koko oppitunnin ajan ja katsoi niillä 3D-animaatioita ja mikroelokuvia opettajan johdolla tämän samalla kertoessa aiheesta. Koulutettavien oli mahdollista katsoa aineistoa omaan tahtiinsa – ja tarvittaessa palata taaksepäin kertaamaan – sekä harjoitella omatoimisesti virtuaalisella aseella omalla ohjaimellaan (ns. QR-kuutiolla).

Hyvin pienen otoksen vuoksi ryhmäerojen tarkastelussa käytettiin Mann-Whitneyn U-testiä.

Kokeen tulokset positiivisia

Ennen oppituntia ryhmät eivät eronneet merkittävästi toisistaan motivaation tai virhetuntemusten suhteen. Lähtötaaso oli siis samanlainen, joten mahdolliset erot voitaisiin paikantaa käytettyihin opetusmenetelmiin tai -teknologioihin.

Oppitunnin jälkeen kaikki tekivät ajatetun, pisteetyn huoltopurkusuurituksen oikealla aseella. Kokeen jälkeen pidettiin toinen kysely ilman, että koehenkilöt tiesivät käsittelykokeen pisteitä. On kuitenkin todettava, että oma arvio suoritusten onnistumisesta (esimerkiksi jos suoritus jäi kesken) on voinut vaikuttaa kyselyn tulokseen.

Koeryhmästä eli VR-materiaalia käyttäneistä kaikki 16 henkilöä onnistuivat purkamaan aseensa, joskin kolmella heistä oli osittain väärä suoritusjärjestys. Koeryhmässä kokonaan oikeiden suoritusten keskimääräinen aika oli 73,9 sekuntia. Kontrolliryhmästä eli perinteistä opetusta saaneista yhdeksän henkilöä kuudestatoista sai aseensa käytännössä purettua mutta ainoastaan neljä pääsi suoritukseen oikein loppuun asti. Näiden neljän onnistuneen suoritusten keskimääräinen aika oli 174,5 sekuntia.

Mann-Whitneyn U-testin perusteella koeryhmän arviot omasta osaamisestaan (minäpystyvyys) olivat positiivisemmat ja he pitivät harjoitusta kiinnostavampana kuin kontrolliryhmä. Koeryhmässä koettiin opetusmateriaalin tukeneen oppimista paremmin kuin kontrolliryhmässä. Lisäksi koeryhmän arvio minäpystyvyydestä parani hiukan mittauksesta toiseen. Virhetuntemuksissa ei havaittu tilastollisesti merkittäviä eroja.

Teknologiaa kannattaa hyödyntää muuallakin

Kokonaisuutena voidaan siis todeta sekä oppimisessa että motivaatiossa ilmenneen etuja ryhmällä, joka käytti VR-lasille luotua opetusmateriaalia. Erityisen tärkeänä voidaan pitää sitä, että selvästi ilmenneeseen suoritusvarmuuteen liittyi myös oikeansuuntainen, selkeä motivationaalinen vaikutus. Positiivinen itsearvio liittyneenä hyvään tulokseen luo pohjaa paitsi oppimiselle jatkossa myös motivaation

suotuisalle kehittämiselle, jolla taas itsessään on kertautuva, myönteinen vaikutus oppimisprosessissa.

Kiinnostuksen tuntemus tällaisessa oppimisympäristössä voi heijastaa ainakin osittain uuden teknologian kiinnostavuutta. Toisaalta se kuitenkin ankkuroituu vastaajien käsityksissä koulutuksen aiheeseen, joten yhteyttä on pidettävä edullisena tuloksena.

Esitettyihin tuloksiin on suhtauduttava varovasti muutamista syistä. Ensinnäkin otos oli hyvin pieni ja valikoitunut. Upseerioppilaiden yrittämisen halu ja motivaatio voivat muutoinkin poiketa tyypillisestä kohderyhmästä niin, että tulokset eivät ole suoraan yleistettävissä. Lisäksi uudenlai-

seen, osin jopa eksoottiseen teknologiaan liittyy uutuusarvo, jolloin itse välineestä johtuva innostus voi johtaa värittyneisiin asenteisiin ja tuntemuksiin.

Myös kokeen järjestelyihin ja valmisteluihin käytettiin paljon aikaa. Teknologian laajemmassa opetuskäytössä pedagogisella suunnittelulla ja valmistelulla on suuri rooli, koska erilaiset käytettävyyteen ja toteutukseen liittyvät haasteet voivat laskea opiskelijoiden mielenkiintoa uutta oppimisteknologiaa kohtaan.

Yhtä kaikki: tulosten perusteella voidaan suositella VR- ja AR-teknologioiden tutkimista ja soveltamista myös muiden sisältöjen kouluttamisessa.

Kirjoittajat:

Apulaissotilasprofessori, everstiluutnantti Antti-Tuomas Pulkka hoitaa sotilaspedagogiikan professorin tehtäviä Maanpuolustuskorkeakoulun Sotilaspedagogiikan laitoksella.

Filosofian tohtori, Mikko Salminen työskentelee tutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen toimintakykosastossa.

Komentajakapteeni Pasi Leskinen on Merivoimien oppimisympäristöjen kehittämisspääällikkö virkapaikkanaan Koulutuskeskus Merisotakoululla.

Sotilaan fyysisen toimintakyvyn tutkimus vuosilta 2005–2020 yksissä kansissa



Taistelijat koulutuksessa asutuskeskuksessa. (Kuva: Puolustusvoimat)

Sotilaan fyysisen toimintakyvyn tutkimustoiminta aloitettiin Puolustusvoimissa laajamittaisesti vuoden 2005 alusta, jolloin tässä artikkelissa kuvatun teoksen edeltäjä, *Taistelija 2005*, julkaistiin. Sitä ennen tutkimus oli ollut sirpaleista ja vailla suunnitelmallisuutta. Tutkimusta on tehty yhteistyössä ulkopuolisten tutkimuslaitosten, kuten Jyväskylän yliopiston, Työterveyslaitoksen ja UKK-instituutin, kanssa. Puolustusvoimissa keskeisiä toimijoita ovat olleet Pääesikunnan koulutusosasto, Maanpuolustuskorkeakoulu, Sotilaslääketeen keskus ja Puolustusvoimien tutkimuslaitos. Tässä artikkelissa kuvataan lyhyesti sotilaan fyysisen toimintakyvyn tutkimusta vuosilta 2005–2020. Aiheeseen liittyvä kirja julkaistiin keväällä 2021. Kirjan kirjoittajina ovat toimineet Puolustusvoimien sekä ulkopuolisten tutkimuslaitosten asiantuntijat. Kirja sisältää tutkittua tietoa sotilaan fyysisestä ja henkisestä toimintakyvystä sekä ympäristöolosuhteiden vaikutuksista niihin. Kirjassa on lisäksi tietoa ravinnon ja unen yhteyksistä sotilaan toimintakykyyn vaativissa olosuhteissa.

Taistelukentän fyysiset vaatimukset muuttuneet

Vaatimukset sotilaiden toimintakyvylle ovat kasvaneet viimeisten vuosikymmenien aikana. Pimeys, vaihtelevat sää- ja maasto-olosuhteet sekä operaatioiden etäisyydet ovat teknologian kehittymisen myötä menettäneet merkitystään sodankäynnissä. Sodankäynti on siirtynyt metsistä asutuskeskuksiin, mikä edellyttää operoivilta joukoilta monipuolisia taitoja. Eteneminen asutuskeskuksissa ja taajamissa on intensiivistä, sillä se sisältää lyhytkestoisia, nopeita ja anaerobisia suorituksia sekä esteiden ylittämistä. Tulevaisuuden taistelijoiden on myös kyettävä useita vuorokausia kestäviin, fyysisesti rasittaviin taistelutehtäviin. Teknologian kehitys mahdollistaa uudenlaisia tapoja vaikuttaa vastustajaan. Teknologia on läsnä lähes kaikkialla. Se mahdollistaa myös sotilaiden toimintakyvyn seurannan taisteluiden aikana hyödyntäen huippu-urheilusta tuttua sensoriteknologiaa.

Sotilaan henkilökohtaisen varustuksen hinta on teknistymisen myötä noussut moninkertaiseksi. Samalla sen paino on kehi-

tystyöstä huolimatta lisääntynyt lineaarisesti viimeisen sadan vuoden ajan. Taistelijan varustuksen paino vaihtelee tehtävästä riippuen 20 kilosta jopa 65 kiloon. Sotilastyö sisältää edelleen runsaasti tehtäviä, joihin liittyy taakan tai lisäkuorman kantamista ja nostamista. Tämä asettaa osaltaan erityisvaatimuksia sotilaiden fyysiselle toimintakyvylle, kuten lihaskunto- ja voimaominaisuuksille sekä kestävyysominaisuuksille.

Asevelvollisten fyysinen kunto heikentynyt

Suomen sotilaallinen maanpuolustus perustuu koko maan puolustamiseen sekä yleiseen asevelvollisuuteen. Asevelvollisten koulutus ja toimintakyvyn kehittäminen ovat keskeisessä roolissa tuottaessa osaavia, toimintakykyisiä sotilaita poikkeusolojen joukkoihin. Puolustusvoimien koulutusjärjestelmän kehittäminen on ollut jatkuvaa ja tutkimuksiin perustuvaa jo vuosikymmenien ajan. Se on ottanut huomioon yhteiskunnassa tapahtuneet muutokset, kuten tietotekniikan lisääntymisen päivittäisissä toiminnoissa, sekä nuorten fyysisessä kunnossa ja liikuntakäyttäytymisessä tapahtuneet muutokset. Tutkimusten mukaan palveluksen aloittavien nuorten miesten – mutta osin myös naisten – fyysinen kunto on laskenut viimeisten vuosikymmenien aikana. Samaan aikaan keskipaino on noussut. Palveluksen ennen aikaisten keskeytysten sekä tuki- ja liikuntaelinvammojen riskitekijöitä ovat huono fyysinen kunto, alhainen liikunta-aktiivisuus, ylipaino, naissukupuoli, tupakointi sekä aiemmat tuki- ja liikuntaelinvammat. Tämä on aiheuttanut haasteita asevelvollisten koulutusjärjestelmän kehittämiselle sekä varusmiespalveluksen toimeenpanolle. Noin kolmasosa palveluksen aloittavista nuorista on huonossa kunnossa, ja huonokuntoisten osuus tulee ennusteiden mukaan tulevaisuudessa kasvamaan.

Tutkimukset ovat osoittaneet, että noin kolmasosa varusmieshistä on ylikuormittuneita etenkin peruskoulutuskauden aikana. Peruskoulutuskauden koulutus on edelleen liian intensiivistä etenkin liikunnallisesti passiivisten ja ylipainoisten osalta. Toisaalta palveluksensa loppuun saattaneiden ylipainoisten ja liikunnallisesti passiivisten nuorten fyysinen kunto nousee ja kehonpaino laskee hyväkuntoisia enemmän palveluksen aikana. Huolestuttavaa on se, että hyväkuntoisten kunnan nousu pysähtyy heti peruskoulutuskauden päätteeksi, jonka jälkeen se jopa laskee. Tämä johtunee siitä, että koulutuksen harjoitusintensiteetti on liian alhainen nousujohteiselle kunnan kehittymiselle tai että koulutuksessa tuleva kuormitus on liian monotonista. Positiivista on kuitenkin se, että kuntoerot hyvä- ja huonokuntoisten välillä supistuvat merkittävästi peruskoulutuskauden aikana. Miesten kunto nousee palveluksen aikana hieman naisia enemmän. Sukupuolten väliset fysiologiset erot tulisi tiedostaa ja ottaa huomioon koulutuksen kehittämisessä sekä harjoittelun ohjelmoinnissa.

Voimaharjoittelu on tärkeä osa sotilaskoulutusta, koska sotilastyötehtävät sisältävät runsaasti taakkojen nostamista ja kantamista. Voimaharjoittelulla parannetaan suorituskykyä

voimaa vaativissa työtehtävissä ja ennaltaehkäistään vamma-riskiä. Kirjassa on laaja kuvaus tuki- ja liikuntaelinvammojen riskitekijöistä sekä niiden ennaltaehkäisystä.

Reserviläistutkimuksissa on todettu, että 25–30-vuotiaiden miesten fyysinen kunto ei juuri nouse eikä liikunta-aktiivisuus lisääntynyt reservissä. Siksi kaikki toimenpiteet, joilla saadaan reserviläisiä pitämään huolta omasta toimintakyvystään, ovat tervetulleita. Puolustusvoimilla on vain rajalliset mahdollisuudet vaikuttaa reserviläisten toimintakykyyn ja terveyteen varusmiespalveluksen jälkeen. Kertausharjoitukset, vapaaehtoinen maanpuolustuskoulutus sekä tiedotus- ja valistus-toiminta ovat mahdollisia keinoja, joilla voitaisiin vaikuttaa reserviläisten liikunta-aktiivisuuden lisäämiseen. Esimerkiksi kuntotestit ja -palautte kertausharjoituksissa voisivat toimia hyvinä herättäjinä oman toimintakyvyn kehittämiseksi.

Taistelukentällä ja ympäristöolosuhteilla vaikutusta fyysiseen toimintakykyyn

Puolustusvoimat on viime vuosina toteuttanut tutkimuksia, jotka kohdistuvat sotilaan toimintakyvyn ylläpitoon ja seu-



Taistelija etenemässä maaston tarjoamassa suojassa. (Kuva: Puolustusvoimat)

rantaan sekä kuormittumiseen taisteluharjoituksissa ja kriisinhallintaoperaatioissa. Harjoitusten ja operaatioiden kestot vaihtelevat muutamasta viikosta kuuden kuukauden jaksoihin, jotka sisältävät muutaman päivän intensiivisiä kuormitusjaksoja. Sotilaiden työtehtäviin sisältyy matalatehoista, pitkäkestoista fyysisistä aktivisuutta sekä raskaiden lisäkuormien nostamista ja kantamista. Säännöllinen, osin johdettu yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu on tarpeellista vaativissa operaatioissa, jotta sotilaiden fyysinen toimintakyky ei laske liikaa operaatioiden aikana, mikä voisi vaarantaa tehtävän onnistumista. Ilmasto-olosuhteet, kuten kylmyys ja kuumuus, lisäävät kuormitusta sekä toimintakyky- ja suojavarustusvaatimuksia. Kirjassa on laajat kuvaukset kylmissä ja kuumissa olosuhteissa toteutetuista tutkimushankkeista. Tehtäväkohtaisen toimintakyvyn mittaaminen perinteisten kuntotestien sijaan on yleistynyt maailmalla, koska se antaa paremmat perusteet sotilaiden toimintakyvysyyden arvioinnissa. Esimerkiksi Libanonin kriisinhallintatehtävissä käytetty tehtävärata mittasi luotettavasti sotilaiden selviytymistä työtehtävissään. Sotilaiden fyysisen toimintakyvyn testausta tulisi kehittää enemmän tehtäväkohtaisten vaatimusten mukaisesti ottaen huomioon sukupuolierot.



Nestetankkaus ja kehon jäähdytys on tarpeellista kuumalla säällä. (Kuva: Puolustusvoimat)

Tutkimukset kenttäolosuhteissa ovat tuoneet esille, että sotilaiden unen määrä on yleisesti ottaen liian alhainen. Tällä on negatiivinen vaikutus sotilaiden jaksamiseen, terveyteen ja palautumiseen fyysisestä rasituksesta. Unen lisäksi merkittävä tekijä sotilaiden elimistön palautumisessa on riittävä energian ja nesteiden saanti. Tutkimusten mukaan sotilaat saavat riittävästi energiaa kasarmiolosuhteissa mutta liian vähän taisteluharjoituksissa ja maasto-olosuhteissa. Maasto-olosuhteissa muun muassa kiire, nesteen saatavuus, väsymys ja ruoan maittävyys vähentävät ruoan syömistä ja siten johtavat neste- ja energiavajeeseen. Kuumissa olosuhteissa Tšadissa ja Libanonissa, joissa ilman ja ajoneuvojen lämpötila saattoi nousta 40–50 asteeseen, sotilaiden kehossa havaittiin runsasta nestevajetta. Tämä heikentää yleistä toimintakykyä ja saattaa pahimmillaan johtaa vakaviin lämpösaireihin.

