

PUOLUSTUSTUTKIMUKSEN VUOSIKIRJA 2023

PÄÄTOIMITTAJA Jouni Koivisto
TOIMITTAJA Johanna Suominen



PUOLUSTUSVOIMAT
RIIHIMÄKI 2023

TOIMITUSKUNTA:

Jouni Koivisto
Jukka Saarela
Mika Huttunen
Juhani Hämäläinen
Timo Kaurila
Katri Laatikainen
Kirsi Valkeapää
Johanna Suominen
Sirpa Korpela

TAITTO, KANSI JA KUVANKÄSITTELY:

Johanna Suominen

KANNEN KUVAT:

Karo Holmberg/Puolustusvoimat
Pixabay/Tomislav Jakupec
Unsplash/Matthew Henry
Unsplash/Steve Johnson
Unsplash/Colin Lloyd
Unsplash/David Monje
Wikimedia Commons, U.S. Air Force/Jose Miguel T. Tamondong

ISBN 978-951-25-3330-5 (painettu)
ISBN 978-951-25-3331-2 (verkkojulkaisu)
ISSN 2489-7329 (painettu)
ISSN 2490-1601 (verkkojulkaisu)

Puolustusvoimat

PunaMusta
Tampere 2023

Strategiapäällikön tervehdys

Seuraamme tiiviisti Ukrainan tilannetta. Sota näyttäytyy koko yhteiskuntaa vastaan kohdistettuna laajamittaisena voimankäyttönä, raadollisena kulutussotana sekä teknologisen etumatkan tavoitteluna. Taistelukentällä näemme uutta ja vanhaa materiaalia, sekä innovatiivisia että kaavamaisia käyttöperiaatteita.

Suomi on puolustukseen liittyvissä valinnoissaan tehnyt oikeita ratkaisuja. Jotta näin olisi myös tulevaisuudessa, on osavastuu onnistumisesta tutkimuksella. Strateginen ennakointi sekä suorituskyvyn rakentaminen, käyttö ja ylläpito perustuvat tutkimuksella tuotettuun tietoon.

Naton jäsenenäkin vastaamme maamme puolustuksesta ensisijaisesti itse. Tutkimusyhteistyö Naton kanssa on jo entuudestaan erittäin aktiivista. Suomen päästyä Naton laajennettujen mahdollisuuksien kumppanimaaksi vuonna 2014 meille aukenivat Naton tiede- ja teknologiaorganisaation (Science and Technology Organization STO) ovet. Suomi osallistuu nykyisin yli 70 tutkimusaktiviteettiin STO:ssa. Väkilukuun suhteutettuna olemme yksi aktiivisimmista maista. Naton täysjäsenyys avaa Puolustusvoimien tutkimushenkilöstölle uusia tehtäviä Naton rakenteissa ja tukee kahdenvälistä yhteistyötä keskeisimpien kumppaneidemme kanssa.

Puolustusvoimien Tutkimus- ja kehittämisstrategian päivittyminen on käynnistynyt. Strategian päivityksessä arvioidaan T&K-toiminnan perusperiaatteita muuttuneessa turvallisuusympäristössä. Suomen kokoisen maan puolustusvoimien on johdonmukaista ostaa monia suorituskykyjä valmiina, mutta myös omalle kehittämistyölle on perusteensa. Kotimaiset ekosysteemit sekä kansainvälinen yhteistyö lisäävät vipuvartta.

Puolustusvoimien tarpeita vastaavalla tutkimustoiminnalla on erilaisia rooleja. Ennakoinnin näkökulmasta tutkimus katsoo tulevaisuuteen ja luo tietopohjaa sille, että Puolustusvoimilla on käynnissä ja valmistelussa oikeaan aikaan oikeanlaisia kehittämisohjelmia ja niiden edellyttämää sota-taitoa. Tutkimuksella rakennetaan osaamista valittujen suorituskykyjen hankkimisen ja rakentamisen pohjaksi. Käytön evästäminen takaa, että rakennettuja suorituskykyjä käytetään parhaalla mahdollisella tavalla. Merkittävä rooli on myös strategisella viestinnällä. Puolustusvoimien tutkimustulokset tuovat tietopohjaa yhteiskunnalliseen keskusteluun.

Oman kehittämistoiminnan myötä Suomi on teknologises-sa suvereniteetissa verrokkimaiden tasolla. Hyödyntämällä kotimaisia innovaatioita suomalaisiin olosuhteisiin ja sota-taitoon tavoitellaan etumatkaa ja yllätystä. Logistiikan ja yhteiskunnan varautumisen tutkimus tukee huoltovarmuutta, ja kaikki T&K-toiminta rakentaa osaltaan osaamisen huoltovarmuutta.

Kaikki edellä kuvatut tutkimuksen ja kehittämisen roolit ovat tärkeitä. Arvioimalla niiden keskinäiset painoarvot strategiatyö varmistaa, että tutkimuksen tulokset palvelevat parhaalla tavalla Puolustusvoimien ydintehtäviä.

Historiaa ei tällä hetkellä vain kirjoiteta, vaan sitä tehdään. Sotilaallinen toimintaympäristö on muutoksessa, ja tutkimuksen tulee pystyä reagoimaan nopeasti muuttuviin tilanteisiin ja hyödyntämään mm. Ukrainan sodasta saadut opit. Tieteellisesti tutkitun tiedon merkitys toiminnan perustana ei vähene.



Kirjoittaja:

Kenraalimajuri Janne Jaakkola toimii Puolustusvoimien strategiapäällikkönä

Päätoimittajalta

Tämän järjestyksessään yhdeksännen Puolustustutkimuksen vuosikirjan teema on sodankäynnin muutos. Teeman mukaisesti kirjassa tarkastellaan erilaisia sodankäynnin tunnistettuja muutostekijöitä ja ilmiöitä muun muassa teknologian, ihmisen toimintakyvyn sekä käyttö- ja toimintaperiaatteiden näkökulmista. Muutamissa artikkeleissa esitetään havaintoja ja arvioita Ukrainan sodasta. Tutkimusaiheena Ukrainan sota on vasta nousussa, sillä luotettaviin lähteisiin perustuvaa tietoa on käytettävissä toistaiseksi varsin rajoitetusti.

Kuluva vuosi 2023 on Puolustusvoimien tutkimus- ja kehittämistoiminnan kymmenes toimintavuosi puolustusvoimauudistuksen jälkeen. Uudistuksen yhteydessä yhdistettiin tutkimustoimintaa toteuttavia organisaatioita sekä muodostettiin keskitetty suunnittelu- ja ohjausmalli. Pääesikunnan suunnitteluosaston johtama tutkimustoiminnan suunnittelu ja ohjaus on lisännyt eri toimijoiden välistä yhteistoimintaa sekä edesauttanut tutkimusresurssien tarkoituksenmukaista kohdentamista.

Puolustusvoimien tutkimuslaitos aloittaa nyt kymmenettä toimintavuottaan yhteisten suorituskykyjen toiminta- ja käyttöperiaatteiden, puolustusmateriaalin ja -teknologian, elinjaksonhallinnan tuen sekä henkilöstön toimintakyvyn strategis-operatiivisen tason tutkimus- ja kehittämisorganisaationa. Lisäksi Tutkimuslaitos vastaa vaativasta testaus- ja evaluointipalvelujen tuottamisesta ja toimii osaamisalueidensa asiantuntijana Puolustusvoimissa.

Aikaisempien vuosien tapaan tämäkin vuosikirja tarjoaa lukijalle näytteitä Puolustusvoimien korkeatasoisesta tutkimustoiminnasta. Tässä yhteydessä on korostettava, että myöskään tutkimus- ja kehittämistoiminnan osalta Puolustusvoimat ei ole yksin, vaan toimii laajassa yhteistyössä niin kotimaisen kuin ulkomaisenkin teollisuus-, tiede- ja tutkimusyhteisön kanssa.

Antoisia lukuhetkiä!



Kirjoittaja:

Päätoimittaja
Insinöörieriverstiluutnantti Jouni Koivisto

Sisällys

Strategiapäällikön tervehdys	3
Päätöimittajalta	4
Puolustusvoimien tutkimuslaitos	
Syrjättävätkö laseraseet perinteisen kineettisen vaikuttamisen?	8
Autonomiset järjestelmät muuttavat tulevaisuuden taistelukenttää	11
Kuvaava tutka	14
Psyykkisen toimintakyvyn tuki sodan aikana ja sen päättyessä	19
Kyber pelotteena	23
Uudenlaisia ratkaisuja materiaaliseen varautumiseen	26
Ukraina, Venäjä ja CBRN-uhka	30
Venäjän aloittama sota Ukrainassa termobaaristen räjähteiden vaikutustutkimuksen kannalta	33
Tutkimusta 5G:n sotilaallisesta käytöstä	37
Spektrin käyttö tulevaisuudessa	43
Hybridiuhat ja yhteiskunnan kriisinkestävyys	47
Puolustusvoimien logistiikkalaitos	
Puolustusvoimat energiamurroksessa	54
Lisäävä valmistus sotilaslogistiikan tueksi	57
Maasotakoulu, Maavoimien tutkimuskeskus	
Sodankäynti muutoksessa	62
Ilmavoimat	
Monimenetelmällistä lentosimulaatiotutkimusta	68
Maanpuolustuskorkeakoulu	
Sotateknologian muutos	74
Autonomisten järjestelmien kyberturvallisuus	77
Maanpuolustus, sukupuoli ja moninaisuus	81
Sotarikokset ja sotarikostutkinta Ukrainan ja Venäjän välisessä aseellisessa selkkauksessa	84



Puolustusvoimien tutkimuslaitos

Syrjäyttävätkö laseraseet perinteisen kineettisen vaikuttamisen?

Oletko kuullut nimet Kalina, Peresvet, Zadira, Iron Beam, Dragon Fire tai LANCE? Tiesitkö, että Yhdysvallat, Yhdistynyt kuningaskunta, Saksa, Ranska, Israel, Turkki, Intia, Kiina, Etelä-Korea, Japani ja Venäjä ovat uutisoineet laseraseiden tutkimus-, kehitystyö- tai käyttöönottohankkeista? On ilmeistä, että pelkästään informaatiovaikuttamisen takia uutisointia ei tehtäisi. Syrjäyttävätkö siis suunnatun energian laseraseet perinteisen kineettisen vaikuttamisen aseita (kuva 1)?