Puolustusvoimissa tarjottavan energian ravintosisältö on pääsääntöisesti tasapainoista. Suolan ja kovien rasvojen saanti on kuitenkin liian korkea ja kuitujen saanti alhaista erityisesti maasto-olosuhteissa. Taistelumuonan käyttöä näyttäisivät vähentävän sen saatavuus ja maku. Varusmiespalveluksen alussa nuorten ruokailutottumukset muuttuvat terveellisemmiksi kuin ennen palvelusta, mutta palveluksen jatkuessa ne palautuvat huomommalle tasolle.

Myös muut aiheet tärkeitä

Taistelijan fyysinen toimintakyky 2020 -kirjassa käsiteltiin myös eri puolustushaarojen erityispiirteisiin liittyviä tutkimuksia. Ilmavoimien lentäjillä kylmyys sekä kypärän ja pimeänäkölaitteiden aiheuttama ylimääräinen paino lisäävät niska-hartiaseudun lihasten kuormitusta. Tutkimukset osoittavat, että jäähtyneet niskalihakset yhdistettyinä korkeaan G-kuormaan lisäävät lentäjien niskan alueen vamma-riskiä. Hyvä lihaskunto ja aiempi urheilutausta suojaavat tukirangan oireperäisiltä lentokelpoisuusarajoituksilta. Tämän lisäksi selkälihasten riittävä isometrinen voima voi suojata alaselkäoireilulta. Voima- ja trampoliiniharjoittelu sekä huolellinen lentoa edeltävä lämmittely saattavat vähentää lentäjien niskalihasten lennonaikaista kuormitusta.

Merivoimissa sotilaan fyysisen toimintakyvyn tutkimusta on tehty varsin vähän. Tutkimukset ovat kuitenkin tuoneet esille, että liikuntatoimialan resurssien lisääminen Merivoimissa tuotti myönteisiä tuloksia sotilaiden fyysiseen toimintakykyyn. Sotilaiden henkilökohtainen kuntoindeksi keskimäärin nousi ja heikkokuntoisten osuus laski vuosien 2005–2010 aikana. Sotilaiden kestävyyskunnossa todettiin kuitenkin kehitettävää, koska keskimääräinen kuntotaso oli alhainen. Pitkäkestoiset, kestävyysharjoitteluun painottuvat kunto-ohjelmat ja ohjattu harjoittelu olisivat tarpeellisia. Niiden suuntaaminen erityisesti vähän liikuntaa harrastaville ja heikkokuntoisille sotilaille todennäköisesti parantaisi heidän fyysistä toimintakykyään ja myös vähentäisi sairauspoissaoloja. Raportointivaiheessa oleval-

la NAVY-MEDSTEP-väitöskirjatutkimuksella tuotetaan tietoa aluspalvelushenkilöstön fyysisen toimintakyvyn kehittämisestä.

Kognitiivisen toimintakyvyn tutkimus sotilaan toimintakyvyn kehittämisessä on lisääntynyt merkittävästi eri asevoimissa. Kognitiivinen toimintakyky on sotilaille keskeinen psyykkisen toimintakyvyn osa-alue. Korkeampi kognitiivinen toimintakyky edistää muun muassa taistelijan edellytyksiä selviytyä tarkkaavaisuuteen, havainnointiin, tiedon käsittelyyn ja prosessointiin sekä päättelyyn ja ongelmanratkaisuun liittyvistä haasteista. Sotilaallisessa suorituskyvyssä toimintakyvyn osa-alueet kytkeytyvät toisiinsa ja taistelijan henkilökohtaisiin ominaisuuksiin. Taistelijan toimintaympäristöön sopivia kognitiivisia testejä ja menetelmiä tulisi tutkia ja kehittää, jotta toimintakyvyn eri osa-alueista ja niiden keskinäisistä yhteyksistä saataisiin lisää tietoa.

Hyvän fyysisen kunnon on todettu olevan yhteydessä psyykkiseen resilienssiin, henkiseen vahvuuteen ja psyykkisen stressin sietokykyyn. Resilienssillä tarkoitetaan kykyä sopeutua psyykkisesti kuormittavaan tilanteeseen ja toipua vastoinväkymisistä. Laajemmin määriteltynä resilienssi on myös kykyä kestää, selviytyä, toipua ja kasvaa haasteiden tai stressitekijöiden edessä. Resilienssin on osoitettu olevan käänteisesti yhteydessä ahdistuneisuuteen, masennukseen ja posttraumaattisen stressihäiriön (PTSD) oireisiin sekä positiivisesti yhteydessä parempaan paineensietokykyyn ja suoriutumiseen haastavissa tilanteissa. Kirjassa on artikkelit fyysisten ja psykologisten ominaisuuksien yhteyksistä toimintakyvyn ja kognitiiviseen toimintakykyyn.

Selvät sävelet tulevaisuuteen

Tilastollisten ennusteiden perusteella voidaan olettaa, että palveluksen aloittavien nuorten kuntotaso on jatkossakin enintään nykyisellä tai jopa huonommalla tasolla. Tämä johtuu pääasiassa siitä, että lasten ja nuorten liikunta-aktiivisuuden taso on nykyisin fyysisen kunnon kehittämisen näkökulmasta liian alhainen. Varusmieskoulutuksessa tulee ottaa aiempaa paremmin huomioon koulutettavien lähtötaso- ja sukupuolierot. Säännöllinen fyysinen harjoittelu ennen palveluksen aloittamista näyttäisi olevan hyödyllistä nuorten fyysisen toimintakyvyn edistämisessä ja rasitusmurtumien ennaltaehkäisyssä.

Viimeaikaiset kriisinhallintaoperaatiot ovat osoittaneet, että sotilailta vaaditaan edelleen hyvää fyysistä ja henkistä kuntoa, monipuolisia sotilastaitoja sekä teknologian hallintaa. Fyysisen toimintakyvyn testaamisen lähtökohtana tulee kansainväliseen tapaan olla tehtäväkohtaiset vaatimukset ja toimintakykytestit. Yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu näyttäisi olevan tehokkain tapa sotilaiden fyysisen toimintakyvyn kohottamiseen. Toimintakyvyn seurannassa tulisi harvita erilaisten sensorien hyödyntämistä, jotta vältetään muun

muassa ylikuormittumiselta ja vammoilta sekä saadaan reaaliaikaista tietoa sotilaiden fyysisestä tilasta johtamisen tueksi.

Taistelijan fyysinen toimintakyky 2020 -kirjan (<https://www.doria.fi/handle/10024/180906>) johtopäätöksissä esitetään seitsemän tulevaisuuden toimenpidesuosituksen, joilla sotilaan fyysisen toimintakyvyn koulutusta ja tutkimustoimintaa voidaan kehittää edelleen. Ne ovat seuraavat:

1. Fyysisen toimintakyvyn tavoitteet määritetään poikkeusolojen tehtäväkohtaisten vaatimusten näkökulmasta.
2. Monitieteisen toimintakyvyn tutkimustoiminnan kustannustehokkuuden kehittäminen edellyttää nykyistä parempaa koordinaointia Puolustusvoimissa.
3. Puolustusvoimien tutkimustoiminnan kustannustehokkuuden ja osaamisen kehittämiseksi syvennetään ja laajennetaan yhteistyötä kansainvälisten tutkimuskumppanien sekä potentiaalisten asevoimien tutkimuslaitosten kanssa.
4. Kehitetään toimintamalleja, jotta fyysistä kuntoa voidaan edistää jo ennen palveluksen alkamista etenkin vähän liikkuvilla nuorilla miehillä ja vapaaehtoiseen asepalvelukseen hakeutuvilla naisilla.
5. Fyysistä toimintakykyä kehittävien harjoitusmenetelmien kehittämistä jatketaan tutkimustietoon perustuen.
6. Valmiusyksiköissä palvelevien varusmiesten sekä niistä kotiutuneiden reserviläisten toimintakykyä on tutkittava nykyistä kattavammin.
7. Toimintakyvyn tutkimuksessa on otettava kokonaisuutena huomioon fyysiset, psyykkiset, sosiaaliset ja eettiset ulottuvuudet. Tutkimusten suunnitteluvaiheessa ne pyritään ottamaan huomioon eri toimialojen yhteistyönä.

Kirjoittajat:

Filosofian tohtori, everstiluutnantti (evp.) Matti Santtila toimii dosenttina Maanpuolustuskorkeakoulussa sotilaan fyysisen toimintakyvyn tutkimusalalla.

Liikuntasuunnittelija Kai Pihlainen toimii erikoisuunnittelijana Pääesikunnan koulutusosastossa fyysisen toimintakyvyn toimialalla.

Liikuntapäällikkö Lasse Torpo toimii toimialajohtajana Pääesikunnan koulutusosastossa fyysisen toimintakyvyn toimialalla.

Liikuntatieteiden maisteri Tommi Ojanen toimii fyysisen toimintakyvyn tutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksella ihmisen suorituskyky sotilasympäristössä -tutkimusalalla.

Dosentti Jani Vaara toimii tutkijana Maanpuolustuskorkeakoulussa fyysisen toimintakyvyn tutkimusalalla.

Professori Heikki Kyröläinen toimii professorina Maanpuolustuskorkeakoulussa ja Jyväskylän yliopistossa sotilaan fyysisen toimintakyvyn ja liikuntafysiologian tutkimusalalla.

Mitä varusmiehet ajattelevat yhteismajoituksesta?



Yhteistupa Kainuun prikaatissa. (Kuva: Puolustusvoimat)

Mies- ja naisvarusmiesten yhteismajoituskokeilua tarkastellut TUPA-projekti toteutettiin vuosina 2020–2021. Kyselytutkimuksesta on julkaistu raportti Maanpuolustuskorkeakoulun Johtamisen ja sotilaspedagogiikan laitoksen julkaisusarjassa kesäkuussa 2021. Raportti perustuu Kainuun ja Karjalan prikaateissa syys-lokuussa 2020 tehtyyn kyselyyn, johon vastasi yhteensä 1 627 saapumiserän 2/20 varusmiestä. Prikaatien yhteenlaskettu vastausprosentti oli 50. Kyselyyn vastaaminen ei edellyttänyt kokeiluun osallistumista. Kyselyn lisäksi projektissa haastateltiin 25:tä kokeiluun osallistunutta varusmiestä. Haastattelut tehtiin marraskuussa 2020 Karjalan prikaatissa (11 kpl) ja toukokuussa 2021 Kainuun prikaatissa (14 kpl).

Suostumisen moninaiset syyt

Yhteismajoituskokeiluun osallistuminen on koko kokeilun ajan ollut varusmiehille vapaaehtoista. Suostumus yhteisma-

joitukseen on kysytty alokaskirjeen yhteydessä sekä mahdollisesti myöhemmin uudelleen. TUPA-kyselyyn vastanneista 67 prosenttia ilmoitti suostuneensa yhteismajoituskokeiluun, kun sitä kysyttiin alokaskirjeen yhteydessä. Suostumusprosentissa ei ollut suurta eroa sukupuolten välillä (naisilla 65 %, miehillä 67 %). Kyselyvastaajista 13 prosenttia (213 varusmiestä) asui kyselyhetkellä yhteismajoituskokeilun pohjalta sekaturvassa.

Syyt kokeiluun suostumiseen ja siitä kieltäytymiseen vaihtelevat mies- ja naisvarusmiesten välillä. Ainakin pintapuolisesti miehet suhtautuvat kokeiluun välinpitämättömästi ja suostuvat yhteismajoitukseen useimmiten asenteella ”miksi ei”. Positiivisemmin suhtautuvat puhuvat tasavertaisuudesta palvelusaikana ja pitävät sukupuolta yhdentekevänä omassa ryhmässään. Suostumista perustellaan myös kokeilunhalulla ja mielenkiinnolla: yhteismajoituksen odotetaan tuovan ”väriä inttiarkeen”. Miestenkin vastauksissa mainitaan odotukset tiiviimmästä ryhmähengestä, mutta naisvarusmiesten

vastauksissa ryhmään ja yhteishengen liittyvät syyt ovat selvästi suurin vaikutin vapaaehtoisuuden takana. Naisten vastauksissa puhutaan myös naistupien huonoista puolista, esimerkiksi tiedonkulkuun liittyen, joista vastaajat ovat selvästi tietoisia jo ennen palveluksen alkamista.

Kokeilusta kieltäytyneet miehet kertovat kiinnostuksen puutteesta kokeilua kohtaan. Yllättävän paljon vastaajat toivovat perinteistä armeijakokemusta, jota tutkimusaineistossa luonnehtii miesten keskinäinen oleminen, tekeminen ja leikinlasku. Tämän he eivät uskoneet toteutuvan yhteistuvassa. Useissa vastauksissa viitataan naisten negatiiviseen vaikutukseen tuvassa. Sen ajatellaan ilmenevän vaivaantuneena ilmapiirinä tai juttelun tyrehtymisenä. Naiset, jotka kieltäytyivät kokeilusta, näkevät naisten erillisen tuvan ainakin aluksi helpompana vaihtoehtona, sillä armeija-arkeen ja uuteen kokeiluun liittyy paljon epävarmuutta. Naistuvalta toivotaan omaa rauhaa, naisten keskinäistä tukea sekä mahdollisuutta jakaa huolia.

Kokemukset pitkälti positiivisia

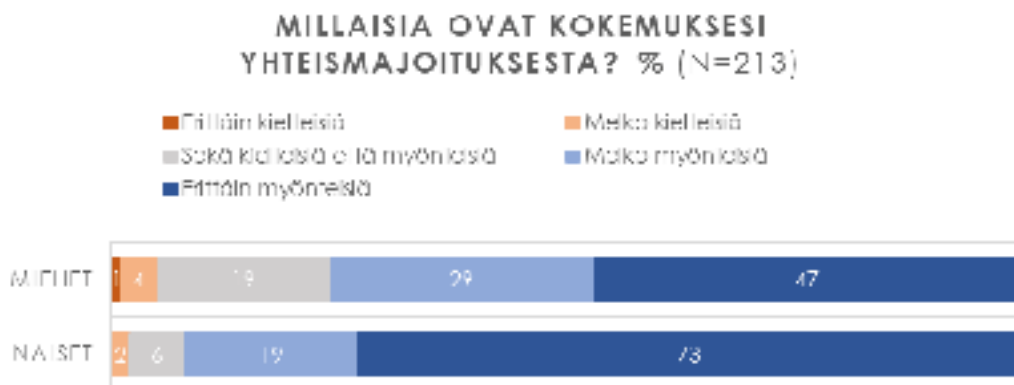
Suurin osa yhteismajoituskokeiluun osallistuneista kertoo kokemuksen olleen joko melko myönteinen tai erittäin myönteinen (kuvio 1). Yhteismajoituksen tärkeimpänä hyvänä puolena kokeiluun osallistuneet kertovat paremmasta ryhmä- ja yhteishengestä sekä siitä, että kaikki pääsevät osaksi ryhmää aiempaa luontevammin. Yhteismajoitus liitetään tasa-arvoon, ja sen nähdään poistavan turhaa erittelyä sekä sukupuolittuneita ryhmiä. Erityisesti naisvarusmiehet kokevat yhteismajoituksen positiivisena seurauksena paremman tiedonkulun.

Kokeilun huonoista puolista kysyttäessä varsinkin yhteismajoittuneet miehet pohtivat, ettei yhteistupa välttämättä sovi kaikille: naisten kanssa majoittuminen ei ole luontevaa

kaikille miehille, ja joukkoon mahtuu aina joitakin ”mätämunia”. Tämän takia he korostavat vapaaehtoisuuden tärkeyttä yhteismajoitusjärjestelyissä. Suurin osa yhteistupien huonoista puolista tuleekin ilmi lähinnä hypoteettisen pohdinnan kautta – ei osallistujien omina kokemuksina. Konkreettisena huonona puolena mainitaan kuitenkin esimerkiksi vaatteiden vaihdon mutkistuminen yhteistuvassa.

Yleisesti suhtautuminen yhteistupiin kaikkia varusmiehiä koskevana majoitusjärjestelynä on myönteistä. Suhtautumisessa yhteistupiin on tapahtunut selkeä positiivinen muutos neljän vuoden takaiseen tutkimukseen verrattuna. TU-PA-kyselyssä myönteisin suhtautuminen on yleisesti naisilla verrattuna miehiin sekä kokeiluun osallistuneilla miehillä ja naisilla verrattuna niihin, jotka eivät majoittuneet yhteistuvassa. Miehet taas suhtautuvat naisia myönteisemmin muihin yhteismajoituksen järjestelyihin, kuten yhteisiin suihku-, wc- ja pukeutumistiloihin.

Yhteismajoituksen on toisinaan pelätty johtavan seksuaalisen ja sukupuolisen häirinnän ja ahdistelun lisääntymiseen. Häirinnän ja ahdistelun yleisyys ei eroa suuresti yhteismajoituskokeiluun osallistuneiden (joista 5 % on kokenut häirintää tai ahdistelua) ja kokeilun ulkopuolisten varusmiesten (joilla vastaava luku on 4 %) välillä. Kokeiluun osallistuneet naisvarusmiehet ovat kuitenkin kokeneet lähes kaksinkertaisen määrän häirintää ja ahdistelua verrattuna kokeilun ulkopuolisiin naisvarusmiehiin. Sama ero näkyy myös raportoiduissa kiusaamiskokemuksissa. Molemmassa tapauksissa kiusaaja tai ahdistelija on tavallisimmin tuvan ulkopuolinen vertainen. Kyselyvastauksissa naisten kieltäytymisen taustalla ollut toive oman sukupuolen tuesta on nähtävissä myös kokeiluun osallistuneiden parissa. Haastattelussa on tullut selkeästi ilmi jokseenkin ristiriitainen dynamiikka naisten kokemuksissa yhteismajoituksesta. Yhtäältä naisvarusmiehet pitävät yhteismajoitusta erillisiä naistupia selvästi parempana käy-



Kuvio 1. Mies- ja naisvarusmiesten kokemukset yhteismajoituksesta.

täntönä, mutta toisaalta he samaan aikaan kertovat kaipaavansa toisten naisten läsnäoloa ja tukea. Vaikka mahdollisia aiempia naistupia harvoin kaivataan, toiset naisvarusmiehet näyttävät olevan tärkeä tuen lähde.

Naisvarusmiehet hakevat palvelusaikanaan toisten naisten seuraa ja vertaistukea erilaisin käytännöin, esimerkiksi hakeutumalla vapaa-ajalla aiemmista tuvista tuttujen naisten sekä muiden naisvarusmiesten seuraan. Yhteismajoitusolosuhteissa tällaisen vertaistuen tarve saattaa korostua. Eräs haastateltava mainitsi naisten wc- ja suihkutilan paikkana, johon naisvarusmiehet kokoontuivat suunnitellusti viettämään aikaa ja juttelemaan ja jota he kutsuivat olohuoneeksi. Toisessa haastattelussa selvisi, että naispuoliset varusmiesmiehet olivat perustaneet säännölliset ”naisten illat”, joissa annettiin ja saatiin vertaistukea vapaa-ajalla.

Yhteismajoitus vakiokäytännöksi?

Yhteismajoituskokeilu aloitettiin toukokuussa 2020 Reserviupseerikursilla 256 sekä Karjalan ja Kainuun prikaateissa heinäkuussa 2020. Kokeilua on jatkettu vuonna 2021 laajennettuna Ilmasotakouluun ja Rannikkoprikaatiin. Vuonna 2022 kokeilu jatkuu yhä vapaaehtoisuuden pohjalta ja laajenee edelleen.

Yhteismajoituskokeiluun on liittynyt enemmän pelkoja kuin ongelmia. Julkinen keskustelu kokeilusta on koostunut



Nais erityiset saniteetitilat voivat toimia ”olohuoneena”, johon naisvarusmiehet kokoontuvat tapaamaan toisiaan. (Kuva: Puolustusvoimat.)

yhtäältä Puolustusvoimien toiveista ja hyvistä kokemuksista kokeilun suhteen, toisaalta nuoria koskevalle keskustelulle tyypillisestä huolipuheesta, jossa peistä on taitettu kokeilun negatiivisista vaikutuksista huolestuneiden ja heidän nuorisokäsityksiään kritisoivien välillä. Varusmiehille teetetystä kyselyssä sekä haastatteluissa pelot näkyvät siten, että yhteismajoitukseen osallistumaton ja siihen negatiivisesti suhtautuva vähemmistö tuo esiin sekatupiin liittyviä riskejä ja huonoja puolia.

Kokeiluun osallistuneiden varusmiesten kokemukset yhteismajoituksesta ovat olleet pääsääntöisesti positiivisia sekä kyselyn että haastattelujen perusteella. Koska osa asevelvollisista miehistä ja vapaaehtoiseen palvelukseen osallistuvista naisista kuitenkin suhtautuu yhteismajoitukseen kriittisesti tai kielteisesti, vakiokäytäntönä yhteismajoituksella saattaisi olla negatiivisia vaikutuksia miesten palvelusmotivaatioon ja naisten halukkuuteen hakeutua palvelukseen. Vastaavasti suostumukseen perustuva yhteismajoituskäytäntö voisi monimutkaistaa majoitusjärjestelyjä, eikä yhteismajoituksesta saatavia hyötyjä saavutettaisi täysimääräisinä. Erityisesti mikäli yhteismajoituksesta tulee kaikkia koskeva – tai ainakin ensisijainen – käytäntö, varusmiesten ja kantahenkilökunnan mielipiteiden seurantaan tarkempi tutkimus on tarpeen jatkossakin. Yhteismajoituksen vaikutukset palvelushalukkuuteen, palveluskulttuuriin ja ryhmädynamiikkaan sekä kiusaamiseen, ahdisteluun ja häirintään ovat silloin keskeisiä tarkasteltavia teemoja.

Mies- ja naisvarusmiesten yhteismajoituskokeilun seurantaratkimus (TUPA) on luettavissa seuraavassa osoitteessa: <https://www.doria.fi/handle/10024/181171>.

Kirjoittajat:

Filosofian tohtori Teemu Tallberg toimii sotilas sosiologian professorina Maanpuolustuskorkeakoulun Johtamisen ja sotilaspedagogiikan laitoksella.

Yhteiskuntatieteiden kandidaatti Roosa Rahikka toimi TUPA-projektin tutkimusavustajana Maanpuolustuskorkeakoulun Johtamisen ja sotilaspedagogiikan laitoksella vuosina 2020–2021.

Junarmija – Venäjän valtio nuorten identiteettiä muotoilemassa



Junarmijalaisia Voiton päivän paraatissa Punaisella torilla 2019. (Kuva: Mil.ru, Wikimedia Commons, CC4.0)

Venäjän virallinen ideologia, patriotismi, on alkanut viime vuosina merkitä yhä enemmän militarismia ja sotaan valmistautumista. Sotilaallis-isänmaallisen kasvatuksen rooli osana patrioottista kasvatusta on lisääntynyt jokaisen viisivuotisoljelman myötä, joita on laadittu vuodesta 2001. Samaan aikaan Venäjällä on elvytetty useita Neuvostoliitossa toimineita sotilaallis-isänmaallisia organisaatioita, kuten Suvorovin ja Nahimovin sotilaskoulut, kadettijoukot, kasakkakoulut, Vapaaehtoinen Maa-, Ilma- ja Merivoimien Tukemisen Seura DOSAAF sekä Valmis Työhön ja Puolustukseen -koulutusjärjestelmä. Vuonna 2016 perustettiin puolustusministeri Sergei Šoigun aloitteesta ”Yleisvenäläinen lasten ja nuorten sotilaallis-isänmaallinen sosiaalinen liike Junarmija”, joka voidaan suomentaa myös ’nuoreksi armeijaksi’. Junarmijaan kuuluu jo yli 850 000 lasta ja nuorta. Liikkeen tavoitteena oli jo vuonna 2020 nostaa jäsenmäärä miljoonaan ja toimia jokaisen peruskoulun yhteydessä. Kasvu ei kuitenkaan ole

ollut ihan niin nopeaa, suurimpana syynä todennäköisesti Venäjän vaikea koronatilanne.

Sotilaallis-isänmaallisen kasvatuksen katkeamaton jatkumo

Isänmaallisen kasvatuksen sotilaallista aspektia ei Venäjällä tarvitse selitellä: armeijan ja isänmaallisuuden symbolinen ykseys on kestänyt vuosisatoja. Tavallinen kansalainen ymmärtää patriotismi-termin sisältävän aina myös sotilaallista valmistautumista ja koulutusta, vaikka paperilla isänmaallinen kasvatusta erotetaan sotilaallis-isänmaallisesta kasvatuksesta. Nykyisessä isänmaallisen kasvatuksen mallissa on kaikuja Neuvostoliitosta, jossa Stalinin hallitus organisoi massiivisen ”väistämättömään sotaan” valmistautumiseen keskittyvän propagandakampanjan. Lähes koko kansa osallistui sotilaallis-isänmaalliseen koulutukseen, erityisesti

nuoriso. Kommunistinen nuorisoliitto Komsomol koului nuorista kommunisteja, mutta todellisuudessa koulutus alkoi kasvavassa määrin tarkoittaa myös taistelijoiden kasvattamista. Tänä päivänä isänmaallinen koulutus on jälleen sidoksissa kaikkiin valtion instituutioihin, ja sitä koordinoidaan hallinnon kaikilla tasoilla.

Sotilaallis-isänmaallisen kasvatuksen uusi tuleminen yhdistetään usein presidentti Vladimir Putiniin. Todennäköisemmin nykyiset patrioottiset diskurssit muovautuivat kuitenkin jo 1990-luvulla Venäjän armeijan traditionaalisissa piireissä, joissa asevoimien nähtiin olevan historiallisen jatkuvuuden ja venäläisyyden suojelija. Jeltsinin modernimman identiteettipolitiikan epäonnistuttua Neuvostoliiton sotilaallis-isänmaallinen infrastruktuuri oli helposti herätettävissä henkiin. Kun Kreml alkoi avoimesti vedota traditionaalsiin arvoihin vuoden 2012 jälkeen, sotilaallis-isänmaallisen koulutuksen kokonaisuus oli jo valmiina. Nykyisessä patrioottisessa projektissa moraaliset arvot ja sosiaaliset huolenaiheet ovat yhtä tärkeitä kuin sotilaallinen turvallisuus. Armeijaa käytetään nuorten kasvattamiseen hyväksi ihmisiksi ja kansalaisiksi, mikä ei välttämättä liity ainoastaan sotilaalliseen toimintakykyyn. Toisaalta Venäjän asevoimien modernisointi ja uudelleenbrändääminen, jonka yhtenä tehtävänä on ollut asepalveluksen arvostuksen lisääminen, on varmasti antanut lisävauhtia projektille.

Argumentit Junarmijan ja sotilaallis-isänmaallisen koulutuksen legitimoimiseksi nojaavat vahvasti sotilaallisen traditionalismin diskurssiin ja uhkakuviiin. Retoriikassa sekoittuvat länsivastaiset asenteet ja viittaukset valikoituihin Venäjän historian jaksoihin, esimerkiksi tsarin aikakauden uskonnolliseen konservatismiin ja Neuvostoliiton voittoon toisessa maailmansodassa. Suureen isänmaalliseen sotaan osallistui suuri määrä vapaaehtoisia, myös naisia, minkä ymmärretään olevan juuri tehokkaan sotilaallis-isänmaallisen koulutuksen ansiota. Sota onnistui mobilisoimaan Neuvostoliiton monikansallisen väestön, ja sodan muiston toivotaan tekevän tänä päivänä samoin Venäjän kansallisen idean vahvistamisessa. Venäjän valtio haluaisi nähdä, että patriotismin idea monikansallisesta, yleisvenäläisestä maasta toimisi yksilön elämän perusarvona. Suurin osa venäläisistä pitää itseään kuitenkin paikallisina patriootteina, joiden isänmaallisen rakkauden kohteina ovat oma alue ja synnyinseutu ja joille koko Venäjä on liian ”abstrakti” edustettavaksi.

Sotilaallis-patrioottisen kasvatuksen ideologinen sisältö on taaksepäin katsova. Tässä ideologiassa tulevaisuudenkuva on sulautunut idealisoituun menneisyyteen ja Pioneerij- ja Komsomol-järjestöjen henki on läsnä tavoitteissa valjastaa koko sukupolvi mukaan. Neuvostotyylisen sotilaallis-isänmaallisen kasvatuksen elpymistä ovat tukeneet peruskoulujen opettajat, joiden keski-ikä Venäjällä on 52 vuotta ja joiden ammatilliset asenteet ja arvot ovat siten muovautuneet Neuvostoliiton ide-

ologian alla. Monet opettajat pitävät nykyistä koulutusmallia 1990-luvun kaaoksen jälkeen edistyksellisenä.

Junarmija – kansalaisen ja patriootin kasvatusta

Junarmijan päätehtävänä on kasvattaa lapsista aktiivisia, patrioottisia kansalaisia sekä valmentaa nuoria miehiä asepalvelukseen. Junarmija tarjoaa erilaisia etuja ja mahdollisuuden sosiaaliseen nousuun yhteiskunnassa: jäsenten toivotaan hakevan Venäjän sotakorkeakouluihin, joissa he saavat ilmaisen korkeakoulutuksen ja sosiaalista tukea puolustusministeriöltä. Jo yli 20 yliopistoa tarjoaa pääsykokeissaan lisäpisteitä Junarmijaan kuuluneille nuorille.

Junarmijassa yhdistyy perinteisten sotilaallis-isänmaallisten organisaatioiden ja uudempien poliittisten nuorisojärjestöiden piirteitä. Putinin ensimmäisellä kaudella vuonna 2000 perustettiin nuorisojärjestö Iduštšie vmeste (”kulkea yhdessä”) heijastelemaan hallituksen arvoja. Ukrainan Oranssin vallankumouksen jälkeen luotiin isompi, ideologisempi järjestö Naši (”meikäläiset”), jonka tarkoituksena oli luoda uutta poliittista eliittiä ja hiljentää mahdolliset väri vallankumoukset. Venäjän miehittettyä Krimin vuonna 2014 uudelle nuorisojärjestölle oli taas tilausta kuvastamaan Venäjän uutta, määrätietoisempaa ja militantimpaa ulkopoliittikkaa. Junarmijan perustamisen legitimointi Krimin tapahtumien jälkeisessä hurmioituneessa isänmaallisessa, neuvostonostalgisessa ilmapiirissä oli helppoa.

Vaikka Našiin ei viitatakaan Junarmijaa koskevissa keskusteluissa, kummankin järjestön tarkoituksena on vastata samankaltaisiin koettuihin uhkiin, kuten länsimaisiin arvoihin, väri vallankumouksiin ja opposition nousuun. Naši kuihtui sen poliittisten johtajien vallan menettämiseen ja sitä myöten resurssien loppumiseen. Junarmija sen sijaan on sidottu tiukemmin vakaisiin instituutioihin, kuten DOSAAFiin ja puolustusministeriöön. Kun toiminta jalkautetaan mahdollisimman laajasti instituutioihin ja peruskouluihin, yksittäisten jäsenten ideologinen sitoutuminen ei ole niin tärkeää kuin Našissa. Riittää, että mahdollisimman moni nuori on mukana.

Venäjän puolustusministeriö on ottanut avainroolin Junarmijan johtamisessa. Monet valtionyhtiöt ja -instituutiot sponsoroivat Junarmijaa mahdollistaen liikkeelle loppumattoman tuntuiset resurssit. Tyypillisesti Junarmijan alueellisia organisaatioita johtaa ”silovikki” (turvallisuus-, järjestys- tai puolustusorganisaation työntekijä) tai paikalliseen eliittiin kuuluva henkilö, joka on lojaali turvallisuusviranomaisille.