Laseraseen kyvykkyyksistä

Laseraseella voidaan sulattaa droonin muovipinta sekunnin murto-osassa (kuva 2), ohjuksen alumiinirunko parissa sekunnissa (kuva 3) ja kuumentaa ammus räjähdysaineen leimahduspisteeseen niin ikään muutamassa sekunnissa. Panssarivaunun teräksen läpäisyyn kuluu 100 kilowatin laserilta 10 sekuntia.

Käytännössä vaikutusketjua huonontavat monet epäidealisuudet. Laserlähde ei ole aivan ideaalinen, vaan lasersäde levenee kaksinkertaiseksi ideaaliseen verrattuna. Säteen suuntaustarkkuus on mikroradiaaneja, eli sen fokus huojuu jonkin verran tähtäyspisteessä, joka voi sijaita jopa kilometrien etäisyydellä. Lasersäteen minimikoon aikakeskiarvo kohteessa on senttimetristä jopa muutama sentti.

Termejä	
Kilowatti	1000 joulea sekunnissa tai 1/6 saunan kiukaan tehosta
Etenemäkulma	Säteen leveys lähettimessä jaettuna fokus pisteen etäisyydellä
Mikroradiaani	1 sentin kolikon rajaama kulma 16 km:n etäisyydeltä
Mikrometri	Metrin miljoonasosa
Drooni	Miehittämätön pienilma-alus
Tehokori	Säteen energia osumapinta-alaa ja aikaa kohti
Kiinteän olomuodon laser	Laseraineena on lasi- tai kide-laatta: 20 cm x 20 cm
Kuitulaser	Laseraineena on seostevalokuitu
Kemiallinen laser	Laserenergia syntyy kemiallisessa reaktiossa

Lisämausteen tuovat ilmakehän ominaisuudet. Hiukkaset sirottavat laservaloa pois säteestä, ja ilman taitekertoimen muutokset etenemistiellä vääristävät sädet kangastuksien tapaan. Säde itsessään kuumentaa ilmaa, ja yhdessä tuulen vaikutuksen kanssa säteen profiili vääristyy kuu-kuvion muotoiseksi.

Kohde myös voi pyöriä tai tärähtää hieman. Näin kohteen pinnalle ei muodostu täsmällistä laserpistettä. Kirjallisuudessa on siksi otettu käyttöön tehokori-ilmaisu.

Kohdevaikutus perustuu kohteen pinnan sulamiseen ja höyrystymiseen tehokorin alueella.

Ilmatorjuntalaserilla kohde, kuten drooni, pystytään torjumaan, jos laserin vaikutusaika on tarpeeksi pitkä. Jos halutaan torjua drooniparvia, kohteet on sen sijaan havaittava,



Kuva 1. Voidaanko laserilla tuhota panssarivaunuja? (Kuva: Tomi Parviainen)

niihin on vaikutettava ja vaikutus on todettava onnistuneeksi tietyssä aikaikkunassa. Vasta aikaikkunan jälkeen voidaan kohdetta vaihtaa seuraavaan uhkaan.

Vaikutusaikaa voidaankin arvioida laskemalla ilmakehän vaikutus säteeseen kussakin keliolosuhteessa. Laskelmia voidaan käyttää operaatioanalyysiin etsimällä vastaukset kysymyksiin: kuinka monta ja miten tehokasta laserilma-
torjuntayksikköä on asetettava suojaamaan tietyn tyyppistä tukikohta-
aluetta.

Laseraseiden tekniikkaa

Nykyiset laseraseet voidaan jakaa tekniikkansa perusteella kiinteän olomuodon lasereihin, kuitulasereihin ja kemiallisiin lasereihin.

Venäläinen Zadira-järjestelmä, jota väitetään molempien sodan osapuolten toimesta käytetyn Ukrainassa helmikuussa 2022 alkanessa hyökkäyssodassa, on kemiallinen happi-jodidilaser. Sen aallonpituus on 1,315 mikrometriä. Lähi-infrapunasäde ei näy paljaalle silmälle, mutta ilmakehän absorptio on myös vähäistä tällä aallonpituudella. Toinen laser on Peresvet, jonka kerrotaan sopivan myös häikäisemään matalan kiertoradan satelliitteja. Varsinainen antisatelliittijärjestelmä on Kalina, joka toimii aallonpituudella 1,064 mikronia.

Yhdysvaltojen LANCE voisi olla kiinteän olomuodon laser ilma-aluksen suojaksi. Laserlaatta-pumppulaserdiodiyhdistelmä tuo keveysedun. Aiempi HELLDAS-kehitystyö tuotti version laseraseesta, jossa oli peräkkäin kytkettynä kaksi 75 kW:n yksikkömoduulia. Kiinteän olomuodon laserit toimivat yleensä 1,05–1,07 mikrometrin aallonpituusvälillä.

Israelin Iron Beam on kuitulaser, jota on testattu tänä vuonna kentällä. Se käyttänee spektristä yhdistämistä, jossa hilan avulla hieman eri aallonpituuden tai värin laserit saadaan linjattua samalle suoralle tai yhdeksi säteeksi.

UK:n Dragon Fire yhdistää 37 kpl kahden kilowatin laserkuitua yhdeksi 75 kW:n laseraseeksi.

Jos laserien yhdistäminen tehtäisiin tahdistamalla valoaallot kohteeseen, tehotiheys olisi optiikan diffraktioteorian mukaisesti nelinkertainen verrattuna geometriseen tai spektraaliseen yhdistämiseen.

Laseraseiden kehityssuuntauksia

Laseraseet on ajateltu omasuoja-aseeksi. Laserase muodostaa halkaisijaltaan 10 km kuplan asean ympärille, jonka sisällä voidaan torjua lähestyvät droonit, heitteet ja ohjukset yksittäin. Laseraseen sähkö maksaa joitakin euroja, laserlähte satoja tuhansia ja kokonaisjärjestelmä miljoonia euroja. Olennaista on tarkkuus, joka saavutetaan maalinhavaintotutkalla, optisella seuraimella, kohdistavalla lasertutkalla ja suurtehoisella pääsäteellä.

Kehityssuuntauksena on kasvattaa pääsäteiden tehoa kilowatteista kymmeneen kilowattiin droonintorjuntajärjestelmissä sekä 100:sta 300 kilowattiin ohjustorjunnassa. Vasta satojen kilowattien teho mahdollistaa riittävän risteily- tai nopeiden ohjusten torjuntakyvyn.

Panssarivaunujen torjuntaan kannattaa edelleen käyttää pst-ohjusta. Sen sijaan ryhmän yksi panssariajoneuvo voisi olla omasuoja-ajoneuvo, joka on varustettu laseraseella ja radiotaajuushäirintälaitteella. Jos näköyhteys panssaritor-



Kuva 2. Droonin runko laserin staattisen polttokokeen jälkeen. (Kuva: Sini Kivi)



Kuva 3. Laserilla alumiinilevyyn sulatettu reikä. (Kuva: Tomi Parviainen)

juntaohjukseen on olemassa, laserilla voitaisiin torjua ne keskipitkiltä ja pitkiltä kantamilta.

Laseraseiden käytännön taistelusevellukset tulevat olemaan droonien ja heitteiden torjunta maa- ja merilaveteilla. Vain suuravalloille on mahdollisuus ilma-alusten omasuojaan laseraseella. Samoin antisatelliittilaserit kuuluvat suurvaltojen keinovalikoimiin.

Laseraseen käyttö Suomessa on mahdollista jo nyt lainsäädännön mukaisesti voimankäytön välineenä. Ongelman muodostaa harjoittelu. Laseraseen hajaheijastuksen vaa-

ra-alue droonin ympärillä on halkaisijaltaan 200 metrin pallo. Jos ammutaan ohi, laskennallinen takavaara-alue suurteholaserin etenemissuuntaan on sen sijaan 200 km, koska säde voi osua pahimmassa tapauksessa sivulliseen. Fokuksen jälkeisen hajaantumisen ja ilmakehän vaikutuksen vuoksi vaara-alue pienenee, mutta on edelleen harjoittelun kannalta suuri. Turvallinen harjoittelu vaatii todennäköisyyslaskentaan perustavaa riskiarviota.

Kirjoittaja:

Diplomi-insinööri Tomi Parviainen toimii vanhempana tutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen asetekniikkaosastossa asejärjestelmien tutkimusalalla.

Autonomiset järjestelmät muuttavat tulevaisuuden taistelukenttää



Kuva 1. Panssarihaupitsi K9. (Kuva: Puolustusvoimat)

Muutos on jo käynnissä. Uusimmissa asejärjestelmissä on todella paljon automatiikkaa ja jo yksinkertaisia autonomisia toimintoja. Se, milloin laajasti itsenäiseen toimintaan kykenevät järjestelmät yleistyvät, ei ole vielä selvää.

Kaikki älykkäät robottijärjestelmät eivät ole suoraan nykyisten järjestelmien autonomisia versioita, vaan tämä murros tulee aiheuttamaan täysin uudenlaisten suorituskykyjen tulon markkinoille. Yhtenä esimerkkinä on viimeistään Ukrainan sodassa yleistyneet vaativat ilma-asejärjestelmät. Nämä mahdollistavat tarkan vaikuttamisen esimerkiksi panssaroituja ajoneuvoja vastaan näköyhteyden ulkopuolelta. Ne ovat nykyään automaattisilla toiminnoilla varustettuja, kauko-ohjattavia, hitaasti lentäviä ohjuksia, joiden vaikutushetki ja kohde voidaan päättää lennon aikana. Lähitulevaisuudessa ihminen päättää vain, milloin, mistä ja mille alueelle lavetit lähetetään. Itse lento ja loppuhakeutuminen tapahtuvat autonomisesti.

Tarina lähitulevaisuuden panssarihaupitsilaumoista

Panssarihaupitsi K9:n Suomessa modernisoitu, korkeasti autonominen versio iK9 hakee huoltopaikalta ammuksia ja polttoainetta (kuva 1). Huoltopaikalla ihminen tarkistaa, että lavetti on kunnossa ja ohjelmistot ovat ajan tasalla. Muut iK9-panssarihaupitsilauman jäsenet ovat jo siirtyneet käskystä eri reittejä pitkin suoja-asemiin tiheän metsän sisälle. Lauma vastaa itsenäisesti tälle alueelle tuleviin tulitukipyyntöihin. Huollettu iK9-yksilö siirtyy takaisin laumansa luo.