Isänmaalliset projektit, järjestöt ja ohjelmat osallistavat nuorten lisäksi veteraaneja, joiden on tarkoitus jakaa nuorille kokemuksiaan ja vahvistaa sitä kautta sukupolvien välistä ketjua. Jo 1990-luvulla voimaministeriöiden ideana oli pa-

lauttaa veteraaneille heidän auktoriteettinsa jalkauttamalla heitä nuorisotoimintaan. Tarkoituksena oli kanavoida veteraanien väkivaltaa ja epävirallisia verkostoja, jotka olivat seurausta valtion vastuun välttelystä sotatraumojen hoitamisessa sekä kyvyttömyydestä maksaa eläkkeitä. Nyt, pari vuosikymmentä myöhemmin, yhteistyö veteraanien kanssa näyttää onnistuvan paremmin: he työskentelevät palkattuin tai vapaaehtoisesti monissa Junarmijan aktiviteeteissa ja ovat jatkuvasti esillä liikkeen sosiaalisen median viestinnässä.

Melkein vapaaehtoista

Junarmija rekrytoi uusia jäseniä pääsääntöisesti suoraan kouluista. Liikkeeseen voivat vapaaehtoisesti liittyä 8–17-vuotiaat koululaiset sekä paikalliset sotilaallis-isänmaalliset järjestöt. Vapaaehtoisuutta on kyseenalaistettu, sillä sotilashenkilöstön sekä virkamiesten ja puolustusalan työntekijöiden lapsilla on epävirallinen liittymisvelvoite Junarmijaan, kuten myös orpokotien lapsilla, joiden huoltajana toimii valtio. Orpojen osallistamisella sotilaalliseen toimintaan on pitkä historia Venäjän vallankumouksesta (1917) lähtien: Neuvosto-Venäjän salainen poliisi Tšeka perusti hätä-

komitean orpojen hoitamiseksi. Nämä lapset muodostivat myöhemmin suuren osan sisäasiainkansankomissariaatti NKVD:n upseerijoukoista. Neuvostoliitossa Komsomolin tehtävänä oli huolehtia orpokodeista. Ilmiö ei ole uusi tälläkään vuosituhannella, sillä vuonna 2000 annettu presidentin asetus asetti armeijan vastaamaan osasta sosiaalisia ongelmia, joita valtio ei ottanut vastuulleen.

Vaikka Junarmijan retorinen pääviesti pohjaa kansalaisuuskasvatukseen, lähes kaikki aktiviteetit liittyvät sotilaalliseen toimintaan, joka esitetään poikkeuksetta iloisena ja seikkailullisena asiana. Puolustusministeri Šoigu on sanonut, että ”armeijan kautta junarmijalaiset pääsevät lentämään lentokoneilla, hyppäämään laskuvarjoilla, risteilemään sotalaivoilla ja ampumaan kaikella, mikä ampuu, lukuun ottamatta ohjuksia”. Sotilaallisen peruskoulutuksen ohella Kreml haluaa luoda Junarmijan avulla kurinalaisen koulutusrakenteen Venäjän nuorelle sukupolvelle, jonka parissa jengityminen, itsemurhat sekä alkoholin ja huumeiden käyttö ovat valtava ongelma. Ristiriitaista iloiselle harrastukselle on, että sotilaallis-isänmaallista kasvatusta voidaan käyttää myös rangaistuksena. Venäjän sisäasiainministeriö on tehostanut



”Bantikit”, valkoiset pöyheät hiuskoristeet, jotka tulivat osaksi koulupukua 1940-luvulla, koristavat taas monien tyttöjen hiuksia Junarmijassa. (Kuva: Mil.ru, Wikimedia Commons, CC 4.0)

niiden verkossa tapahtuvien rikosten ehkäisemistä, jotka liittyvät ”alikäisten mielten manipulointiin”. Näihin rikoksiin syyllistyneet nuoret voidaan lähettää rangaistuksena sotilaallis-isänmaallisille leireille.

Valtio, kirkko ja armeija yhteistyössä

Valtion nationalistiset kertomukset tarjoavat symbolisen kehyksen Junarmijalle, jonka ideologia nojaa pitkälti Suuren isänmaallisen sodan glorifiointiin. Sotilaallis-isänmaallisen kasvatuksen diskurssit muotoilevat nuorten identiteettiä valtion viranomaisten suosiman mallin mukaiseksi. Ideaali junarmijalainen on yhteisöllinen, urheilullinen, perinteitä kunnioittava aktiivinen patriootti, joka on valmis taistelemaan ja tarvittaessa uhraamaan itsensä. Tämän päivän nuorille patriooteille sotilaat ovat tärkein esimerkki, johon samaistua. Kun Venäjän historiankirjoitus korostaa yhä enemmän voittoa sotahistoriaa ja sotilaallis-isänmaallinen koulutus kietoutuu koulujen lukujärjestykseen, sotilas ja kansalainen alkavat tarkoittaa samaa asiaa.

Venäjän ortodoksinen kirkko painottaa uhrautumisen ja marttyyrien merkitystä identiteetin muotoutumisessa. Toisaalta isänmaallisten nuorten uhrautuminen on kuulunut valtion virallisiin narratiiveihin jo sekulaarisena neuvostoajana, jolloin nuorista partisaaneista ja armeijan adoptoimista lapsista tehtiin sotapropagandassa patriotismin ikoneita. Kirkolla on muitakin motiiveja olla mukana toteuttamassa patrioottista kasvatusta. Presidentti Putin pitää matalaa syntyvyyttä ongelmana erityisesti siitä syystä, että tulevaisuudessa varusmiesten ikäistä väestöä ei ole tarpeeksi. Valtion sotilaallis-isänmaalliset tavoitteet liittyvät täten loogisesti ortodoksinen kirkon markkinoimiin perinteisiin sukupuolirooleihin ja ydinperhemalliin.

Samaan aikaan, kun naisten odotetaan synnyttävän enemmän lapsia ja omaksuvan ensisijaisesti äidin roolin elämässään, Junarmijan jäsenistä lähes puolet on tyttöjä. Tämä voisi antaa viitteitä siitä, että naisten rooli asevoimissa on kasvussa ja muuttumassa. Naisilla ei ole asevelvollisuutta Venäjällä, mutta heidän määränsä sopimussotilaina on kasvussa. Tällä hetkellä sopimussotilaina palvelee noin 40 000 naista, ja 280 000 naisella on siviilivirka Venäjän asevoimissa. Todenäköisemmin tyttöjen sotilaallisella kouluttamisella pyritään kuitenkin saavuttamaan kattava kansalaisten tuki militarismille – ilman, että armeija ”naisistuu” liikaa. Traditionaalisen sukupuolipolitiikan ja militarismin yhteensovittaminen on monimutkainen rakennelma, jossa militarisoitu femininisyys tukee maskuliinista sotilaallisuutta ja joka mahdollistaa tarvittaessa naisten mobilisoinnin ilman, että perinteisiä sukupuolirooleja tarvitsee liikaa kyseenalaistaa. Historiaa ajatellen sotilaallisia taitoja opettelevista venäläisistä tytöistä kannattaa kuitenkin olla kiinnostunut tänäkin päivänä.

Todellisuus vallanpitäjien visioiden tiellä

On hyvä muistaa, että patrioottisen kampanjoinnin kohteena on nuoriso, jonka käsitys isänmaallisuudesta ei vastaa vanhempien sukupolvien tai päättäjien kokemusta. Nuoret voivat osoittaa isänmaallisuutta saavuttaakseen etuja työelämässä tai nauttia sotilaallis-isänmaallisten järjestöjen resursseista pienemmällä paikkakunnilla, joissa harrastusmahdollisuuksia on vähän. On silti vaikea arvioida, tuleeko heistä tällä tavalla Kremlin hahmottelemia patriootteja. Toisin kuin kommunismi järjestelmänä, patriotismi ideologiana ei yllä jokaiselle elämänalueelle. Projektit eivät myöskään ole riskittömiä, sillä alikäisten sotilaallinen koulutus voi lisätä yhteiskunnassa aggressioita ja sellaisia nationalistisia narratiiveja, joista voi koitua Kremlille ongelmia vastaisuudessa. Lisääntyvä kansalaisten vastakkainasettelu ”meidän” (patriootit) ja ”muiden” välillä ei kouluuailmaan vietyinä voi vakauttaa huomisen yhteiskuntaa. Toisaalta verrattain pieni, Kremlille omistautunut patrioottien joukko voi tulevaisuudessa auttaa pitämään pystyssä nykyisenkaltaisia valtarakenteita Venäjällä.



Junarmija toistaa Komsomolin ja Pioneerien kuvakieltä. (Kuva: Mil.ru, Wikimedia Commons, CC4.0)

Kirjoittaja:

Filosofian maisteri Jonna Alava toimii tutkijana Maanpuolustuskorkeakoulun Sotataidon laitoksen Venäjä-ryhmässä sekä kirjoittaa Helsingin yliopistossa väitöskirjaa Venäjän sotilaallis-isänmaallisesta kasvatuksesta ja sen sukupuolinäkökulmista.

Puolustusvoimat – kokeileva organisaatio jo 1920–1930-luvuilla

Puolustusvoimien tavoitteena on koko Suomen itsenäisyyden ajan ollut toteuttaa sille asetettuja tehtäviä mahdollisimman tehokkaasti. Useimmiten resurssit ovat olleet niukat, joten uuden sotavarustuksen, aseistuksen ja uusien taidollisten kykyjen kehittäminen on vaatinut innovatiivista asioiden kokeilua ja tutkimista ennen uutuuksien käyttöönottoa.

Puolustusvoimissa toteutettua kokeilutoimintaa, joka on käytännössä edeltänyt kaikkea systemaattista kehitystyötä, ei ole aiemmin tutkittu laajassa mitassa. Tämän tutkimusaukon täyttämiseksi käynnistettiin Maanpuolustuskorkeakoulun Sotataidon laitoksella sotahistorian oppiaineessa vuonna 2018 kolmiosainen tutkimusprojekti Puolustusvoimien kokeilutoiminnan historialliset juuret. Hankkeen tavoitteena oli tutkia, miten kokeilutoimintaa on Puolus-

tusvoimissa hyödynnetty itsenäisyyden alusta kylmän sodan päättymiseen asti.

Tutkimusprojektin ensimmäinen osa valmistui huhtikuussa 2021. Tällöin julkaistiin 21 kirjoittajan voimin tutkimuskirja *Puolustusvoimien kokeilutoiminta vuosina 1918–1939. Puolustusvoimien kokeilutoiminnan historialliset juuret, osa I*. Teos on luettavissa vapaasti Doria-julkaisutietokannassa: <https://www.doria.fi/handle/10024/180859>.

Tässä artikkelissa nostetaan esiin tuloksia, joita akateemisen sotahistorian tutkimuksen keinoin laaditusta teoksesta on löydettävissä. Vuosisadan takaisessa kokeilutoiminnassa on nähtävissä yllättävän monia samankaltaisuuksia 2020-luvun Puolustusvoimien kehitys- ja kokeilutoimintaan verrattuna.

Ahkion rakenteella, muodolla ja valmistusmateriaalilla oli merkitystä. 3. divisioonan komentaja, eversti Aarne Heikinheimo tarkastelee ahkiota 1920-luvulla. Hän toimi myöhemmin kenttävarustetoimikunnan puheenjohtajana. (Kuva: Sotamuseo)



Kokeilut kehityksen mahdollistajana

Kuten tunnettua, Puolustusvoimien kehittäminen vapausodan jälkeen kesällä 1918 aloitettiin lähes nollatilanteesta. Joukkojen majoittaminen, joukkojen kouluttaminen, operatiivisen toiminnan suunnittelu ja monet muut keskeiset toiminnot oli suunniteltava ja toteutettava hyvin alkeellisesta lähtötilanteesta ponnistaen. Voimakas kehitystarve loi samalla alustan laajamittaiselle kokeilutoiminnalle. Itsenäisyyden ensi vuosikymmeniltä onkin löydettävissä lukuisia joukko kokeiluja, jotka oli suunniteltu etukäteen tai jotka muodostivat aikanaan oman, hahmotettavissa olevan kokonaisuutensa.

Kokeilutoimintaa tehtiin 1920–1930-luvuilla paljon. Laajaa kokonaissuunnitelmaa, jonka mukaan koko Puolustusvoimien kehittämistä olisi kokeilujen avulla systemaattisesti viety eteenpäin, ei kuitenkaan ole suoraan löydettävissä tai edes rivien välistä pääteltävissä. Kokeilutoiminta ei myöskään itsessään näytä olleen Puolustusvoimien kehityksen moottori. Pikemminkin päätöksentekijöiden piti kyetä havaitsemaan kokeilujen tarpeellisuus ja tehdä oikeanlaisia kokeilutuloksiin perustuvia päätöksiä.

Aseistuksen kehittämishankkeet olivat yksi tärkeimmistä toimenpiteistä heti vuoden 1918 sodan jälkeen. Nämä hankkeet lisäsivät kokeilujen määrää, sillä tarvittiin vertailevia kokeiluja niin asetyyppien suorituskyvyn kuin käytettävyyden suhteen. Mitä pidemmälle 1920-lukua edettiin, sitä enemmän erityyppiset sotavarustekokeilut lisääntyivät. Suomalaisessa maastossa eri vuodenaikoina taisteltaessa tarvittiin tärkeitä oloihin soveltuvaa välineistöä. Marssikompassi, sotilasteltha, kamiina, sotilassukset, ahkio ja muu käytännön sodankäynnin varustus oli saatava kokeilujen avulla toimivaksi.

Jo 1920-luvulla kokeiluissa kiinnitettiin aseistuksen ja sotavarusteiden ohella huomiota taidolliseen kykyyn taistella talviolosuhteissa. 1930-luvun alkuvuosista lähtien kyky taistella metsäolosuhteissa nousi kokeilujen keskiöön. Näin ollen 1930-luvun loppuun mennessä niin aseistuksen, varustuksen kuin taidollisen osaamisen kehittämiseksi oli toteutettu kokeiluja monilla osa-alueilla, joita tulevaisuuden sodankäynnissä oletettiin tarvittavan.

Tutkimusartikkeleista käy ilmi, että sotavarustuksen, aseteeniikan ja sodankäynnin taidollinen kehitys oli maailmansotien välisenä aikana alati niin nopeaa, ettei kokeilutoiminta pysynyt tässä kehityskulussa täysin mukana. Vahvemmillä resursseilla tätä epäsuhdaa olisi pystytty tasaittamaan.

Universaaleja piirteitä vuosisadan takaisesta kokeilutoiminnasta

Oman vaikeuskertoimensa kokeilutoiminnan koordinoimille ja johtamiselle itsenäisyyden ensimmäisinä vuosikymmeninä toi se, että samanaikaisesti yhtäältä kehitettiin koko Puolustusvoimien tasoisia kehityshankkeita ja toisaalta käynnissä oli lukematon määrä pienempiä, yksittäisiin ase-tekniisiin ratkaisuihin tai sotavarustukseen liittyviä kokeiluja. Asioita oli pakko kehittää nopeassa tahdissa samanaikaisesti ja limittäin kaikilla organisaation tasoilla.

Esimerkiksi vuonna 1934 alkaneet metsätaistelukokeilut, jotka jatkuivat seuraavan viiden vuoden ajan talvisotaan asti, olivat oiva osoitus siitä, että Puolustusvoimilla oli kyky johtaa koordinoitusti isojaakin, armeijan sodankäyntitaitoon laajalti vaikuttavia kokeiluhankkeita. Toisaalta kehitystyössä ei suinkaan aina onnistuttu parhaalla mahdollisella tavalla esimerkiksi uusien aseiden tai uuden sotavarustuksen käyttöönotossa. Talvisodan karu todellisuus osoitti puutteet – ilman selitysmahdollisuutta – ennen kaikkea panssarintorjunta-aseistuksen mutta myös tykistöaseistuksen suhteen.