Lauma saa tulipyyntöä aluetta valvovalta ilma-alusparvelta (kuva 2). Parven jäsenet ovat huomanneet alueella liikettä. Vihollisen ajoneuvot on havaittu, tunnistettu ja seurannassa. Kohteita on yhteensä kolme. Kaikki niistä liikkuvat alueen läpikulkevia teitä kohti meidän asemiamme. Lauma ajaa suojistaan ennalta suunniteltuihin tuliasemiin. Ne jakavat kohteet keskenään tuliasemiensa, kohteiden paikan sekä liikesuuntien perusteella laskettujen vaikutustodennäköisyyksien mukaisesti. Haupitsit ampuvat synkronoidusti

vaikutuksen sinne, mihin kohteiden oletetaan liikkuvan lentoajan sisällä. Lauma lähtee siirtymään kohti vaihtoehtoisia tuliasemia mahdollista uutta tulitukipyynnöä varten. Ammukset ovat edelleen matkalla yli 30 km:n päässä oleviin kohteisiinsa.

Lauman ampumat älykkäät ammukset saavat lopulta näköyhteyden kohdealueelle. Ne hakevat sieltä ammunnan aikana osoitettuja maaleja. Yksi kolmesta ajoneuvosta on pysähtynyt paikalleen ammunnan jälkeen. Sen kohteekseen saaneet ampumatarvikkeet vaihtavat ilmassa nopeasti suuntaansa vastaamaan odottamatonta muutosta. Muut ammukset jatkavat vain pienin lentoratatarkennuksin kohti omia kohteitaan. Ammukset osuvat tarkasti kohteisiinsa.

Aluetta valvova ilma-alusparvi tarkistaa tuhoja. Kohteet on tuhottu. Lauma siirtyy vaihtoehtoisista tuliasemistaan kohti uusia suoja-asemiaan. Seuraava iK9-yksilö jättää muun Lauman ja lähtee huoltopaikalle saamaan täydennystä. Muut

Termejä	
automaattinen	Järjestelmä toimii määritettyjen parametrien mukaan. Tehtävät rajoittuvat tiettyihin ennalta selkeästi määritettyihin ja ohjelmoituihin toiminnallisuuksiin. Järjestelmä ei osaa toimia, jos tehtävässä on ennalta odottamattomia poikkeuksia. Esimerkiksi miehittämätön ilma-alus voi automaattisesti lentää ennalta määrättyjen reittipisteiden mukaisesti GNSS-paikannuksen avulla.
autonominen	Järjestelmällä on puhtaasti automaattisten toimintojen lisäksi kyky itse adaptoida toimintaansa tehtävän ja ympäristön muutosten mukaisesti. Se pystyy toimimaan myös tilanteissa, joita ei ole ennalta opetettu, ja oppimaan uusia asioita ja toimintatapoja. Esimerkiksi autonominen ilma-alus voi itsenäisesti vaihtaa suunniteltua lento-reittiänsä tuuliolosuhteiden, lähestyvän saderintaman tai kohtaamansa ilmatorjunnan mukaisesti.

jäävät valmiuteen odottamaan uutta tulitukipyynnöä. Toimintaa valvovan ihmisoperaattorin ei ole tarvinnut puuttua sovitun alueen sisällä tapahtuneeseen vaikuttamiseen. Järjestelmät ovat toimineet niille annettujen käskyjen, ohjeiden ja rajoitusten mukaisesti.

Tuhotut kohteet olivat vihollisen miehittämättömiä tiedusteluajoneuvoja. Ne etsivät alueelta kontaktia suomalaisiin joukkoihin. Nyt vastustaja tietää, että aluetta valvotaan tarkasti. Kaikki toiminta tapahtui robottijärjestelmien välillä. Ihmiset ovat kaukana takalinjoilla huoltamassa ja valvomassa järjestelmien toimintaa.

Onko tämä mahdollista jo heti 2030-luvun alussa?

Autonomiset järjestelmät tulevaisuudessa

Esitetty kuvitteellinen tarina autonomisista panssarihaupitseista toimimassa yhdessä muiden järjestelmien kanssa on vain yksi mahdollinen skenaario, joka voisi toteutua jo 2030-luvun alussa. Tarinan asejärjestelmät ovat sinänsä jo olemassa. Tosin niillä ei vielä tällä hetkellä ole tarinan itsenäisen toiminnan mahdollistavia autonomisia kykyjä. Nykyisellä kehitystahdilla kymmenen vuoden päästä tämä on hyvinkin mahdollista. Autonomian lisääminen puolustusjärjestelmissä ei siis aina tarkoita kokonaan uusien lavettien hankintaa. Monia jo nykyisiä meillä olevia asejärjestelmiä on mahdollista modernisoida. Niitä voidaan käyttää aluksi etäohjattuina ja myöhemmin autonomisina järjestelminä. Mahdollisesti myös aivan eri tarkoituksessa, kuin mihin ne on alun perin suunniteltu.

Vain mielikuvitus on rajana sille, mitä kaikkea älykkäät robottijärjestelmät voivat tulevaisuudessa tehdä. Se, hankitaanko esimerkiksi F35:n ensimmäisten päivitysten yhteydessä jokaiselle miehitettylle koneelle parvi autonomisia monitoimihäiveapulaisia, selviää 2030-luvulla. Erilaiset tulituki-, panssarintorjunta- ja evakuintirobotit saattavat kuulua Maavoimien lähitulevaisuuden hankintoihin. Kyseessä voi niissä olla yksi yhteinen modulaarinen alusta, jonka toiminnan mahdollistavaa hyötykuormaa vaihdetaan kulloisenkin tarpeen mukaan. Kohtuuhintaisilla ja pienikokoisilla vaanivilla järjestelmillä voidaan toteuttaa erilaisia älykkäitä, liikkuvia miinoitteita niin maalla, merellä kuin ilmassa. Alustat voivat toimia ryhmissä vaanien ohitse pyrkiviä kohteita siirtymällä niiden lähelle vaikutusta varten (kuva 3). Tällaisten yksinkertaisempien järjestelmien toiminta ei vaadi korkeaa autonomian tasoa.

Puolustusvoimat osallistuu jo nyt keskusteluun tulevaisuuden robottijärjestelmien käytöstä. Meidän pitää huolehtia siitä, ettemme estä omaa toimintaamme liian tiukalla lainsäädännöllä. Se, että ihminen vastaa tällaisten järjestelmien käytöstä, on kaikille länsimaissa selvää. Mutta sekin tiedetään, että kaikki ihmisen hyväksyntää vaativat välivaiheet hidastavat järjestel-



Kuva 2. Minilennokkijärjestelmä Orbiter 2b. (Kuva: Puolustusvoimat)

mien toimintaa. Tiettyjä rajoitteita vaikuttamisalueen, -ajan sekä -suunnan suhteen on hyvä olla, kunhan kehitetään sopivat käyttötavat. Me varaudumme tulevaisuudessa puolustautumaan robottijärjestelmiä vastaan robottien avulla. Tämä ei välttämättä ole mahdollista, jos Venäjällä on liian iso etu siinä, miten he voivat omia järjestelmiään käyttää.



Kuva 3. Sotatekniikan laitoksen miehittämätön Laykka-ajoneuvo. (Kuva: Christian Andersson)

Onko meidän mahdollista luoda tulevaisuudessa riittävä pidäke käyttäen länsimaiseen tapaan laadukkaampia ja älykkämpiä robottijärjestelmiä kuin vastustaja? Riittävätkö paremmat käyttötavat ja taktikat suurempia lavettimääriä vastaan? Onko meillä varaa kilpailla massalla, mikäli robottien määrä osoitautuu jossain kehityksenvaiheessa määrääväksi laatutekijäksi?

Kirjoittaja:

Diplomi-insinööri Mikko Miettinen toimii miehittämättömien ja autonomisten järjestelmien erikoistutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen asetekniikkaosaston asejärjestelmien tutkimusalalla.

Kuvaava tutka

– tiedustelun, maalittamisen ja valvonnan kehittyvä työkalu

Venäjän hyökättyä Ukraina helmikuussa 2022 Ukrainan varapääministeri esitti pyynnön useille länsimaisille kaupallisille korkean teknologian yrityksille. Ukraina tarvitsi tukea kuvaustiedusteluun hyökkääjää vastaan. Mukana listalla oli suomalainen avaruusalan yritys Iceye. Mistä tässä teknologiassa tarkemmin ottaen on kysymys?

Moderni kuvaustiedustelu

Nykyaikaisessa sodankäynnissä kuvaustiedustelulla on merkittävä rooli. Kuvaustiedustelua käytetään mm. vastapuolen joukkojen sijaintien, vahvuuksien ja kaluston laadun määrittämiseen sekä oman tulenkäytön apuna maalittamisessa.

Moderni kuvaustiedustelu toimii useilla aallonpituusalueilla: ultraviolettivalo, silmälle näkyvä visuaalisen alueen valo, lähi-infrapunasäteily, lämpöalueen infrapunasäteily ja radioaajuinen säteily, jota tutkat käyttävät. Näihin eri kaistoihin perustuvia kameroita ja muita sensoreita voidaan lennättää erilaisilla laveteilla, kuten lentokoneilla, miehittämättömillä ilma-aluksilla ja satelliiteilla.

Elektro-optiset kamerrat toimivat tyypillisesti näkyvän valon aallonpituusalueella ja lämpöalueella (lämpökamerrat). Näkyvän valon alueella toimivat kamerrat ovat yleisimmin käytettyjä. Vaikka ilmasta ja avaruudesta tehtävä elektro-optinen kuvaustiedustelu onkin laajasti käytössä ja sillä on hyvä saataavuus, sen toimintaa ajallisesti rajoittavina tekijöinä ovat pilvisyys ja auringonvalon puute. Eräiden arvioiden mukaan maapallon pinnalta satunnaisesti valitussa pisteessä satunnaisella ajanhetkellä on pilvistä 70 %:n todennäköisyydellä. Suomen leveysasteilla erityisesti talviaikaan elektro-optisten menetelmien käyttö voi olla vielä tätäkin rajoittuneempaa. Elektro-optinen kuvaus kaipaa siten rinnalleen sitä täydentäviä tiedustelumenetelmiä, jotka toimivat myös pilvisellä säällä.

SAR-kuvaus

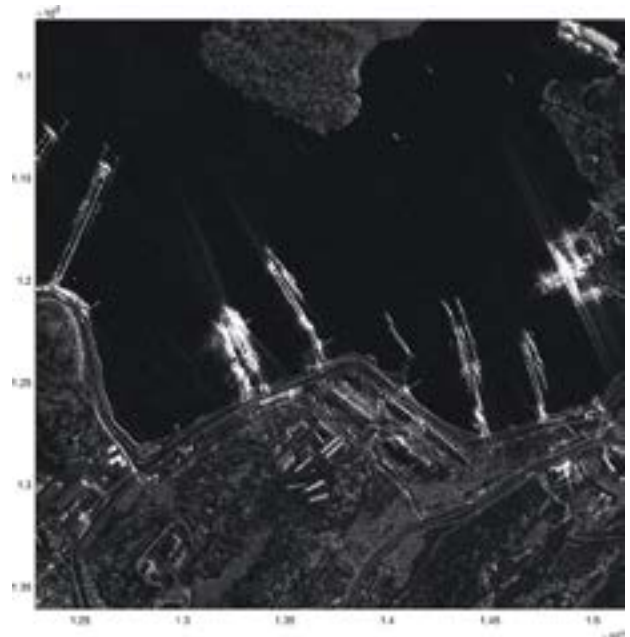
Kuvaava tutka (synteettisen apertuurin tutka, SAR) mahdollistaa tavanomaisen ilmakuvan kaltaisen kuvan tekemisen pilvien ja sateen läpi sekä valoisuudesta riippumatta, koska se toimii radiotaajuuksilla.

Toisin kuin elektro-optiset sensorit, jotka vastaanottavat kohteesta heijastuvaa tai kohteen itsessään lähettämää sätei-

lyä, SAR-tutka on radiotaajuisia säteilyä aktiivisesti lähettävä ja kohteesta palautuvaa säteilyä vastaanottava sensori.

SAR-sensoreilla voidaan tyypillisesti täydentää elektro-optisten sensoreiden avulla saatua peruskuvaa halutusta alueesta erityisesti silloin, kun elektro-optista kuvaa ei ole saatavilla olosuhteiden vuoksi.

SAR-tekniikka sinänsä ei ole uutta, vaan sitä on kehitetty jo 1950-luvulta alkaen Yhdysvaltojen ollessa kehityksen kärjessä. Tutkatekniikasta tiedetään, että parhaan kuvaustarkkuuden saavuttaminen vaatii suuren antennin. Vuonna 1951 Carl Wiley osoitti, että suuri tutka-antenni voidaan korvata pienellä, jos antennia liikutetaan suoraviivaisesti lavetin avulla ja liikkeen aikana kerättävä tutkadata liitetään yhteen. SAR-tutkan toiminta perustuukin siihen, että liikkuvan SAR-antennin avulla kuvataan haluttua aluetta eri suunnista, ja yhdistämällä data laskennallisesti saadaan ilmavalokuvaa muistuttava kuva (ks. kuva 1).



Kuva 1. SAR-kuva Murmanskin sukellusvenesatamasta. Kuvassa näkyviä kohteita ovat sukellusveneet, laiturit sekä sataman rakennukset. (Kuva: Capella Space (USA), julkaistu luvalla)



Kuva 2. Iceyen SAR-tutkasatelliitti. Satelliitit kiertävät noin 600 km:n korkeudessa. Kuvassa maata kohti olevat levyt ovat vaiheistettuja tutka-antenneja. Satelliitin voimainlähteenä olevia aurinkopaneeleita näkyy myös kuvassa. (Kuva: Iceye Oy, julkaistu luvalla)

Ensimmäinen operatiivisessa käytössä ollut SAR-tutka asennettiin 1960-luvun lopulla käyttöön otettuun amerikkalaiseen SR-71-tiedustelulentokoneeseen. Tämän jälkeen SAR-tutkia on käytetty yhä laajamittaisemmin hävittäjissä, tiedustelukoneissa, miehittämättömissä ilma-aluksissa ja satelliiteissa.

Hävittäjissä käytettävä SAR-tekniikka on kehittynyt pienikokoiseksi, kevyeksi ja tehokkaaksi. Esimerkiksi monitoimihävittäjissä on käytössä aktiivisesti elektronisesti keilaava antennitekniikka (AESA), joka mahdollistaa samanaikaisten rinnakkaisten tutkatehtävien suorittamisen. Antennin avulla voidaan esimerkiksi tehdä ilmasta ilmaan -tutkaileusta samalla kun maanpinnalta kerätään tutkadataa SAR-kuvaa varten.

SAR-tutkassa on useita erilaisia eri tilanteisiin sopivia määdeja. Spotlight SAR -moodilla voidaan tarkastella kohdetta suurella tarkkuudella ja tunnistaa kohde. Etsintä- ja valvontamäädeja ovat stripmap-SAR sekä liikkuvan kohteen ilmaismääde. Ne eivät ole kuvaustarkkuudeltaan parhaat määdit, mutta voivat löytää kohteita laajalta alueelta tehokkaasti.

SAR-kuvien tulkinta

SAR-tekniikalla muodostettu kuva poikkeaa tavanomaisesta ilmakuvasta monella tavalla. SAR-tutkan lähettämä radiotaajuussäteily heijastuu erityisen voimakkaasti metallisista kohteista, ja siksi suojaamattomat sotilaalliset kohteet havaitaan SAR-kuvassa tyypillisesti hyvin. Myös rakennuksista ja erilaisista maaston piirteistä saadaan voimakkuudeltaan eritasoisia

herätteitä. Kohteiden herätteiden voimakkuudessa voi olla suuntariippuvuutta. Korkeiden rakennusten ja maaston muotojen kuvanmuodostuksessa aiheutuu SAR-tekniikan kuvausperiaatteesta johtuvaa geometrista virhettä. Kohteet voivat siten näyttää SAR-kuvassa hyvin erilaisilta kuin valokuvassa, esimerkiksi korkeiden kohteiden herätteet ikään kuin kallistuvat kuvassa kohti tutkaa. Siksi kuvantulkitsijat onkin perehdyttävä SAR-tekniikkaan ja kuvaavan tutkan kuvanmuodostuksen erityispiirteisiin, jotta tulkintaprosessi on tehokas ja luotettava.

Moderni teknologia mahdollistaa myös eri aallonpituuskais-toilla otettujen kuvien yhdistämisen ns. kuvafuusion avulla. Kuvafuusiolla saadaan esimerkiksi lämpö- ja tutkasensoreiden keräämä tieto yhteen havainnolliseen ja helpotulkintaiseen kuvaan. Kun kuvaan yhdistetään tarkka paikkatieto (georeferointi), voidaan kuvan sisältämää tietoa hyödyntää sotilaallisesti esimerkiksi maalittamisessa.

Myös automatiikka helpottaa kuvantulkitsijan työtä. Sotilaallisesti hyödyllisen tiedon seulonta suurista kuvamääristä edellyttää automaattista kuvantulkintaa ja erityisesti koneoppimisen menetelmiä.

SAR-tiedustelua vastaan suojautuminen

Tutkatiedustelua vastaan voidaan suojautua hyödyntämällä maastoa ja rakennuksia. SAR-tutkat eivät normaalisti kykene näkemään rakennusten sisälle, koska rakennusmateriaalit vaimentavat tutkasäteilyä. Myös tiheä metsä vaimentaa tut-

kasädettä, joten kuvantulkitsija ei välttämättä saa kohteesta selväpiirteistä käsitystä. On kuitenkin olemassa myös lehväsrön läpi näkeviä matalataajuisia tutkia, jotka voivat havaita kohteet tiheästäkin metsästä.

Naamioverkkojen avulla voidaan vaikeuttaa kuvaustiedustelun kykyä havaita, luokitella ja tunnistaa kohteita. Ihanteellinen naamioverkko antaa suojaa kaikilla eri sensorien käyttämillä spektriasteoilla. Käytännössä naamioverkko on kuitenkin aina kompromissi osittain ristiriitaistenkin tarpeiden välillä. Tutkakaistalla naamioverkot voivat olla tutkasäteen osittain läpäiseviä tai läpäisemättömiä. Ne voivat myös absorboida ja heijastaa tutkasädettä.

Koska kuvaustiedusteluteknologiat kehittyvät jatkuvasti yhä tarkemmiksi ja kattavammiksi, kuvaustiedustelua vastaan täytyy löytää yhä tehokkaampia suojausmenetelmiä. Vaikka vastustajalla olisikin käytettävissään paljon resursseja kuvaustiedustelun toteuttamiseen, toimivalla suojautumisella, kuten naamioinnilla, harhautuksella ja hajauttamisella, voidaan aina vaikeuttaa ja viivästyttää vastapuolen toimintaa. Näin saavutetaan arvokkaita lisäminuutteja ja -tunteja oman selviytymisen varmistamiseksi.

Satelliittikonstellatit

SAR-laitteisto voidaan integroida piensatelliittiin. Useiden samanaikaisesti maapalloa kiertävien satelliittien muodostelmaa

kutsutaan ”konstellatiksi”. Tämän teknologian kaupallisena esimerkkinä on Iceye lanseeraama piensatelliittikonstellatio, jossa sensoreina ovat SAR-tutkat (kuva 2). Iceyella on nyt toiminnassa jo yli 20 satelliittia, ja se suunnittelee konstellatiotaan jopa 100 satelliitin suuruiseksi. Tämä mahdollistaisi maapallolla minkä tahansa alueen tiedustelun tunnin välein.

Maailmalla on kehitteillä ja jo toiminnassa useita vastavia SAR-konstellatioita. Amerikkalaisista kaupallisista SAR-toimijoista merkittävimmät ovat Capella Space ja Umbra Lab. Molempien yritysten SAR-satelliittien kuvien erottelukyky on tarkassa 25-30 cm:n suuruusluokassa. Amerikkalaiset yritykset eivät kuitenkaan vientirajoitusten takia voi helposti myydä ulkomaille satelliittikuvia, joiden erottelukyky on parempi kuin USA:n ulkopuolelta kaupallisesti saatavissa kuissa. Kaupallisten SAR-kuvien hintaluokka on tällä hetkellä muutamissa tuhansissa euroissa, mutta kilpailun myötä pudonnee satoihin euroihin.

Ukrainan sodassa SAR-kuvaustiedustelulla uskotaan olevan merkittävä rooli. Paljon huomiota saaneisiin Ukrainankin käyttämiin turkkilaisiin miehittämättömiin Bayraktar-ilma-aluksiin on saatavilla SAR-sensori. Myös venäläisillä on miehittämättömissä ja miehityissä ilma-aluksissaan käytössä SAR-tutkia.