Puolustusvoimat oli sata vuotta sitten perinteisen hierarkkinen organisaatio, jossa yksittäisen henkilön sijaan toimijaksi miellettiin useimmiten joukko henkilöitä. Rauhan aikana korostui joukkoyksikön, esikunnan tai joukko-osaston toiminta. Kokeiluja näin jälkikäteen tarkasteltaessa uusien ideoiden esiintuomisessa, kokeilujen toteuttamisessa sekä johtamisessa yksittäisen henkilön rooli näyttää kuitenkin olleen useimmiten aivan ratkaisevassa asemassa.

Esimerkiksi kapteeni Oskari Lehtosuo keskeinen työpanos kaasusuojelukokeiluissa, majuri Lauri Starkin innovatiivisuus 1920-luvun pioneerikokeiluissa, everstilutnantti Erkki Raappanan tarmo ahkiokokeiluissa, everstilutnantti Jussi Rikaman ponnistelut rannikkotyökistön kehittämisessä ja everstilutnantti Yrjö Aleksis Järvisen panos panssarintorjuntakokeilujen toteuttamisessa olivat avaintekijöitä kyseisten alojen kokeilujen onnistumiselle.

Oma-aloitteisuuden ja kokeilumyönteisen asenteen ohella keskeistä oli Puolustusvoimien upseeriston koulutustaso, joka vapaussodan jälkeisinä vuosina oli neutraalisti sanoen hyvin kirjava. Koulutustaso kehittyi itsenäisyyden ajan kahden ensimmäisen vuosikymmenen aikana merkittävästi. Kadettikoulun oppisisältöjen kehitys, suomalaisen sota- korkeakoulutuksen aloittaminen ja ennen kaikkea yleisen koulujärjestelmän kehitys edesauttoivat Puolustusvoimien palvelukseen valikoituneiden miesten tiedollisten ja taidol-

listen valmiuksien kasvua. Käytännön tasolla vaikutukset näkyivät viipeellä, enemmän vasta 1930-luvun loppupuolelta lähtien.

Oppia haettiin ja saatiin myös ulkomailta: opintomatkoja ulkomaille, opiskelua ulkomaisissa sotakouluissa ja Puolustusvoimien palvelukseen värvättyjä ulkomaalaisia neuvonantajia. Monessa käytännön kokeilutoimessa näkyy se, miten ulkomailta saadut kokemukset joko vaikuttivat suoraan Puolustusvoimien kehitystyöhön tai vähintäänkin muovasivat sitä. Tärkeintä oli kuitenkin se, että suomalaisten olosuhteiden merkitys ja itsenäisen kyvyn tarve jatkokehitystyöhön ilman ulkomaista apua tiedostettiin selvästi.

Suomen puolustusvoimat on koko maan itsenäisyyden ajan toiminut kiinteässä yhteistyössä yhteiskunnan eri toimijoiden kanssa. 1920–1930-luvuilla yhteistyötä tehtiin niin yliopistojen ja korkeakoulujen kuin yksityisten teollisuusyritysten kanssa. Sotilaspsykologisia testimenetelmiä kokeiltiin rinta rinnan akateemisen psykologian tutkimuksen kanssa. Aseteknistä kokeilutoimintaa puolestaan toteutettiin yhteistyössä Tampellan ja muiden yksityisten toimijoiden kanssa. Puolustusvoimia ympäröivän yhteiskunnan voimavaroja pyrittiin hyödyntämään mahdollisimman tehokkaasti.

Tuloksia vuosikymmenten aikajänteellä

Aikalaiselle kehittäjälle tärkein kriteeri oli kokeilun myötä syntyneen ratkaisun laatu, käytännössä esimerkiksi aseteknisen ratkaisun toimivuus tai sotavarusteen kestävyys. Siltikin lienee selvää, että 1930-luvun kehittäjä ei uskonut sotilasteltoa m/36:n parannellun version olevan Suomen puolustusvoimien palveluskäytössä vielä vajaa vuosisata myöhemmin. Samalla tavoin muun muassa osa tykistön ja kranaatinheittämistön tulenkäytön käytänteistä, jotka luotiin jo 1920–1930-luvuilla, on edelleenkin Puolustusvoimien jokapäiväisessä käytössä.

Kokeiluiden tulokset eivät aina siirtyneet käytäntöön nopeasti. Talvisodan syttyessä moni kokeiluhanke oli kesken. Esimerkiksi tykinvetäjiä kokeiltiin 1930-luvun jälkipuoliskolla systemaattisesti, mutta tykistön traktorikysymys oli



Ilmavoimien psykoteknillinen laitos aloitti lentäjien soveltuvuustestit vuonna 1924. Kuvassa testausta Ilmavoimien psykofysiologisella laitoksella vuonna 1935. (Kuva: Ilmavoimien kuvakokoelma / Sotamuseo)

vielä sodan syttyessä täysin ratkaisematta. Kehityksen hitautta kuvaa se, että vasta 1960-luvulla maatalouden koneellistumisen myötä traktoreita oli niin paljon, että liikekannallepanotilanteessa niitä olisi voitu käyttää vetokalustona hevosten sijasta. Kyse oli siis eräänlaisesta ehtimisen ongelmasta: millainen kyky ja valmius kulloisessakin tilanteessa oli saavutettu.

Talvisota syttyi 30. marraskuuta 1939. Sodan korkeapainneessa suomalaiset joutuivat kehittämään sotataitoa, asetekniikkaa ja sotavarustusta aiempaa nopeammin. Kokeiluja suoritettiin tositalanteessa vihollisen toimintaan reagoiden. Tätä talvisodan ja laajemmin sotavuosien 1939–1945 kokeilutoimintaa tarkastelemme teossarjan seuraavassa osassa, joka ilmestyy vuoden 2023 aikana.

Kirjoittaja:

Filosofian tohtori Mikko Karjalainen toimii sotahistorian apulaisprofessorina Maanpuolustuskorkeakoulun Sotataidon laitoksella.

Kiinan sotilasstrategian kehitys kylmän sodan jälkeisellä aikakaudella



Kiinan itsenäisesti rakentama lentotukialus Shandong (Kuva: Tyg728, Wikimedia Commons, CC 4.0)

Kiinan nousu suurvaltopoliittikan ytimeen on ollut jo pidemmän aikaa yksi merkittävimmistä maailmanpoliittisista puheenaiheista. Huomio on kiinnittynyt erityisesti Kiinan taloudellisen vaikutusvallan vahvistumiseen, mutta viime vuosien aikana keskustelua on alettu käydä lisääntyvästi myös Kiinan nopeasti kasvavan sotilaallisen voiman merkityksestä. Keskustelua on lietsonut erityisesti Yhdysvallat, joka on vuosikymmeniä jatkuneiden vastakumouksellisten sotien jälkeen palaamassa perinteiseen suurvaltakilpailuun ja kääntää myös asevoimien painopistettä ”vertaiskilpailijoiden” (*peer competitor*) kanssa käytävän suurvaltasodan kuvastoon.

Maanpuolustuskorkeakoulun Sotataidon laitoksella toteutettava tutkimushanke tarkastelee Kiinan sotilasstrategian kehitystä kylmän sodan jälkeisellä aikakaudella 1993–2020. Vaikka Kiinan strategiaa on tarkastellulla ajanjaksolla päivitetty ja hienosäädetty useaan otteeseen, strategian ydin on säilynyt pohjimmiltaan muuttumattomana: sen päätavoitteena on estää Yhdysvaltain kyky projisoida voimaa Kiinan lähistölle erityisesti Taiwanin liittyvässä konfliktissa. Tutkimuksen pidempi historiallinen perspektiivi pyrkii hahmottamaan kiinalaisen sotilaallisen ajattelun pysyvämpiä periaatteita ja sitä kautta arvioimaan myös mahdollisia tulevaisuuden kehityskulkuja.

Kiinan sotilasstrategia uusiksi kylmän sodan päätyttyä

Kiina joutui muovaamaan sotilasstrategiansa uuteen uskoon kylmän sodan päättyessä 1990-luvun alussa. Neuvostoliitto, joka oli lähes koko kylmän sodan ajan toiminut Kiinan tärkeimpänä strategisena haasteena, lakkasi olemasta ja vei mennessään myös pohjan uhkakuvalta, jossa Kiinaan kohdistui laaja mannermainen hyökkäys. Uudeksi strategiseksi päävastustajaksi löytyi kuitenkin pian Yhdysvallat, jonka arvioitiin pyrkivän patoamaan Kiinan kehitystä ja jonka samalla pelättiin tukevan Taiwanin itsenäistymispyrkimyksiä.

Kiinan sotilasjohdon 1990-luvun alussa laatiman arvion mukaan Kiinalla ei olisi juuri mitään mahdollisuutta torjua Yhdysvaltain sotilaallista väliintuloa Taiwanin konfliktissa. Yhdysvallat oli vuonna 1991 käydyssä Persianlahden sodassa tehnyt häive- ja täsmäaseillaan selväksi sotilaallisen etumatkansa Kiinaan, jonka asevoimat – joskin määrällisesti suuret – olivat teknologisesti takapajuiset ja varautuneet tyystin erilaiseen konfliktiin.

Vuonna 1993 adaptoitu uusi sotilasstrateginen ohjenuora (*junshizhanlüe fangzhen*) ohjasi Kiinan asevoimia varau-

tumaan ”korkean teknologian olosuhteissa” tapahtuvaan lyhyeen mutta intensiiviseen alueelliseen sotaan, jossa päävastustajana olisi Yhdysvallat. Strategia siirsi asevoimien painopistettä maavoimista kohti merivoimia, ryhtyi muovamaan organisaatorakennetta kohti yhteisoperaatiota sekä kanavoi Kiinan kiihtyvän talouskasvun hedelmiä sotilasteknologian kehittämiseen. Erityisenä tavoitteena Kiinan tulisi strategian mukaan tavoitella epäsymmetrisiä ”salamurhaajan nuijia” (*shashoujian*) – epäsymmetrisiä aseita, joilla Kiinan teknologisesti takapajuiset asevoimat voisivat vähintään muodostaa uskottavan pelotteen Yhdysvaltain sotilaalliselle ylivoimalle.

Uuden strategian pääkohdat osoittautuivat pohjimmiltaan hyvin valituiksi vuonna 1996, kun Taiwaninsalmen uinuva konflikti heräsi eloon. Kiinan johto huolestui Taiwanissa tuolloin järjestetyistä presidentinvaaleista ja järjesti useita näyttäviä sotaharjoituksia, joissa keskitettiin joukkoja Taiwanin vastarannalle ja ammuttiin ohjuksia Taiwanin läheisille merialueille. Tilanteen kiristessä Yhdysvallat lähetti kaksi lentotukialusosastoa, USS Nimitzin ja USS Independencen, partioimaan alueelle.

Konflikti ja varsinkin Yhdysvaltain reaktio tekivät Kiinan johdolle selväksi ensinnäkin, että Yhdysvallat tulisi puuttumaan Taiwanilla tapahtuvaan konfliktiin, ja toiseksi, ettei Kiinalla ollut juuri minkäänlaista kykyä estää Yhdysvaltain

lentotukialusten operointia Taiwaninsalmella. Konflikti kiihdytti siten entisestään Kiinan pyrkimyksiä kuroa kiinni Yhdysvaltain sotilasteknologista etumatkaa.

Siirtyminen informatiiviseen sotaan 2000-luvulla

2000-luvun alussa Kiinan ja Yhdysvaltain suhteet lämpenivät, kun Yhdysvaltain strateginen fokus siirtyi terrorinvastaisiin sotiin ja Kiina ilmoitti tukevansa näitä pyrkimyksiä. Tukeminen jäi kuitenkin lähinnä retoriikan asteelle, sillä Kiina piti oman sotilasstrategisen fokuksensa yhä tiukasti Yhdysvaltain potentiaalisen intervention torjumisessa. Panostukset teknologian kehittämiseen alkoivat viimein näkyä, kun esimerkiksi ”salamurhaajan nuijana” pidettyä ballistista meritorjuntaohjusta (DF-21D) kokeiltiin menestyksekkäästi ja kun ensimmäiset toisen sukupolven ydinkäyttöiset hyökkäyskellusveneet (tyyppi 093) laskettiin vesille 2000-luvun alussa.

Samaan aikaan Kiinassa seurattiin tarkasti Yhdysvaltain sotilasoperaatioita Kosovossa, Afganistanissa ja Irakissa sekä kiinnostuttiin Yhdysvalloissa tuolloin vallinneista verkostosodankäynnin ajatuksista. Kiinalaisissa arvioissa Yhdysvaltain vahvuus nähtiin (teknologisesti edistyneiden asejärjestelmien lisäksi) asevoimien kyyvyssä hankkia ja käsitellä informaatiota sekä jakaa sitä puolustushaarojen ja asejärjestelmien muodostamassa operatiivisessa järjestelmässä.



”Lentotukialuksen tappajaksi” ristitty ballistinen meritorjuntaohjus DF-21D. (Kuva: IceUnshattered, Wikimedia Commons, CC 4.0)

Kiinalaisessa keskustelussa sodan kuva muovautui kohti ”järjestelmien välistä vastakkainasettelua” (*tixi duikang*). Ajattelun mukaan Kiinan tulisi rakentaa Yhdysvaltain esimerkin mukainen operatiivinen järjestelmä ja pyrkiä omassa sodankäynnissään iskemään vastustajan järjestelmästä löydettyihin heikkouksiin. Tavoitteena ei siis olisi vastustajan täydellinen tuhoaminen vaan sen toimintakyvyttömäksi tekeminen järjestelmän halvauttamisella. Järjestelmien konfliktissa kohteet eivät ole välttämättä fyysisiä eivätkä aseet kineettisiä, joten 2000-luvun alun keskusteluissa pidettiin tärkeänä, että Kiina laajentaisi painotusta korkean teknologian suorituskyvystä kohti informaatio-tilan, avaruuden ja kyberympäristön kokonaisvaltaista hallintaa. 1990-luvun kiinalaisessa sotilaallisessa puheessa korostunut ”korkean teknologian sodankäynnin” käsite tarkentui 2000-luvulla ”informatisoituneeksi sodankäynniksi” (*xinxihua zhanzheng*). Muutos kirjattiin uuteen, vuonna 2004 hyväksytyyn sotilasstrategiseen ohjenuoraan.

Kiinan sotilasstrategia laajeni 2000-luvulla myös fyysisessä mielessä. Lähes kaikki aikaisemmat sotilasstrategiset ohjenuorat olivat keskittyneet tiukasti Kiinan lähialueen ja Kiinan suvereniteetin puolustamiseen, mutta viimeistään 2000-luvulla Kiinan taloudelliset intressit olivat ehtineet leviittyä laajasti kaikkialle maailmaan. Kiinan kyvyttömyys suojella merentakaisia intressejään tuli ilmi karulla tavalla vuonna 2008, kun somalialaiset merirosvoivat hyökkäsivät puolustuskyvyttömiä kiinalaisia rahtialuksia vastaan. Tapaus toimi merkittävänä hälytyskellona sotilasstrategian laajentamiselle kohti kansainvälistä toimintaympäristöä.

Kommunistisen puolueen vuoden 2012 puoluekokouksessa julistettiin Kiinan pyrkivän ”merelliseksi suurvallaksi”, ja vuonna 2015 julkistettu Kiinan ensimmäinen julkinen sotilasstrateginen asiakirja esitti ”merellisten intressien” suojelun olevan asevoimien uusi merkittävä tehtävä. Merellisten painotusten myötä Kiinan merivoimat on esimerkiksi ottanut käyttöönsä kaksi lentotukialusta ja perustanut ensimmäisen Kiinan ulkopuolella sijaitsevan tukikohdan Itä-Afrikassa sijaitsevaan Djiboutiin vuonna 2017.