Ukrainan sotatoimien apuna myös satelliitti-SAR-kuvaus vaikuttaa olevan merkittävässä roolissa. Sekä Iceye että Capella Space ovat julkisesti ilmoittaneet tukevansa Ukrainaa



Kuva 3. Iceyen julkistama SAR-kuva Krimin niemimaan ja Venäjän väliseltä Kertšinsalmen sillalta. (Kuva: Iceye Oy, julkaistu luvalla)

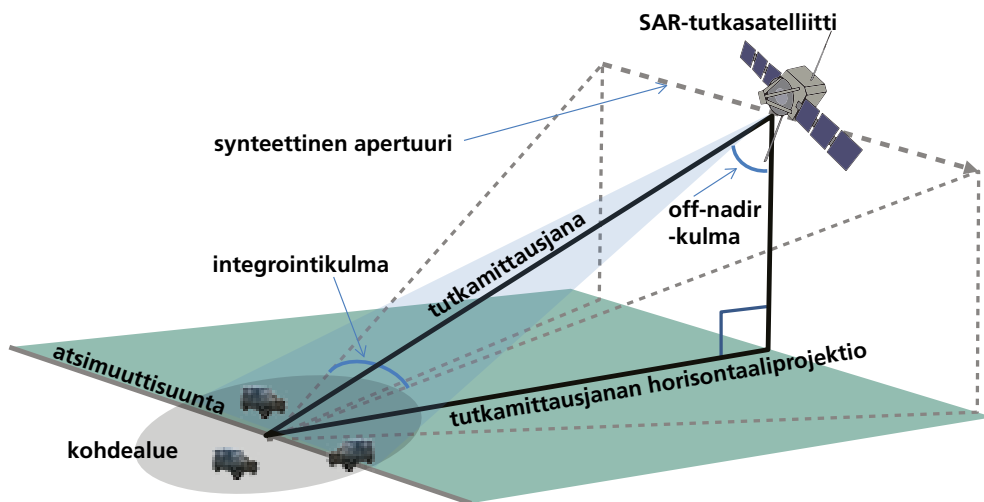
SAR-kuvien avulla (kuva 3). Ukrainan puolustusministeriö on julkaissut tietoja, joiden mukaan Icyen satelliittikuviin avulla on saatu merkittävää apua sotatoimissa. Ukrainan sotaa seuraavat ulkopuoliset maat keräävät myös itselleen tietoa sotatoimialueilta elektro-optisten satelliittikuvien ja satelliitti-SAR-kuvien avulla. Maailmantilanteen vuoksi kuvien kysyntä on suurempaa kuin niiden saatavuus. Sotilaallisen kuvaustiedustelun näkökulmasta kaupallisten SAR-toimijoiden rooli on kehittyvässä merkittäväksi.

SAR-tiedustelun kehitys

Perinteisesti satelliittiteknologian käyttö on sen kalleuden vuoksi ollut mahdollista vain valtiotason toimijoille. SAR-tek-

nologian tarvitseman elektroniikan pienentyminen ja halveneminen arkipäiväistävät sen käyttöä. Edulliset piensatelliitit edistävät kaupallisten toimijoiden mahdollisuuksia kehittää SAR-teknologiaan perustuvia järjestelmiä ja tuotteita. Kaupallisten satelliittikonstellaatioiden tuottaman kuva-aineiston voimakas määrällinen kasvu mahdollistaa sen aikaisempaa laajamittaisemman käytön sotilaallisissa kriiseissä. Yhä useammat toimijat soveltavat SAR-tekniikkaa miehittämättömien ilma-alusten kuvaussensorina. Sovelluksia ilmaantuu yhä useampiin käyttökohteisiin myös siviilimaailmassa, esimerkiksi luonnonvarojen käytön seurannassa ja luonnonkatastrofien aiheuttamien tuhojen pelastustoimien apuvälineenä.

Synteettisen apertuurin tutka



Grafiikka: Johanna Suominen

SAR = Synthetic Aperture Radar

SAR-tutka tuottaa maastosta tavanomaisen ilmakuvan kaltaista kuvaa radioaaltojen avulla. Pilvet, sade tai auringonvalon puute eivät estä kuvausta.

SAR-tutkan antenni lähettää kuvattavalle alueelle radiotaajuisia pulsseja samalla, kun tutka liikkuu suoraviivaisesti lavetin avulla (lavettina esim. lentokone tai satelliitti). Pulssit heijastuvat alueella olevista kohteista takaisin tutkaan. Koska kuvausession kuluessa vastaanotettua dataa saadaan eri suunnista, vastaanotettujen pulssien erilaisten aikaviiveiden ja Doppler-siirtymien avulla kohteet voidaan yksikäsitteisesti paikallistaa. Tutkapulssin aikaviive kertoo kohteen etäisyyden ja Doppler-siirtymä kohteen atsimuutti- (sivusuuntaisen) sijainnin. Kuva muodostetaan tutkadatasta laskennallisesti Fourier-muunnoksen avulla. Tehokkailla laskentaprosessoreilla kuvan muodostaminen kestää sekunteja tai minuutteja.

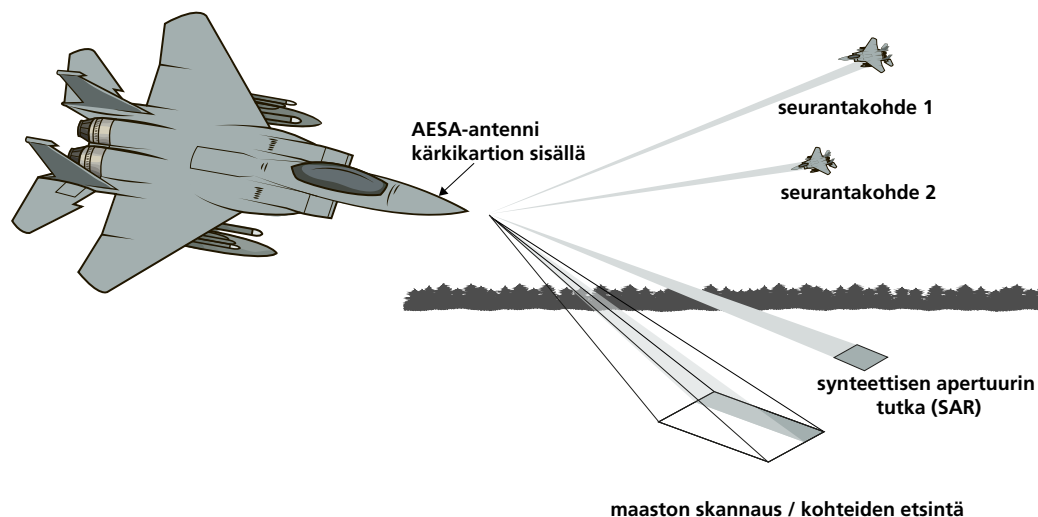
Kuvausession aikana tutka kulkee matkan, jota kutsutaan synteettiseksi apertuuriksi. Sen pituus voi käytännössä vaihdella sadoista metreistä (miehittämättömät ilma-alukset) tuhansiin kilometreihin (satelliitit). Vastaavasti kuvausetaisyydet voivat vaihdella sadoista metreistä tuhanteen kilometriin. Kuvausajat (datankeruuajat) SAR-sensoreilla voivat lavetin etäisyydestä ja nopeudesta riippuen vaihdella muutamista sekunneista useisiin minuutteihin. Turbulenssi voi aiheuttaa lentokoneen liikkeeseen häiriötä, jonka takia lentorata poikkeaa suoraviivaisesta. Näiden virheiden vuoksi kuvanlaatua on korjattava erityisten laskennallisten fokusointimenetelmien avulla, jotka vaativat suurta laskentatehoa.

SAR-kuvan tarkkuutta kuvaava tunnusluku on resoluutio eli erottelukyky. Se määräytyy tutkan taajuuskaistan leveyden ja kuvausgeometrian integroitukulman mukaisesti. Tarkkaan kuvaan vaaditaan laaja taajuuskaista (tyypillisesti useita gigahertsejä) sekä pitkä synteettinen apertuuri, joka tuottaa suuren integroitukulman.

SAR-kuvan kuva-alan suuruus voi olla kymmenien neliökilometrien suuruusluokassa, etsintämoodeissa jopa satoja neliökilometrejä.

Usein SAR-tutkat toimivat X-kaistalla (noin 10 gigahertsiä). Sotilaallisissa SAR-tutkissa resoluution on oltava alle metrin suuruusluokassa, jotta kohteiden luokittelu ja tunnistaminen mahdollistuu.

Aktiivinen elektronisesti keilaava antenni (AESEA)



Grafiikka: Johanna Suominen

AESEA = Active Electronically Scanning Array

Moderneissa tutkissa käytettävä AESEA-antennitekniikka perustuu suureen määrään pieniä lähetin-vastaanotin-moduuleita. Moduuleita voi olla yhdessä antennissa sadoittain. Jokaista antennimoduulia voidaan ohjata erikseen, jolloin moduuleista voidaan muodostaa erillisiä itsenäisesti ohjattavia osa-antenneja. Moduulit on vaiheistettu, minkä takia niiden tuottaman tutkakeilan suuntaa voidaan ohjata elektronisesti ilman että itse antennia välttämättä tarvitsee kääntää mekaanisesti. Kukin osa-antenni voi suorittaa itsenäistä tehtävää samanaikaisesti, mikä mahdollistaa rinnakkaisen moniajon. Yksi osa-antenni voi esimerkiksi tehdä ilmavalvontaa ja toinen kerätä maanpinnalta tutkadataa SAR-kuvaa varten.

AESEA-tekniikan lähetin-vastaanotin-moduulit pohjautuvat galliumarsenidi- (GaAs) tai galliumnitridi- (GaN) -puolijohteista valmistettuihin nopeisiin transistoreihin. Galliumnitridi on syrjäyttämässä galliumarsenidia uusimmissa AESEA-tutkissa. Galliumnitridin tärkein ominaisuus on lämmönsieto, eli se kestää voimakkaita sähkökenttiä materiaalin vaurioitumatta, ja materiaalista valmistettujen transistorien läpi voidaan ajaa suurempia virtoja. Tämä mahdollistaa suuremmat tehot yksittäisistä antennimoduuleista. Tämä on merkittävä parannus aikaisempiin GaAs-pohjaisiin antenniratkaisuihin verrattuna; toki nämäkin ovat edelleen laajasti käytössä, koska GaAs-teknologia on edullisempaa. GaN mahdollistaa myös laajemman taajuuskaistan kuin GaAs, mikä parantaa tutkan tarkkuutta ja erottelukykä SAR-kuvauksessa.

Kirjoittaja:

Tekniikan tohtori Jouko Haapamaa toimii erikoistutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksessa Asetekniikkaosastossa Häivetekniikan tutkimusallalla.

Psyykkisen toimintakyvyn tuki sodan aikana ja sen päättyessä



(Kuva: Jussi Toivonen/Puolustusvoimat)

Tarkasteltaessa sotilaan psyykkistä kestävyyttä poikkeusoloissa ollaan tekemisissä kaikkien toimintakyvyn osatekijöiden kanssa. Kokonaisvaltainen psyykkinen jaksaminen poikkeuksellisissa olosuhteissa vaatii paljon niin yksilön fyysiseltä, psyykkiseltä, sosiaaliselta kuin eettiseltäkin toimintakyvyltä. Vaatimukset kohdistuvat myös toimintakyvyn ylläpidon tukitoimiin. Puolustusvoimissa on vuoden 2014 jälkeen järjestelmällisesti tutkittu ja alettu kouluttaa toimintakykyyn liittyviä ilmiötä sekä toimintakyvyn ylläpitoa ja palauttamista. Tässä kirjoituksessa käsitellään psyykkisen tuen viisitasoista kokonaisuutta.

Miksi tukea tarvitaan sotatoimialueella?

Filosofian tohtori Ville Kivimäki julkaisi vuonna 2013 väitöskirjaansa pohjautuvan kirjan *Murtuneet miehet*. Taistelu suomalaissotilaiden hermoista 1939–1945. Kirja toi laajempaan julkisuuteen rintamamiesten psyykkisen kestämissä

ja murtumisen syitä sekä tapoja, joilla kestämistä yritettiin tukea. Sotilaiden psyykkisen kestävyksen peittäminen ei sinällään ole uusi tai harvinainen ilmiö. Siitä vain ei ole julkisesti kovin paljon puhuttu. Eri lähteistä saatujen arvioiden mukaan jopa noin 40 prosenttia sodissa haavoittuneista on ollut psyykkisesti haavoittuneita. Persianlahden ja Afganistanin sodista saatujen tietojen mukaan ilmiö on edelleen olemassa. Nykyaikaisella taistelukentällä myös teknisesti, koulutuksellisesti ja määrällisesti ylivoimaisilla asevoimilla on haasteita sotilaidensa psyykkisen jaksamisen kanssa, kun he kohtaavat välittömän kuolemanpelon ja joutuvat tappamaan toisia ihmisiä. Taistelustressin ja posttraumaattisen stressireaktion lisäksi sotilaiden on havaittu kärsivän niin sanotusta moraalista stressistä, joka voi johtaa myös moraaliseen vammaan. Moraalinen stressi ilmenee esimerkiksi syyllisyytenä toiminnasta, jolla sinällään on ollut juridinen ja moraalinen hyväksyntä, mutta jonka yksittäinen sotilas on kokenut epäeettisenä ja arvojensa vastaisena.

Kivimäki toteaa edellä mainitussa kirjassaan, että vuonna 1941 Karjalan kannaksella taistelleessa 15. divisioonassa huomattiin jo varhain, että oli tarpeen tehdä jotain nopeasti kasvaneelle joukolle henkistä murtumista lähestyneitä sotilaita. Erityinen Lepola perustettiin 16. heinäkuuta 1941. Lepolan tarkoituksena oli tarjota mahdollisuus hetken hermolepoon ja toisaalta myös osoittaa, ettei hermoihin vetoamalla päässyt helposti pois rintamalta. Samalla yritettiin estää Lepolaan saapuvien miesten päätymistä psykiatrisiksi potilaiksi. Lepolassa vietettiin yleensä kolmesta viiteen päivää. Lepolasta saatuja tuloksia pidettiin jatkosodassa rohkaisevina. Käytäntöä ei kuitenkaan jatkettu. Suurvaltojen asevoimat ovat kuitenkin havainneet vastaavanlaisen toiminnan hyödyt merkittäviksi. Esimerkiksi Irakin sodassa Yhdysvaltain asevoimat käytti vastaavanlaista hoitoa tarjoavaa joukkuetta, joka seurasi hyökkäävää divisioonaa. Ennen sotilaan Lepolaan irrottamista on jo kuitenkin paljon tehtävissä niin yksilön, ryhmän kuin johtajankin taholta.

Yksilön, taistelijaparin ja ryhmän tukitoimet

Varusmiehille suunnatun Taistelijan mieli -koulutuskokonaisuuden päämääränä on kehittää tietoa ja ymmärrystä siitä, millaisia haasteita sota- ja taistelutilanne psyykkiselle, sosiaaliselle ja eettiselle toimintakyvylle aiheuttaa. Tarkoituksena on antaa yksittäiselle sotilaille valmiuksia selvittää näistä haasteista. Harjoitteet on integroitu osaksi muuta sotilaskoulutusta. Tavoitteena on, että koulutuksen saanut kykenee esimerkiksi tunnistamaan taistelustressin oireita itsessään ja muissa taistelijoissa sekä osaa ennaltaehkäistä tai lievittää niitä esimerkiksi mielikuvaharjoittelun ja oikean hengitystekniikan avulla. Lisäksi sotilaita valmistetaan siihen, että taistelutilanteessa tulee väistämättä tappioita. Sodassa myös kohtaa tilanteita, joissa joutuu toimimaan oman arvomaailmansa vastaisesti. Ensimmäinen henkisen tue porrass onkin vertaistuki – oma taistelijapari ja oma ryhmä. Tämä tuki on osoittautunut usein myös parhaaksi ja on yleisin tuen muoto. Tosin joillekin saattaa riittää myös niin sanottu 0-taso eli taito tunnistaa itsessään omaan toimintakykyyn vaikuttavia tunteita ja ajatuksia sekä kyky käsitellä niitä rakentavalla tavalla. Toisen henkisen tuen portaan muodostaa joukon johtajan oikea-aikainen ja oikein toteutettu toiminta. Esimerkiksi ryhmäkiinteyden tukeminen lisää yksittäisen sotilaan turvallisuuden tunnetta ja henkistä jaksamista. Aliupseerikoulutuksessa opetetaan myös tehtävään valmistautumiskeskustelun käyminen oman ryhmän kanssa ennen tehtävän alkamista. Siinä käydään käsketty tehtävä kronologisesti läpi; mitä tulemme kohtaamaan missäkin vaiheessa ja mitä tulemme tuntemaan missäkin vaiheessa. Tämän keskustelun käyminen parantaa ryhmän suoritusta teknisesti ja vähentää ennalta ja taistelun aikana kertyvää stressiä.



(Kuva: Aapo Huhtalo/Puolustusvoimat)

Myös taistelun jälkeisen purkukeskustelun tavoitteet, toteuttaminen sekä johtaminen kuuluvat koulutuskokonaisuuteen. Keskustelussa ryhmänjohtaja käy saman kokemuksen läpikäyneiden kanssa tapahtumat läpi taistelutekniikan näkökulmasta, mutta myös omille tuntemuksille eri vaiheissa annetaan tilaa ja puheenvuoro kaikille haluaville. Tämä menettely parantaa tulevia suorituksia teknisesti ja purkaa tehtävässä kertynyttä stressiä. Ryhmän johtaja voi myös käyttää erilaisia apuneuvoja ryhmänsä mielentilan hallintaan. Esimerkiksi musiikki, jonka tahti on 60 lyöntiä minuutissa tai alle, laskee viireystilaa, ja jos lyöntimäärä on yli 120 minuutissa, se nostaa ihmisen viireystilaa. Tätä ilmiötä voi käyttää hyödyksi esimerkiksi illalla nukahtamista auttaamaan tai ennen tehtävän alkamista virittämään mieli tulevaan toimintaan.

Reservin upseereiksi koulutettaville annetaan lisäksi koulutusta joukkokäyttäytymisen ilmiöistä, esimerkiksi pakokauhusta, ja niihin reagoimisesta. Tällä on erityistä merkitystä yksittäisen sotilaan henkiseen jaksamiseen silloin, kun joukon ja ryhmän tarjoama tuki uhkaa kääntyä itseään vastaan eikä ryhmäkiinteyden toteutu positiivisella tavalla.

Ammattilaisten tarjoama psyykinen tuki sodassa

Kolmas tuen porras on ensimmäinen niin sanottu ammattilaisporras. Sodan ajan joukkoyksiköihin (pataljoona tai vastaava) sijoitettu sotilaspappi muodostaa psykososiaalisen tuen ryhmän. Tukiryhmä työskentelee oman tehtävänsä ohessa, ja siihen valitaan sotilaspapin esityksestä henkilöitä, jotka esimerkiksi oman siviiliosaamisensa perusteella sopivat ryhmään. Henkilöt toimivat sotilaspapin johdolla itsenäisesti, mutta tukiryhmille luodaan yhtenäistä koulutusmateriaalia sekä toimintamalleja.

Neljäs porras ei ole suoranainen tukielementti, mutta sen avulla voidaan päästä selville tuen tarpeesta ja kohdentaa sitä oikea-aikaisesti oikeaan paikkaan. Portaan muodostavat Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen kokoonpanoon kuuluvat, mutta pääosin puolustushaaroille tehtävällä alistettavat toimintakyvyn tutkimusryhmät. Tutkimusryhmät kykenevät itsenäisesti keräämään tietoa yksittäisten joukon toimintakyvystä ja raporttoimaan siitä joukon johtajalle. Ryhmien keräämät tiedot kerätään yhteen ja analysoidaan. Näin saadaan mahdollisimman laaja ja tarkka valtakunnallinen kuva tutkittujen joukkojen toimintakyvyn kokonaisuudesta ja mahdollisista tukitarpeista. Vaikka ryhmät eivät itse tarjoa henkistä tukea, on niillä kuitenkin tilanteen vaatiessa mahdollisuus tehdä hyvin lyhyitä interventioita tutkimassaan joukossa tai antaa toimenpiteiden ehdotuksia sen johtajalle.