Strategista konseptia päivitettiin kolmannen kerran vuonna 2014, lähinnä kosmeettisesti, mutta vuonna 2015 asevoimissa käynnistettiin presidentti Xi Jinpingin johdolla mittavat uudistukset. Kiinan kasvavaa ohjusarsenaalia hallinnoivat Ohjusjoukot korotettiin omaksi puolustushaarakseen. Tämän lisäksi perustettiin uudet, puolustushaaratasonaiset Strategiset tukijoukot, joiden tehtävänä on hallinnoida asevoimien

kyber-, avaruus- ja informaatiokyvykkyyksiä sekä tukea muiden puolustushaarojen taistelua. Kiinan nopeasti modernisoituvien, maailmalle levittäytyvien asevoimien kehitys alkoi nousta vähitellen huolenaiheeksi myös Yhdysvalloissa.

Kohti Tyynenmeren strategista systeemiä

Tutkimushankkeen mukaan kiinalainen sotilasstrategia on läpi kylmän sodan jälkeisen ajan kehittynyt ikään kuin peilikuva Yhdysvaltain tavalle käydä sotaa. Kiinassa on seurattu tiiviisti Yhdysvaltain strategista ajattelua ja käytännön sodankäyntiä sekä rakennettu suorituskykyjä nimenomaan Yhdysvaltain kanssa käytävää konfliktia silmällä pitäen. Kiina on voinut kehittää suorituskykyjään suhteellisen rauhasa, kun Yhdysvaltain panostukset ohjautuivat vuosikymmenien ajan ”ikuisuussotiin” Irakissa ja Afganistanissa.

Kiinan sotilasstrategia ja kiinalainen sodan kuva on kehittynyt ”korkean teknologian sodasta” ”informatisoituneeseen sodankäyntiin” samalla, kun asevoimien toimintakenttä on laajentunut avaruuteen, kyberiin ja kansainvälisten merireittien valvontaan. Strategian ydin on kuitenkin säilynyt vakaana, ja uudet ajatukset ovat rakentuneet ikään kuin kerroksittain varhaisempien harteille. Aivan uusimmassa, 2020-luvun keskustelussa ”informatisoituneen” sodankäynnin ennakoidaan muuttuvan pian ”älyllistyneeksi sodankäynniksi”, jossa ihmisen, tekoälyn ja autonomisten asejärjestelmien välinen yhteistyö tulee näyttelemään pääroolia. Kuten aiemminkin, näkemykset heijastelevat Yhdysvalloissa käytyjen, sodankäynnin tulevaisuutta visioivien keskusteluiden käsitteistöä.

Yhdysvallat on kääntämässä sotilaskoneistoansa takaisin suurvaltasotilaalliseen ajatteluun ja keskittyy vastaamaan ”vauhdittavana uhkana” (*paceing threat*) pitämänsä Kiinan muodostamaan haasteeseen. Tutkimushankkeen teoreettisemmissa pohdintoissa esitetään, että Yhdysvaltain sotilasstrategia alkaa kehittyä samaan tapaan: yhä enemmän peilikuva kiinalaiselle strategialle. Kiina ja Yhdysvallat muodostavat näin vähitellen ”sotilasstrategisen systeemin”, jossa kummankaan osapuolen strategia ei ole täysin itsenäinen eikä kumpikaan osapuoli kykene enää hallitsemaan suhteen dynamiikkaa. Systeemi ja sen vaikutukset syntyvät osapuolien vuorovaikutuksesta.

Tutkimushanke on käynnistynyt loppuvuonna 2020, ja siihen liittyvä tutkimusraportti suunnitellaan julkaistavaksi alkuvuodesta 2022.

Kirjoittaja:

Yhteiskuntatieteiden tohtori Matti Puranen työskentelee erikoistutkijana Maanpuolustuskorkeakoulun Sotataidon laitoksella.

Kybervaikuttaminen avaruudessa

– yhä tärkeämpi asia



Kybervaikuttamisen kohteina ovat erilaiset tietojärjestelmät. (Kuva: Puolustusvoimat)

Avaruus ja kyberavaruus ovat yhä merkittävämpiä alueita niin kaupallisessa, yhteiskunnallisessa kuin sotilaallisessakin mielessä. Ulkoavaruus on aiemmin ollut ainoastaan suurvaltojen saavutettavissa, mutta nykyään alentuneet kustannukset ja tekniikan kehittyminen tarjoavat pienimmillekin valtioille ja jopa yksittäisille henkilöille tilaisuuden hyödyntää tätä toimintaympäristöä. Avaruutta ei kyettäisi käyttämään näin laajalti hyväksi ilman kyberavaruutta – tapahtuahan kommunikointi satelliittien ja maan pinnan välillä tietoverkkojen ja tietojärjestelmien avulla. Näiden alueiden leikkauspiste eli kybervaikuttaminen avaruudessa on mielenkiintoinen tutkimuksen kohde. Yksi tutkimuskohde on, miten avaruutta ja kyberavaruutta voitaisiin käyttää tulevaisuudessa sotilaallisesta näkökulmasta. Maanpuolustuskorkeakoulun tavoitteena on selvittää, miten kybervaikuttaminen avaruudessa tulee muuttamaan sodan kuvaa 2030-luvulla.

Tietojärjestelmät kybervaikuttamisen kohteina

Kybervaikuttamisella pyritään tietojärjestelmiin vaikuttamiseen tai niiden hyväksikäyttöön. Tarkemmin sanottuna näillä toimilla voidaan tavoitella parempaa tilannekuvaa vastapuolen järjestelmistä, tiedon hankkimista, järjestelmien toiminnan häirintää tai lamauttamista, järjestelmien käyttäjien harhauttamista tai äärimmäisissä tapauksissa jopa järjestelmien fyysistä lamauttamista tai tuhoamista (kuuluisimpina esimerkkeinä Stuxnet sekä NotPetya). Kybervaikuttamiseen liittyvät kyberhyökkäyksen ja kyberoperaation käsitteet. Kyberhyökkäyksellä tarkoitetaan yleensä yksittäistä tekoa tai toimintaa, jolla pyritään vaikuttamaan kohteen toimintaan. Kyberoperaatio puolestaan on sarja kybertoimintaympäristössä tapahtuvia toimintoja, kuten kyberhyökkäyksiä. Kyberoperaatiot ovat usein pitkäkestoisempia, jopa useita vuosia kestäviä kokonaisuuksia.

Avaruuteen kohdistuvaan vaikuttamiseen liittyen kybervaikuttaminen on houkutteleva vaihtoehto. Kineettiset ja ei-kineettiset satelliitinvastaiset aseet maksavat miljoonia euroja, niiden kehitystyö kestää pitkään ja niiden käytöstä jää aina selvä jälki. Kyberhyökkäysten tekeminen taas on halpaa ja ”tasa-arvoista”: hyökkäyksen pystyy toteuttamaan niin yksittäinen hakkeri kuin valtiollinen, huippukoulutettu sotilasyksikkö. Asiansa osaava tekijä kykenee piilottamaan jälkensä jopa vuosiksi.

Kybervaikuttamista avaruudessa jo 1980-luvulta alkaen

Kybervaikuttamista on tehty avaruuteen liittyen siitä lähtien, kun se on ollut teknisesti mahdollista. 1980- ja 1990-luvuilla kyberhyökkäyksiä toteuttivat pääosin yksittäiset hakkerit tai hakkeriryhmät, jotka halusivat päästä näyttämään omaa osaamistaan sekä julkisuudessa että toisille hakkereille. Lisäksi valtiot pyrkivät vakoilun avulla hankkimaan teknistä, sotilas- ja avaruustekniikkaan liittyvää osaamista. Vaikuttamisen kohteina olivat useimmiten toiset valtiot, sillä ne

olivat ainoita tahoja, joilla oli kyky lähettää satelliitteja kiertoradalle sekä resurssit avaruuteen liittyvän teknologian kehittämiseen. Tätä aikakautta kutsutaan myös termillä vanha avaruusaika (old space).

Niin kutsutun uuden avaruuden aikakauden (new space) käynnistyttyä 2000-luvun alkupuolella yksityisyriyten merkitys avaruuteen liittyen on kuitenkin lisääntynyt valtavasti. SpaceX, OneWeb ja muut vastaavat yritykset ovat laukaisseet tai suunnittelevat laukaisevansa tuhansia satelliitteja kiertoradalle. Alan yritykset tarjoavat nykyään yhä useammin palveluitaan myös asevoimille. Esimerkiksi Afganistanin ja Irakin sodissa Yhdysvallat on käyttänyt kaupallisia tietoliikennesatelliitteja sotilasoperaatioidensa tukena.

Yritysten kasvanut osuus on myös muuttanut sitä, millaisia kohteita kybervaikuttamiselle nykyään tarjoutuu. Erityisesti valtioiden tukemat, rikollisryhmien suorittamat kyberhyökkäykset ovat lisääntyneet sitä mukaa kuin yksityisten yritysten määrä avaruuteen liittyen on kasvanut. Yksityiset toimijat eivät useinkaan ole keskittyneet tuotteidensa tie-

Avaruudessa kybervaikutukset voidaan kohdistaa myös satelliitteihin ja niihin liittyvään tietoliikenteeseen. (Kuva: Unsplash/Nasa)



toturvallisuuteen, mikä tekee heistä houkuttelevia kohteita kybervaikuttamiselle. Tämä aiheuttaa haasteita myös asevoimille, jotka käyttävät yksityisten yritysten palveluita omissa sotilasoperaatioissaan. Pahimmassa tapauksessa puutteellinen tietoturva voi aiheuttaa operaatioturvallisuuden vaarantumisen ja ihmishenkien menetyksen.

Mitä avaruudellinen kybervaikuttaminen käytännössä on?

Avaruuteen liittyy yleensä kolme eri kokonaisuutta, joihin kybervaikuttamista voidaan kohdistaa. Nämä ovat erilaiset maa-asemat, satelliitit sekä edellä mainittujen osa-alueiden välinen tietoliikenneyhteys. Kybervaikuttaminen on kohdistunut yleensä hyökkääjän näkökulmasta helpoimpaan kohteeseen eli maa-asemaan, jossa satelliitteja ja muuta avaruuteen liittyvää infrastruktuuria kontrolloivat tietokoneet sijaitsevat. Maa-asemien tietojärjestelmät ovat rakenteeltaan yleensä samanlaisia kuin muutkin tietojärjestelmät, joten jo olemassa olevat vaikuttamiskeinot soveltuvat usein myös maa-asemaa vastaan käytettäviksi. Suoraan satelliitteja vastaan tehdyt hyökkäykset ovat olleet harvinaisempia johtuen varsinkin sotilassatelliittien paremmin suojatuista järjestelmistä. Yhteysväliä vastaan toteutetut kyberhyökkäykset ovat käyttäneet hyväkseen pääosin suojaamattomia yhteyksiä. Esimerkiksi Irakissa taistelevat kapinalliset saivat kaapattua alueella lentäneiden lennokkien videokuvaa salakuuntelemalla lennokin ja tätä ohjanneen johtokeskuksen välistä salaamatonta satelliittiyhteyttä.

Kyberhyökkäyksillä onkin pyritty useimmiten saamaan tietoa vastapuolen tavoitteista ja erityisesti teknisestä osaamisesta. Valtion tutkimuslaitokset ja yksityiset yritykset, joissa avaruuteen liittyvää teknologiaa tutkitaan, ovat haluttuja kohteita varsinkin valtiolliselle kybervaikuttamiselle. Esimerkiksi Kiinan ja Venäjän tiedetään käyttäneen tietojärjestelmämurtoihin erikoistuneita rikollisryhmiä tiedon hankkimisessa avaruusalan organisaatioista ja yrityksistä, kuten Nasasta. Ulkopuolisten toimijoiden käyttö mahdollistaa valtioille niiden oman osallisuuden kiistämisen.

Kybervaikuttamisen tulevaisuudennäkymiä

Tulevaisuudessa avaruus toimintaympäristönä korostuu monista syistä. Sieltä käsin voidaan rakentaa erinomaista tilannetietoisuutta kuvaus- ja kuuntelusatelliiteilla. Lisäksi erilaisten satelliittien muodostamat tietoliikenneverkot tulevat olemaan kasvavassa roolissa yhteiskunnassamme. Myös asevoimat tarvitsevat yhä nopeammalla syklillä tietoa vastapuolesta sekä luotettavia viestiliikennejärjestelmiä omien joukkojensa johtamiseen. Avaruus tarjoaa mahdollisuuden tällaiselle toiminnalle, mikä myös lisää kiinnostusta vastatoimien kohdistamiseen kyseistä toimintaympäristöä vastaan. Kybervaikuttaminen on erityisen houkutteleva vaihtoehto juuri hyökkääjän anonyymiteetin mahdollistamisella. Kyberoperaatio voidaan toteuttaa niin, että vastapuoli ei välttämättä edes havaitse tapahtunutta tietomurtoa.

Uusi avaruusaika tuo mukanaan monia mahdollisuuksia ja haasteita, myös kybervaikuttamiseen ja -turvallisuuteen liittyviä. (Kuva: Pixabay/Arek Socha)



Yksityisyrittäjien merkitys tulee jatkamaan kasvuaan niin kaupallisesta kuin sotataidollisesta näkökulmasta. Kun markkinoilla on yrityksiä, jotka kykenevät toteuttamaan asevoimien tarvitsemia palveluita murto-osalla aikaisemmillä vuosikymmenillä maksetusta hinnasta, asevoimilla on matala kynnys yksityisten palveluiden käyttöön. Tämä aiheuttaa myös haasteita tietoturvanäkökulmasta, sillä yritykset harvoin keskittyvät tuotteidensa kyberturvallisuuden kehittämiseen.

Satelliittien kehitys jatkaa kahteen suuntaan kulkemista. Toisaalta ne muuttuvat pienemmiksi ja ”yksinkertaisemmiksi”, jolloin niitä voidaan saada halvemmalla käyttöön esimerkiksi osaksi kansallista puolustusta. Toisaalta satelliittien toiminnallisuus tulee monipuolistumaan. Yhä useampi satelliitti on uudelleenohjelmoitava, mikä mahdollistaa satelliitin käyttötarkoituksen muuttamisen kesken sen elinkaarta. Tämä ei ole ollut aiemmissa satelliiteissa mahdollista.

Uudelleenohjelmoitavuus tuo mukanaan sekä mahdollisuuksia että uhkia kyberturvallisuuden näkökulmasta. Uudelleenohjelmoitavuus mahdollistaa satelliittien päivittämisen myös laukaisun jälkeen. Käyttöjärjestelmässä havaitut haavoittuvuudet voidaan jatkossa päivittää maa-aseman kautta, kun taas aiemmin päivitykset on jouduttu tekemään kiertoradalta käsin tai niitä ei ole voitu tehdä ollenkaan.

Toisaalta tällainen uusi toiminnallisuus avaa myös hyvin kiinnostavan hyökkäysrajapinnan satelliitteihin. Päivitysten mukana hyökkääjä voi ujuttaa satelliittiin oman häiritsemisensä.

Lopuksi

Avaruus toimintaympäristönä on ollut merkittävässä roolissa vuosikymmenten ajan. Kuitenkin vasta viime vuosina se on tullut myös pienempien valtioiden ulottuville halvempien kustannusten ja laajempien mahdollisuuksiensa ansiosta. Sotilaallisesta näkökulmasta avaruuden hallitseminen on elintärkeää, sillä sen kautta kykenee esimerkiksi hankkimaan sellaista tilannetietoa, jota ei ole saatavilla muuta kautta. Lisäksi satelliitit mahdollistavat sotilasoperaatioille tärkeän tilannekuvan ja johtamisyhteyksien muodostamisen myös niillä alueilla, joilla ei ole maasijoitteista infrastruktuuria. Avaruutta hyödynnettäessä täytyy kuitenkin muistaa, että uusi toimintaympäristö tuo monien mahdollisuuksien lisäksi paljon riskejä. Kybervaikuttaminen on yksi näistä merkittävistä riskitekijöistä. Kybertoimintaympäristön merkitys avaruuteen liittyen tulee lisääntymään sitä mukaa kuin satelliittien ja toimijoiden määrä kiertoradalla lisääntyy. Sotilasoperaatioita suunniteltaessa tulee ulkoavaruuden lisäksi ottaa huomioon kyberavaruudesta tuleva uhka.