Viidennen portaan muodostavat Lepolapataljoonaan kuuluvat Lepolat. Muutaman vuoden kuluessa valmiiksi saatavan uuden suorituskyvyn tukimethodi perustuu BICEPS-ajattelun:

- Brevity – lyhyys. Lepolaan tulleen sotilaan on tarkoitus palata joukkoonsa muutamissa päivissä.
- Immediacy – välittömyys. Sotilas lähetetään Lepolaan heti, kun oireet huomataan. Lepolaan voi henkilön lähettää joukon johtaja. Erillistä lääkärin tai sotilaspapin lähetettävä tai esitystä ei välttämättä vaadita.
- Centrality – keskitetty. Tiedetään, mistä henkistä tukea saa ja mihin sellaista tarvitsevat sotilaat voidaan lähettää.
- Expectancy – odotettavuus. Kaikille kerrotaan, että stressireaktiot poikkeuksellisissa olosuhteissa ovat normaaleja ja ne tasaantuvat kyllä.
- Proximity – läheisyys. Lepola sijaitsee lähellä taisteltavia joukkoja, jotta irrottautumisesta tilanteen vaatimasta ajattelutavasta ei tapahdu.
- Simplicity – yksinkertaisuus. Lepola ei tarjoa lääketieteellistä hoitoa, vaan sen toiminta perustuu siihen, että tarjotaan lepoa, ruokaa, mahdollisuutta peseytyä ja vaihtaa puhtaat vaatteet sekä aktiivista, ohjattua, fyysistä ja psyykkistä palauttavaa toimintaa.

Tutkimusten mukaan vastaavien organisaatioiden toimenpitein on yli 90 prosenttia oireilevista sotilaista pystytty palauttamaan joukkoonsa. Akuutin psykiatrisen hoidon tarpeen arviointia varten on Lepolan kokoonpanossa oltava myös psykiatri, jonka päätöksellä henkilö voidaan siirtää lääkintähuollon piiriin.

Tuki palattaessa sotilaasta siviiliksi

Kansainvälisessä tutkimuksessa on viime vuosina kiinnitetty paljon huomioita operaatioista palaavien sotilaiden kotiuttamisprosessiin ja siviiliyhteiskuntaan palaamiseen. Kotiinpaluun yhteydessä on törmätty niin fyysisiin, psyykkisiin, sosiaalisiin kuin eettisiinkin ongelmiin, jotka aiheutuvat palveluksesta. Kotiuttaminen on osa palvelusta, ja sen henkinen huolto on Puolustusvoimien vastuulla, vaikka kotiutumisen jälkeisistä toimenpiteistä vastaavatkin muut viranomaiset.

Sodan jälkeen kotiutettavien sotilaiden palautusjaksot ja sen sisältö -tutkimuksessa (2022–23) ollaan luomassa konseptia, jolla vastataan kotiinpaluun mahdollisesti aiheuttamiin haasteisiin. Konseptin mukaan sodasta kotiutuva joukko tulee ennen kaluston ja varusteiden luovuttamista 2–3 vuorokaudeksi Lepolapataljoonan sekä Toimintakyvyn tutkimusyksikön organisoimalle kotiuttamisjaksolle. Jaksolla on tarkoitus laskea sotilaista veteraaneiksi siirtyvien viireystilaa, purkaa eri keinoin kertynyttä stressiä, kouluttaa heitä tunnistamaan ja kohtaamaan itsessään sodan jälkeen esiintyvät psyykkiset ja fyysiset oireet sekä ohjata hakemaan tarvittaessa apua erilaisiin siviilielämän haasteisiin. Tutkimuksen aikana järjestettiin työpaja, jossa tunnusteltiin eri siviiliviranomaisten valmiutta yhteistoimintaa kotiuttamisen yhteydessä. Tutkimuksen tässä vaiheessa näyttää siltä, että suunnitteilla olevan kotiutujan oppaan sekä sosiaali- ja terveysviranomaisten edustajien läsnäololla saadaan madallettua kynnystä mm. terveyteen, asumiseen ja toimeentuloon liittyvän tuen hakemisessa ja saamisessa. Tavoitteena on minimoida palveluksesta aiheutuvien haittojen vaikutus siviilielämässä.

Mitä toimintakykyä tukemalla voidaan saavuttaa?

2022 alkaneen Ukrainan sodan aikana on voitu huomata, että sotilaiden motivaatiolla ja tehtävän ja etenkin sodan oikeutuksen kokemisella on iso merkitys joukoista saatavalle suorituskyvylle. Kyky perustella toiminnan ja tehtävän oikeutus on oltava kaikilla upseereilla kaikilla johtamistasoilla. Taistelujen aikana kertyvä stressi on luonteeltaan kumuloituvaa, ja mikäli tätä stressiä ei tukijärjestelmän eri tasoilla kevennetä, on erittäin todennäköistä, että psyykkisesti romahtavien sotilaiden määrä kasvaa huomattavasti ja vielä pärjäävienkin toimintakyky laskee. Kuten edellä mainittiin, on Lepola-toiminnalla tutkimusten mukaan mahdollista



(Kuva: Henry Mäkinen/Puolustusvoimat)

palauttaa jopa yli 90 % oireilevista sotilaista omaan joukkoonsa. Tilanteessa, jossa Puolustusvoimat sotisi kaikilla poikkeusolojen joukoillaan vuoden, se tarkoittaisi tuhansien sotilaiden palauttamista toimintakykyisiksi ja samalla keventäisi lääkintähuollon kuormaa psykiatristen potilaiden osalta. Sodan päättymisen yhteydessä toteutettavalla psyko-

edukaatiolla ja neuvonnalla voidaan vähentää niitä oireita ja lieveilmiöitä, joita veteraanien mukana siirtyi siviiliyhteiskuntaan 1944–45. Samalla voidaan ohjeistaa erilaisen avun ja tuen hakemisessa siviilielämään palaamisen jälkeen ja näin välillisesti tukea koko yhteiskunnan toipumista sodasta.

Kirjoittajat:

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

Everstiluutnantti (evp) Jari Harala jäi 1.1.2023 eläkkeelle Ihmisen suorituskyky sodassa -tutkimusalan johtajan tehtävästä Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen Toimintakykyosastolta.

Kyber pelotteena



(Kuva: Niko Savola/Puolustusvoimat)

Oletko nähnyt elokuvaa *The Interview*? Sony Pictures Entertainmentin vuonna 2014 tuottamassa komediassa kaksi julkisuuden henkilöä ovat lähdössä haastattelemaan Pohjois-Korean diktaattori Kim Jong-unia, mutta saavatkin CIA:lta salaisen tehtävän tappaa hänet. Tiesitkö, että Pohjois-Korea toteutti kyberoperaation Sonya vastaan estääkseen elokuvan julkaisun ja esittääkseen varoituksen muille?

Operaation seurauksena Sony menetti arviolta 70 % tietojärjestelmistään. Tämän jälkeen alkoi kuitenkin tuhoisampi tietovuotokampanja, jossa arkaluontoisia tietoja, kuten vielä julkaisemattomia elokuvia, henkilötietoja, palkkoja ja markkinatutkimuksia vuodettiin julkisuuteen. Tiedot aiheuttivat merkittäviä taloudellisia tappioita ja mainehaittaa Sonylle. Aluksi näytti, että Pohjois-Korea onnistuisi tavoitteessaan, sillä Sony oli vetämässä elokuvan ensi-illan pois vedoten kohonneeseen väkivallan uhkaan ensi-iltateattereita kohtaan. Yhdysvaltojen presidentti Barack Obama esitti kuitenkin julkisesti huolensa Yhdysvaltojen sananvapaudesta, mikäli vieraan valtion diktaattorin uhkailulle ja pelottelulle annetaan periksi niinkin pienessä asiassa kuin komediaelokuvan julkaisemisessa. Sony lopulta julkaisi elokuvan verkossa, ja

siitä tuli siihen asti suosituin lataus- ja suoratoistopalveluiden kautta levitetty elokuva. Pohjois-Korea siis epäonnistui tavoitteessaan ja aiheutti sen, että elokuva sai suurempaa näkyvyyttä ja sen näki useampi ihminen vain siihen liittyvän mediamyllerrysten ansiosta.

Pelotteen käsite kansainvälisessä politiikassa

Kansainvälisessä politiikassa pelotteen käsitteen voidaan ajatella edustavan sellaista tunnistettavissa olevaa signaalia vastapuolelle, jonka tarkoitus on ehkäistä eritasoisia aggressioita. Määritelmästä käytetään englanninkielisen termiä *deterrence*, joka käännetään usein suomen kielelle joko terminä *pelote* tai *pidäke*. Tässä artikkelissa ei pyritä määrittelemään käsitteiden pidäke ja pelote eroja, vaan englanninkieliseen *deterrence*-käsitteeseen viitataan luettavuuden vuoksi ainoastaan termillä *pelote*.

Pelotteen käsite voidaan jakaa edelleen kieltämiseen perustuvaksi ja koston perustuvaksi pelotteeksi. Ensimmäisessä vastapuolen vihamielinen toiminta kilpistyy tehokkaaseen puolustukseen, vastatoimiin sekä nopeaan kykyyn palautua iskusta

jättäen sen vaikutukset mitättömiksi. Jälkimmäisessä koston perustuvassa pelotteessa vihamielinen toiminta aiheuttaa vähintään yhtä merkittävän vastaiskun hyökkääjää itseään kohtaan, josta ydinpelote on klassinen esimerkki. Jo pelkkä vastavuoroisen tuhon uhka voi riittää rajoittamaan vastapuolen halua eskaloida kriisiä liian pitkälle. Pelotetta voidaan pyrkiä hyödyntämään myös ympäristön muokkaamisessa haluttuun suuntaan. Erityisesti Venäjä on pyrkinyt muistuttamaan ydinasuorituskyvystään ja siten hyödyntämään ydinpelotettaan edistääkseen omia tavoitteitaan kansainvälisessä politiikassa.