Kirjoittajat:

Tekniikan tohtori, filosofian lisensiaatti Kimmo Halunen toimii Oulun yliopiston ja Maanpuolustuskorkeakoulun yhteisenä kyberturvallisuuden professorina Sotatekniikan laitoksella,

Yliluutnantti, filosofian maisteri, tohtoriopiskelija Ville Vatanen opiskelee sotatieteiden maisterikurssilla (SM10) Maanpuolustuskorkeakoulussa

Komentaja- ja esikuntasimulaattorin käyttöönotto

– monivaiheinen prosessi

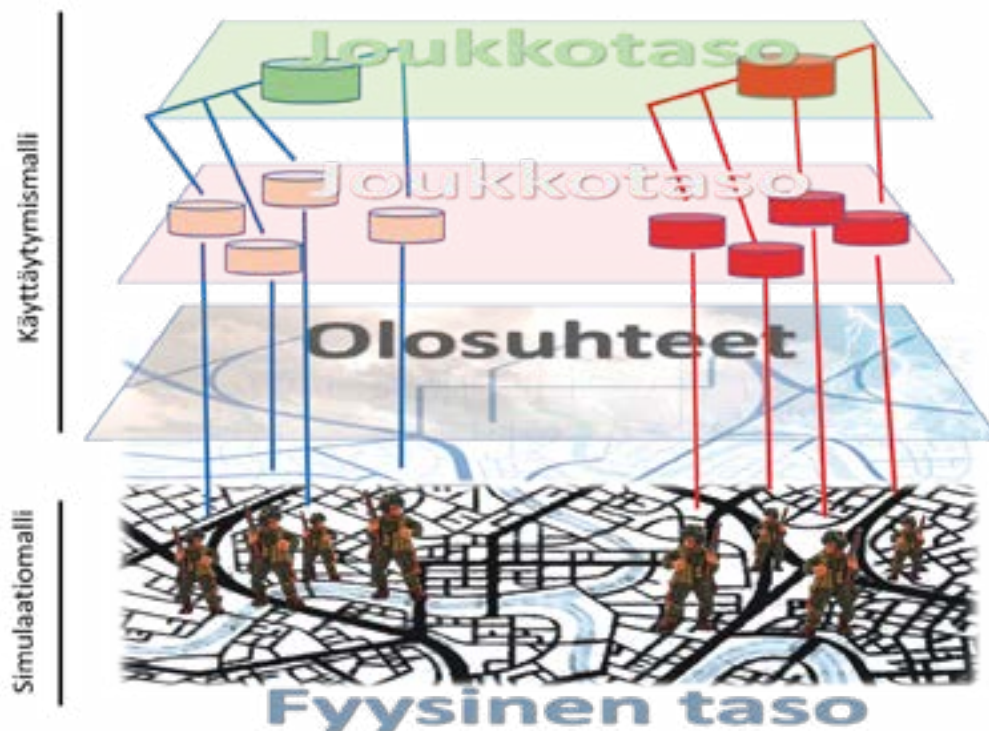
Puolustusvoimat hankki vanhentuneen komentaja- ja esikuntasimulaattorin (KESI) seuraajaksi ranskalaisen MASA Groupin valmistaman MASA SWORD -simulaattorijärjestelmän KESI2-hankkeella, joka on osa simulaattoreiden laajennushanketta (SILLA).

SWORD-järjestelmä on konstruktiivinen simulaattori, jossa joukot, niiden toiminta ja maasto simuloidaan. Simulaattorilla on tarkoitus kouluttaa komentajia, eri tasojen johtajia ja esikuntia. Joukkojen ja toiminnan simulointiin tarvitaan simuloitavista järjestelmistä tietoja, joiden perusteella simulaattori tuottaa tapahtumia harjoitettaville joukoille. Itse simulaattorijärjestelmä toimii moottorina, ja kuhunkin eri skenaarioon määriteltyjen joukkojen suorituskyvyt eli objektien ominaisuudet reunahtoineen toimivat syöteinä simulaatiolle. SWORD-simulaattorin hankinnan yleisenä

periaatteena on, että toimittaja tarjoaa simulaattorin, jossa on yleiset mallit joukoista sekä niiden suorituskyvystä ja toiminnasta. Hankinnan jälkeen jokainen käyttäjä rakentaa omat joukot, järjestelmät, maastomallit sekä käyttäytymismallit tarpeidensa mukaan. Tätä simulaattorin joukkojen, järjestelmien ja mallien rakentamista tuetaan usean eri Puolustusvoimien organisaation toimenpitein.

SWORD-simulaattorin toiminta pohjautuu kahteen tasoon

Komentaja- ja esikuntasimulaattorin perustana oleva MASA SWORD (Simulated Wargaming for Operational Readiness and Doctrine) toimii kahden tason periaatteella. Alemmalla tasolla toimivat fyysiset komponentit, kuten ajoneuvot, sotilaat ja sensorit. Tämän tason päällä on kerroksittainen



Simulaattorin toimintamalli. (Kuva: Samu Rautio)

käyttäytymismalli. Käyttäytymismallin kerrokset kuvaavat toiminnan eri tasoja, kuten ympäristöä ja joukkoja. Käyttäytymismallissa hyödynnetään tekoälyä, joka tukee päätöksentekoa sekä simuloi toimintaa niiden joukkojen osalta, joiden päätöksistä ei vastaa järjestelmän käyttäjä tai harjoitettava joukko.

Simulaattorin fyysisten elementtien toiminta perustuu elementeille määrittelyssä annettuihin ominaisuuksiin. Elementtejä ei esitetä simulaatiossa yksittäin, vaan pienin simuloitava kokonaisuus on joukkue. Elementtejä voidaan muokata kulloisenkin tarpeen mukaan. Järjestelmän kirjastoon voidaan luoda noin kolmesataa valmista skenaariota ja kaksisataa valmista joukkoa.

Simulaattorin käytössä voidaan eritellä neljä vaihetta:

- perusteiden luonti (olemassa olevasta kirjastosta), jossa mukautetaan käytettävissä olevat järjestelmäperusteet suunnitellulle harjoitukselle
- valmistelu, jossa harjoituksen valmistelija luo harjoituksen joukot ja alkutilan
- pelivaihe, jossa harjoitus toteutetaan
- palaute (AAR - After Action Review) harjoituksen analysoimiseksi.

Joukot ovat simulaation eri vaiheissa vuorovaikutuksessa toisten joukkojen kanssa. Simuloitavat joukot voivat ottaa käskyjä simulaattorin käyttäjältä tai tekoälyavusteisen käyttäytymismallin kautta. Käskyjen perusteella järjestelmä suhteuttaa toimintaansa määriteltyyn ympäristöön ja maastomalliin. Tekoälyavusteisesti simulaattori pystyy tukemaan tulevien toimintojen arviointia sekä parhaiden mahdollisten toimintavaihtoehtojen vertailua ja analysointia.

Simulaattorin määrittely vaati paljon työtä

Maanpuolustuskorkeakoulun Sotatekniikan laitoksen tutkimusryhmä sai tukipyynnön SWORD-määrittelytyöstä järjestelmän käytöstä vastaavalta Sotataidon laitoksen simulaattoriryhmältä. Simulaattorin määrittelyn tarkoituksena oli luoda järjestelmän fyysisen osan keskeisten toimintojen tekniset ominaisuudet. Työn laajuus ei ollut alkuvaiheessa tiedossa, mutta hyvin pian työn aloitettamme ymmärsimme, että järjestelmän monimutkaisuuden ja määritettävien kohteiden määrä edellyttää usean ihmisen kuukausien työpanosta.

Määrittely aloitettiin tutustumalla järjestelmän ja suorituskykyjen rakenteisiin ja keskinäisiin suhteisiin simulaattorijärjestelmässä. Simulaattoriryhmällä oli hyvä ajatus siitä, mistä työ aloitetaan ja missä järjestyksessä mitään tehdään. Sotatekniikan laitoksella palvelevat korkeakouluharjoittelij

jat saivat näiden ajatusten pohjalta tehtävän alkaa selvittää järjestelmän tietomallia ja ideoita määrittelytyön toteutusta.

Tietomalli purettiin toiminnallisuuksiksi, minkä perusteella syntyi käsitys, että työ voitaisiin tehdä kahdella eri tavalla. Toinen vaihtoehto olisi määrittää jokainen elementti erikseen ja syöttää se järjestelmän tietorakenteeseen. Toiseksi vaihtoehdoksi tunnistettiin erillisen ohjelman koodaaminen, jolla tiedot voitaisiin syöttää suoraan järjestelmän tietokantaan. Vaihtoehtoja punnittuamme teimme ratkaisun, että pyrimme tekemään erillisen ohjelman, jolla tietojen syöttö ja eri parametrien muuttaminen on helppoa ja systemaattista. Yksi työn keskeisistä reunaehdoista oli, että työ pitää pystyä dokumentoimaan siten, että ohjelman toimintaan vaikuttavien määrittelyjen juurille päästään helposti. Tämä mahdollistaa jatkossakin simulaattorijärjestelmän käyttäjien tekemien muutosten jäljittämisen.

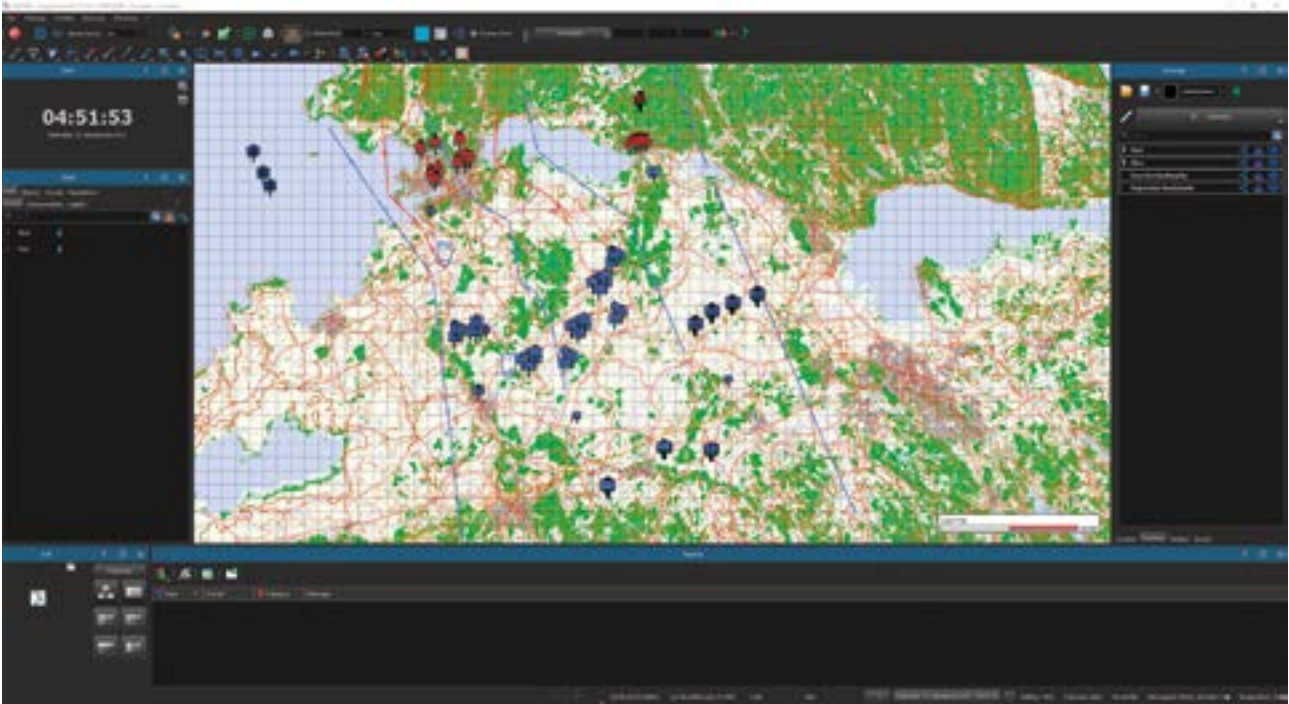
Konkreettinen määrittely aloitettiin rakentamalla Puolustusvoimien järjestelmistä tilavuusmallit ja luokittelemalla ne koon perusteella. Tämän jälkeen tutkittiin järjestelmien suojan rakenteita, minkä perusteella päätettiin suojan kategoriat. Suojan luokittelun jälkeen määritettiin eri aseiden osumatodennäköisyydet niiden toimintaperiaatteen perusteella. Samaan aikaan tämän työn kanssa korkeakouluharjoittelijat Kari Maaheimo, Kalle-Eemeli Riuttanen ja Juho Heimonen koodasivat erillistä ohjelmaa näiden tietojen syöttämiseksi simulaattoriin.

Tietojen syöttämiseen käytettävää, Sotatekniikan laitoksella koodattua ohjelmaa testattiin muutamaa otteeseen, ja sen todettiin soveltuvan käyttötarkoitukseensa hyvin. Erityisesti tietojen oikeellisuuden tarkastaminen helpottui virheiden helpomman havaittavuuden ja ohjelman systemaattisen luonteen ansiosta. Osumatodennäköisyyden laskentaa varten koodattiin tämän lisäksi oma ohjelmansa, jolla pystytään luomaan osumatodennäköisyyskäyriä olemassa olevien tietojen perusteella. Osumatodennäköisyyskäyrästä arvioitiin Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen asetekniikkaosastolla, minkä perusteella käyrästä tarkennettiin. Näiden mallien pohjalta luodaan haavoittuvuusmalli, jota käytetään järjestelmän laskentaperusteena kaksipuolisessa taistelussa.

Havaintoja työn tuloksista

Uusien koodattujen ohjelmien myötä järjestelmälle pystyttiin tuottamaan määrittelymallit, jotka voidaan helposti syöttää ohjelman tietokantaan. Lisäohjelman myötä järjestelmään pystyy myös helposti lisäämään elementtejä ja muokkaamaan olemassa olevien elementtien ominaisuuksia.

Alkuvaiheessa laskentaan otettiin noin sadan eri aseiden ja ammuksen todennäköisyyskäyrien yhdistelmät. Mikäli laskenta



SWORD-simulaattorijärjestelmän näkymä. (Kuva: Jarno Evakoski)

olisi tehty jokaiselle käyrälle erikseen, se olisi ollut todella työlästä ja virheiden mahdollisuus olisi ollut suurempi.

Simulaattorin tarkkuus ja sitä myötä käytettävyys ovat pitkälti kiinni sen realiteetisuudesta. Kaikissa malleissa on jonkin verran epätarkkuutta. Epätarkkuuden taso ja määrä tulee suhteuttaa simulaattorijärjestelmän käyttötarkoitukseen. Tässä tapauksessa epätarkkuuden määrä on arvioitu järjestelmän pääkäyttäjän toimenpitein. Epätarkkuudesta ei tämänkään järjestelmän myötä päästä kokonaan eroon, sillä järjestelmässä on ominaisuuksia, jotka eivät mahdollista

kaikkien määrittelyjen syöttämistä. SWORD-järjestelmän määrittelytyö on ollut kaikkineen mielenkiintoinen ja haastava kokonaisuus. Se jatkuu järjestelmän kenttätestauksella, muiden osien määrittelyllä ja kokeilukäytöllä, jonka aikana nähdään, kuinka paljon järjestelmän määrittelyjä tarvitsee täsmentää. Simulaattorijärjestelmän luotettavuuden varmistamiseksi järjestelmä tulisi validoida simulaattorin ja todellisen maastoharjoituksen tulosten vertailulla. Sotatekniikan laitos on mielenkiinnolla näissäkin vaiheissa tukemassa järjestelmän käyttöönottoa, käyttöä ja toimintaa.

Kirjoittaja:

Komentajakapteeni Samu Rautio toimii järjestelmätieteiden opettajana Maanpuolustuskorkeakoulun Sotatekniikan laitoksella.

Autonomia taistelukentällä

– tulevaisuusorientoitunut tutkimus

Maanpuolustuskorkeakoulun uuden strategian mukaisesti myös sotatekniikan tutkimusta kohdennetaan toimintaympäristön muutoksen ja sen vaikutuksien arviointiin tulevaisuuden taistelukentällä. Sotatekniikan laitoksen tutkimussuunnitelmassa 2022–2026 tutkimuskokonaisuuksia ovat

1. tulevaisuuden sotateknologian vaikutukset kansalliseen puolustukseen ja sodan kuvaan
 - autonomia ja robotiikka
 - tekoäly ja koneoppiminen
 - hypersooniset aseet
 - avaruus
 - materiaalia lisäävät menetelmät
2. Venäjän sotateknologinen kehitys ja sen vaikutukset kansalliseen puolustukseen ja sodan kuvaan
3. kybersodankäynnin kehittyminen
4. sotatalouden merkitys kansallisessa ja kansainvälisessä toiminnassa
5. operaatioanalyysillä sodan kuvan kokonaisymmärrykseen.

Tulevaisuuden sotateknologiakokonaisuudessa yhtenä suurena kokonaisuutena on autonomia- ja robotiikkatutkimus. Kyseiseen kokonaisuuteen on muodostunut kolmen jatko-opiskelijan tiimi, jonka tarkoituksena on tutkia maa-, meri- ja ilmavoimien toimintaympäristöön vaikuttavia autonomisten järjestelmien kokonaisuuksia.

Sotatekniikan laitoksen autonomiatutkimuksen tavoitteena on tuottaa osaamista koko puolustusvoimien käyttöön, mihin vastataan opetuksen ja tutkimuksen integraatiota tehostamalla. Tutkimuksen avulla saatua tietoa ja osaamista siirretään soveltuvin osin vuosittaisen opetussuunnitelmaprosessin tuotteena pedagogisiin käsikirjoihin ja pidemmällä aikavälillä opetussuunnitelmiin. Tätä tuetaan autonomiaan liittyvällä yhteistyöllä eri yliopistojen ja muiden sekä kotimaisten että ulkomaisten yhteistyötahojen kanssa. Operaatioanalyysin keinoin autonomian vaikutuksia taistelukentällä voidaan tutkia muun muassa mallintamalla järjestelmiä virtuaalisiin ympäristöihin ja operoimalla niillä siellä.

Tutkimusta vaaditaan ennen ratkaisujen tekemistä

Euroopan parlamentin päätöslauselma autonomisista asejärjestelmistä sekä Suomen hallitusohjelman linjaus tavoitteesta kieltää tekoälyyn perustuvien asejärjestelmien kehittäminen ja tuotanto ovat haastavia toteuttaa ilman perinpohjaista tutkimusta aihealueesta. Asejärjestelmiin liittyvien automa-

tisoiden ja autonomiaa piirteitä omaavien osajärjestelmien ja toiminnallisuuden erottaminen toisistaan on haastavaa. Tekoälyn ja muun teknologiakehityksen mukanaan tuomia ihmisen korvaavia, avustavia tai yhteistoiminnallisia järjestelmiä ei myöskään ole yksiselitteistä kategorisoida tappaviksi autonomisiksi asejärjestelmiksi. Toisaalta tutkimista on haastavaa toteuttaa, koska tulevaisuuden tekoälyyn tai autonomiaan liittyviä järjestelmiä ei ole vielä olemassa.

Sotatekniikan laitos vastaa haasteeseen uudella tulevaisuusorientoituneella, eksperimentaalilla tutkimuksella, jossa selvitetään kapean tekoälyn kehittämis- ja yhdistämismahdollisuuksia yhteistyössä muun muassa eri yliopistojen kanssa. Tulevaisuuden autonomiaa piirteitä omaavien järjestelmien vaikutusta tulevaisuuden taistelukenttään tutkitaan mallintamalla erilaisia konsepteja virtuaalisympäristöön ja testaamalla niitä eri skenaarioissa. Simulaatioiden tuloksia verifioidaan rakentamalla ja integroimalla yhteisen monikäyttöiseen alustaan useita kapean tekoälyalueen toiminnallisuuksia ja testamalla niitä virtuaalituotetta vastaavissa todellisissa maasto-olosuhteissa. Saavutettuja tutkimustuloksia hyödynnetään aihealueen ymmärryksen ja teknologisen kehityksen tilannekuvan muodostamisessa. Lisäksi niitä käytetään tekoälyyn ja autonomiaan liittyvän globaalisen sääntelyn tukemiseen, käsitteiden yhteiseen määrittelyyn, tekniseen standardointiin sekä eettisten ja legaalien riskien tunnistamiseen. Tutkimus ei sinällään luo kykyä autonomisten asejärjestelmien tuotantoon, mutta se tarjoaa ymmärrystä vasta-aseteknologioiden kehittelyyn ja varautumiseen sellaista uhkaa vastaan, joka ei noudata kansainvälisiä, yhteisesti sovittuja rajoitteita autonomisten aseiden käytöstä tulevaisuuden taistelukentällä.

Laykka-projekti suuressa roolissa

Eksperimentaalinen tutkimus, jossa useita kapean tekoälyn sovelluksia yhdistetään yhdeksi kokonaisuudeksi, vaatii taustalleen yhteisen ajatuksen käyttötarkoituksesta (konsepti) sekä alustan integrointia varten. Tämä toteutetaan autonomiatutkimuksen Laykka-projektissa. Projektissa luotua alustaa kehitetään inkrementaalisesti. Sen kehittäminen jatkuu koko tutkimuksen ajan ajoittain haarautuen vastaamaan uusien testattavien käyttötapauksien vaatimuksia. Kaikkia mahdollisia käyttötapauksia ei ole vielä tunnistettu, joten tutkimus jatkaa uusien käyttötapauksien kartoittamista yhteistyötahojen kanssa. Käyttötapauksia arvioitaessa keskeisin kysymys on, saavutetaanko tekoälyn tai autonomian käyttöönottolla merkittävää hyötyä suhteessa kehitystyöhön vaadittaviin resursseihin.

Laykka-konseptissa tavoiteltava integroitavuus ja modulaarisuus mahdollistavat sen monikäyttöisyyden niin tutkimus-alustana kuin erilaisissa tehtävissä taistelukentällä ihmisen korvaajana tai avustajana. Laykkaa (kuva 1) voidaan käyttää esimerkiksi valvontatehtävissä, huollon tukitehtävissä sekä aktiivisissa vaikuttamistehtävissä, kuten panssarintorjunnassa. Laykan erilaiset moduulit mahdollistavat sen optimoinnin tehtävän mukaisesti, ja laitealustan edullisuus luo erittäin matalan kynnyksen sen uhrattavuudelle. Laykka näyttää ulospäin yksinkertaiselta sähkömönkijältä, mutta sen syvin olemus rakentuu ohjelmiston innovatiivisiin ratkaisuihin, kuten itsenäiseen navigointiin, esteiden väistämiseen ja muihin autonomisiin toimintoihin ihmisen valvonnassa. Järjestelmän helppo integroitavuus mahdollistaa usean järjestelmäyksikön yhdistämisen yhdeksi isoksi järjestelmäkokonaisuudeksi, jossa on useita toiminnallisia ulottuuksia. Esimerkkejä ovat Laykka-alustan ja lennokkiparven yhteistoiminta sekä laajan, dynaamisen johtamis- ja valvontaverkon muodostaminen hyödyntäen usean Laykka-järjestelmäyksikön välistä kommunikointia sekä myöhemmin tulevaisuudessa tavoiteltavaa oppimisen siirtoa ja parviälyä.

Konseptien testaaminen kuhunkin käyttötarkoitukseen on maastossa toteutettavilla kenttäkokeilla hidasta. Kehityksen nopeuttamiseksi on testattu erilaisia käyttökonsepteja mallintamalla Laykka VBS (Virtual Battle Space) 3.0 -virtuaalimaailmaan, jossa konseptin toimivuutta voidaan testata kustannustehokkaasti. Alustavat simuloinnissa saavutetut tulokset ovat rohkaisevia: ne antavat olettaa, että kehitystyöllä kyetään luomaan uusia, toimivia teknisiä innovaatioita, joiden käyttöönotto luo merkittäviä muutospaineita taisteluteknisen ja taktisen tason toimintaan tulevaisuudessa. Saavutettujen tulosten huomioiminen mahdollistaa johtamisen, käyttöperiaatteiden, taistelutekniikan ja taktiikan kehittämisen etupainotteisesti, joten tutkimuksellista yh-

teistyötä tiivistetään myös muiden Maanpuolustuskorkeakoulun ainelaitosten kanssa.

Laykka-projekti tukee ihmisen ja koneen välisen vuorovaikutuksen tutkimusta sekä tuottaa aineistoa tulevaisuuden ihminen-koneroolien muutoksesta, päätöksentekovastuun jakamisesta ja muista vastuukysymyksistä. Saavutettuja tuloksia hyödynnetään asiantuntijuutta vaativissa kansallisissa ja kansainvälisissä aihealueen yhteistyöpahtumissa sekä rakentavissa keskusteluissa eettisten ja lainsäädännöllisten kysymysten ratkaisemiseksi. Laykka-projektissa tutkitaan myös koneiden välisen vuorovaikutuksen kehittämismahdollisuuksia ja selvitetään esimerkiksi, miten tämän päivän haasteita vaikkapa pienten tiedustelulennokkien akkujen keston tai tiedonsiirron rajoitteiden osalta voidaan ratkaista koneiden välisellä yhteistyöllä. Laykka-alustaa testataankin liikuvana droneparven lataus- ja tiedonsiirtoalustana tulevissa harjoituksissa yhteistyössä MULTICO-projektin kanssa.

Multikopterit mielenkiintoinen ja monipuolinen tutkimuskohde

MULTICO-projektiin liittyvän tutkimuksen päätavoitteena on määrittää sovelluskohteena olevan ekosysteemin soveltuvuus ilmapuolustuksen tukikohtaympäristöön. Tämä sisältää myös keskeisimpien uusien suorituskykyvaatimusten määrittelyn. Lisäksi tavoitteena on tutkia erilaisia teknologisesti kehittyneiden multikoptereiden (kuva 3) tuomia suorituskyvyn mahdollisuuksia ilmavoimien tukikohtien reaaliaikaisen tilannekuvan muodostamiseen arjen välineitä hyväksi käyttäen. Testiskenaarioiden suunnittelussa hyödynnetään muun muassa tekoälyn, koneoppimisen, konenäön ja robotiikan tuomia, modernisti kehittyneitä teknologioita. Lisäksi tutkitaan systeemin hyödyntämismahdollisuuksia muissa puolustushaaroissa.



Kuva 1. Laykka-AMPGV (Autonomous Multi-Purpose Ground Vehicle) – tulevaisuuden taistelukumppani? (Kuva: Christian Andersson)



Kuva 2. Laykka X.3, mallinnettu VBS 3.0:aan kolmella eri moduulilla. (Kuva: Christian Andersson)

Mikä on miehittämättömien ilma-alusten rooli tulevaisuudessa? Miten toimitaan, kun ilmapuolustukseen liittyy myös tekoälyn erilaisia hyödyntäjiä? Miten säilytetään riittävä suorituskyky hybridivaikuttamisen alaisuudessa? Ovatko multikopterit uhka vai mahdollisuus – vai molempia? Voitaneen kuitenkin jo todeta, että suorituskykyisellä multikopterilla on mahdollisuus saada kustannustehokkaasti merkittävä suorituskykyisyys Ilmavoimien kohteiden suojaamiseen sekä poikkeamatilanteiden hallintaan.

Miehittämättömien ilma-alusten käyttö oman toiminnan arvioinnissa sekä tukikohdan joukkojen tukemisessa on uusi mahdollisuus. Ilmasta käsin on mahdollista saada erittäin nopeaa ja luotettavaa tietoa tukikohdan käyttöön. Teknologian kehittymisen myötä esille on noussut muun muassa seuraavia tutkittavia osa-alueita:

1. SAR:ää eli synteettisen apertuurin tutkaa osana multikoptereiden suorituskykyä on jo osittain tutkittukin. Silti siitä löytyy vielä runsaasti osa-alueita, joita on syytä selvittää.
2. Satelliittivapaan navigoinnin virhe satelliittipaikannukseen perustuvaan navigointiin verrattuna on merkittävässä roolissa, koska kaupallisten satelliittien toimivuus poikkeusoloissa saattaa olla epävarmaa.
3. Radiotomografia uutena suorituskykenä multikoptereissa lisää merkittävästi tilannetietoa ja sen luotettavuutta esimerkiksi tukikohdan joukkojen tilasta rakennusten sisällä.
4. Väliaikaiset tietoverkot multikoptereilla toteutettuina



Kuva 3. Autonomiaa tullaan hyödyntämään myös dronetoiminnassa. (Kuva: Puolustusvoimat)

- sopivat erityisesti ilmapuolustuksen tukikohtaympäristöön mutta myös muualle taistelulentäen eri tarpeisiin.
5. Datafuusio arjen välineissä eli matkaviestimien applikaatioiden toimivuus multikoptereiden tilannetiedon välittämisessä ja kokoamisessa on ehdottomasti tutkimisen arvoista. Arjen välineiden käytettävyyden on Puolustusvoimissa muutoinkin nostettu tarkasteltavaksi.

Multikoptereiden kehittyvien ominaisuuksien hyödyntäminen laaja-alaisesti Puolustusvoimissa on jatkoselvittämisen arvoista. Puolustusvoimissa tehtyjen alustavien tutkimusten perusteella on käynyt ilmi, että multikoptereilla ja niiden kaltaisilla ratkaisulla on mahdollista saada merkittävästi laajempaa hyötyä kuin pelkkä lentolaitteiden kuvan jakaminen.

Multikoptereiden nopea kehitys tuo mukanaan uusia, jopa yllätyksellisiä ja torjumisen kannalta haastavia uhkia. Se tuo mukanaan myös laajan kirjon uusia mahdollisuuksia. Arjen välineiden mukaanotto puolestaan tuo mukanaan tietoturvariskejä. Näin ollen myös niiden minimoiminen on yksi tämän tutkimuksen kohteista.

Yhteenveto

Autonomiset järjestelmät tullevat koskettamaan tulevaisuudessa kaikkien sotilaiden elämää. Tutkimuksen ja opetuksen integraatiolla asiaan voidaan varautua puolustusvoimien osaamisen kehittämisessä.

Kirjoittajat:

Insinööriamajuri, filosofian tohtori, diplomi-insinööri Mika Nieminen toimii tutkimusryhmän johtajana Maanpuolustuskorkeakoulun Sotatekniikan laitoksella.

Everstiluutnantti, filosofian maisteri, tohtoriopiskelija Petteri Hemminki toimii sotatekniikan pääopettajana ja johtajana Maanpuolustuskorkeakoulun Sotatekniikan laitoksella.

Insinööriamajuri, tohtoriopiskelija Tapio Haapamäki toimii johtamisjärjestelmäsektorin johtajana Ilmasotakoulussa.

Yliluutnantti, diplomi-insinööri, tohtoriopiskelija Christian Andersson toimii maisterikurssin (SM10) oppilaana Maanpuolustuskorkeakoulussa.

Vuosikirjan jakelun huomautukset: puolustusvoimientutkimuslaitos@mil.fi

Puolustusvoimien tutkimuslaitos

Riihimäen toimipiste
Tykkikentäntie 1
PL 10, 11311 Riihimäki

Tuusulan toimipiste
Rantatie 66, Tuusula
PL 5, 04401 Järvenpää

Ylöjärven toimipiste
Paroistentie 20
PL 5, 34111 Lakiala

**Maasotakoulu
Maavoimien tutkimuskeskus**

Kadettikoulunkatu 7
PL 54
49401 Hamina

**Merisotakoulu
Meritaistelukeskus**

Suomenlinna
PL 5
00191 Helsinki

**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