Kybertoimintaympäristön erot kineettisistä sodankäynnin keinoista

Kybertoimintaympäristö eroaa kuitenkin merkittävin määrin kineettisistä sodankäynnin keinoista, eikä toiminnalla ole samanlaista näkyvyyttä ja kykyä viestiä vastapuolelle omasta suorituskyvystä kuin esimerkiksi kalustoesittelyillä tai sota-harjoituksilla on perinteisesti ajateltu olevan. Kybertoimintaympäristö ei kuitenkaan ole vastaavalla tavalla riippuvainen maantieteellisestä sijainnista, joten pienetkin valtiot voivat käytännössä projisoida voimaa sen avulla jopa toiselle puolelle maapalloa. Kybertoimintaympäristö antaa niille uusia mahdollisuuksia vaikuttaa vallitsevaan voimatasapainoon. Kybertoimintaympäristö tarjoaa lisäksi kiistettävyyden mahdollisuuden, joka vaikeuttaa koston perustuvan kyberpelotteen muodostamista. Jos kyberiskun tekijä ei ole varmuudella tiedossa, ei vastaiskua voida kohdentaa oikeaan tahoon. On lisäksi vielä määrittelemättä, minkä tasoinen kineettinen voima vastaisi kyberympäristössä tapahtunutta iskua, ja voidaanko kyberiskuihin vastata kineettisellä voimalla. Toistaiseksi kyberiskuihin vastattu kineettisellä voimalla vain ei-valtiollisia toimijoita vastaan: USA tappoi ilmaiskulla ISIS-taistelijan vuonna 2015, ja Israel Hamas-taistelijan vuonna 2019. Juuri kiistettävyyden ja vähäinen kiinni jääminen riski on tehnyt kyberhyökkäyksestä suosittu vaikuttamiskanavan ei-valtiollisille toimijoille ja rikollisille. Jotkin valtiot pyrkivät lisäksi hyödyntämään niin sanottuja proxy-toimijoita, jossa hyökkäyksen toteuttaakin jokin valtion ulkopuolinen toimija, jolloin sen selvittäminen, kuka teon taustalla tosiasiasa on, käy vieläkin haastavammaksi. Kybertoimintaympäristön haasteet näkyvyydessä ja kiistettävyydessä aiheuttavat sen, ettei kyberpelote yksinään riitä uskottavan pelotteen viestintään. Kybersuorituskyky voidaankin nähdä yhtenä osana kokonaisvaltaisen pelotteen muodostamisen keinovalikoimaa, johon sisältyy mm. poliittiset, taloudelliset, sotilaalliset ja lainopilliset keinot.

Kyberoperaatioiden käyttö yleisen pelon ilmapiirin muodostamisessa

23. joulukuuta 2015 klo 15.30 ukrainalaisen Prykarpatty-aoblenergon sähköyhtiön valvomon työntekijät havaitsivat, etteivät he enää kenneet hallinnoimaan sähköverkkoaan vaan vain seuraamaan, kuinka alue alueelta sähköverkko

pimeni. Iskun psykologinen pelotevaikutus pyrittiin maksimoimaan ajoittamalla isku juhlapyhien aikaan, iskemällä Ukrainan energiaspektoriin vuoden pimeimpään ja kylmimpään aikaan sekä toteuttamalla samanaikainen palvelunestohyökkäys energiayhtiöiden puhelinjärjestelmiin. Puhelinjärjestelmien häirintä esti sähköttää jääneiden ihmisten tiedonsaannin ja heikensi iskun kohteena olleen yrityksen tilannekuvaa sähkökatkon laajuudesta. Hyökkääjät onnistuivat myös lamauttamaan energiayhtiöiden omat varavirtajärjestelmät, mikä vaikeutti tilanteen korjaamista ja näyttäytyi yhtiön kompetenssin kannalta huonolta ulospäin, kun heillä itselläänkin oli valot pimeänä. Yrityksen työntekijöihin kohdistuvaa pelotevaikutusta korosti se, että valvomon työntekijät olivat tottuneet siihen, että heillä on hyvä tilannekuva ja kontrolli valvomaansa järjestelmään, mutta nyt he kykenivät vain seuraamaan tapahtumia valvomon ruuduilta. Hyökkääjät olivat myös sekoittaneet etähallintajärjestelmät iskun jälkeen, joten jokainen sähköverkon muuntaja-asema piti käydä manuaalisesti käynnistämässä uudelleen. Iskun vaikutukset jäivät kuitenkin lyhytaikaiseksi ja sähköt onnistuttiin merkittävin osin palauttamaan jo 6 tunnin sisällä hyökkäyksen alkamisesta. Koko hyökkäyksen mahdollisten vaurioiden tarkastamisessa ja korjauksessa meni arviolta kuitenkin noin vuosi.

Uusi hyökkäys, tällä kertaa kiovalaista sähköyhtiötä kohtaan, toteutettiin kuitenkin lähes tasan vuoden kuluttua edellisestä, 17.12.2016. Jälkimmäinen hyökkäys oli sofistikoituneempi, ja toisin kuin ensimmäinen, se hyödynsi pidemmälle vietyä automaatiota. Iskun kohde oli todennäköisesti valittu siksi, että sen infrastruktuurissa hyödynnettiin automaatiota, johon vaikuttamalla järjestelmä kyettäisiin saamaan rikkomaan itse itsensä. Jälkimmäisen hyökkäyksen vaikutukset jäivät kuitenkin pienemmäksi, ja sähkökatkos kesti ainoastaan tunnin. Hyökkääjät olivat myös kehittyneet operaatioturvallisuudessa, eikä hyökkäys jättänyt yhtä paljon jälkiä itsestään. Iskulla olisi kuitenkin ollut potentiaalia aiheuttaa merkittäviä vaurioita sähköverkon toiminnan kannalta kriittiseen laitteistoon, jolta onneksi välttyttiin. Kun tapauksia on jälkikäteen tutkittu, on oletettavaa, että iskut ovat lähtöisin Venäjältä ja niiden toimija on sama tai vähintään toimijat ovat jakaneet tietoa keskenään. Iskujen vaikutukset Ukrainan yhteiskunnan vakauteen tai luottamukseen valtionjohtoon jäivät kuitenkin vähäisiksi, eikä operaatiota siinä mielessä voida nähdä onnistuneeksi, mikäli tämä oli hyökkääjien tavoitteena. Lisäksi on havaittu, että iskujen tekijät ovat mahdollisesti tehneet ratkaisuja, jotka rajoittivat hyökkäyksen vakavuutta. Kyberpelotteen viestimisen näkökulmasta jää kuitenkin epäselväksi, rajoittivatko hyökkääjät tahallisesti toimintaansa viestiäkseen varoituksen, vai johtuivatko ratkaisut pätevyyden puutteesta ja siis operaatioiden epäonnistumisesta. Eräiden arvioiden mukaan iskut olisivat myös olleet ainoastaan testejä, joissa Ukrainan infrastruktuuria käytettiin Krimin sodan jälkeen testialustana Venäjän kybersuorituskyvyn kehittämiseen.



Kuva 1. Vasemmalla Boeing C-17 (Wikimedia Commons/Cory W. Watts CC2.0) ja oikealla Xian Y-20 (Wikimedia Commons/L. G. Liao CC3.0, kuva käännetty vaakatasossa).

Kybersuorituskyky toimintaympäristön muokkaajana

Kybersuorituskyky vaikuttaakin sopivan paremmin toimintaympäristön muokkaamiseen kuin pelotteen viestimiseen. Muokkaamisella pyritään esimerkiksi vaikuttamaan kansainväliseen politiikkaan pyrkimällä tietoverkkotiedustelun keinoin hankkimaan tietoa eri valtioiden johdon suhtautumisesta eri kysymyksiin. Saatua arkaluontoista tietoa voidaan myös pyrkiä vuotamaan julkisuuteen esimerkiksi pyrkien vaikuttamaan vieraan valtion vaalitulokseen. On myös viitteitä siitä, että tietoverkkotiedustelua on käytetty osana muita vakoi- lun keinoja hankkimaan yritysten ja puolustusteollisuuden suunnitelmia ja teknisiä dokumentteja. Näitä hyödyntämällä on voitu kehittää omia vastaavia järjestelmiä ja säästää kehityskustannuksissa ja siihen vaadittavassa ajassa. Tällä tavalla pyritään kaventamaan teknologista ylivoimaa vastapuoleen. Esimerkiksi Yhdysvaltojen Boeing C-17 -sotilaskuljetuskoneen ja Kiinan Xian Y20 -sotilaskuljetuskoneiden välinen yhdennäköisyys on hyvin merkittävä, vaikka mitään varsinaista vakoi- lua ei voidakaan aukottomasti todistaa. (Kuva 1)

Kybersuorituskyvyn rajoitteet

Monet niin kutsutuista nollapäivähaavoittuvuuksista ovat kertakäyttöisiä. Nollapäivähaavoittuvuudella tarkoitetaan aiemmin tuntematonta haavoittuvuutta, johon ei ole kehitetty vastakeinoja. Ohjelmistovalmistajat pyrkivät tukkimaan ilmi tulleet haavoittuvuudet päivityksin, jolloin nollapäivähaavoittuvuuksista saatu etu katoaa. Lisäksi jos vastapuolelle jää riittävät jäljet haittaohjelmasta, he voivat selvittää, miten se toimi ja hyödyntää tarvittaessa itse samaa hyökkäyskeino- a. Uusien nollapäivähaavoittuvuuksien löytäminen vaatii paljon resursseja ja aikaa. Lisäksi monet kyberoperaatiosta itsessään vaativat paljon aikaa valmisteluun. Tämä ei toki pois sulje sitä, että osaava hyvin resursoitu joukko ei voisi toteuttaa kyberoperaatiota lyhyessäkin ajassa, varsinkin jos heidän kohteensa tieto- ja kyberturvallisuuskäytännöt eivät ole ajan tasalla. Rikolliset pyrkivätkin usein löytämään mahdollisimman pehmeitä kohteita, jotta he voisivat minimoida

rikokseen käytettävän ajan ja maksimoida siitä saatavan taloudellisen hyödyn, esimerkiksi kohdentamalla kiristys- haittaohjelmia mahdollisimman moneen heikkoon kohteeseen samanaikaisesti.

Kriittisen infrastruktuurin suojaaminen

Kriittistä infrastruktuuria ylläpitävien yritysten määrä on yhteiskunnassa merkittävä. Tämän lisäksi viranomaisten riippuvuus alihankkijoista ja sotilasorganisaation ulkopuo- lisista osajista on kasvamassa. Yrityksillä ei kuitenkaan ole vastaavanlaisia mahdollisuuksia puolustautua valtiollisen toimijan kyberhyökkäystä vastaan. Jo pelkästään lainsäädän- töön ja toimivaltuuksiin liittyvät tekijät rajoittavat yritysten mahdollisuuksia ja keinovalikoimaa puolustautua. Toden- näköisesti myös yrityksen liiketoiminnan kannalta panostus varautumiseen ei useinkaan ole ensisijaista. Panostuksien kyberturvallisuuteen ei koeta tuottavan osakkeenomistajille samanlaista tulosta verrattuna esimerkiksi markkinointipa- nostuksiin tai tuotekehitykseen.

Edellä mainitut tekijät vaativat, että viranomaisten ja avaintoi- mijoiden välistä yhteistyötä kehitetään jatkuvasti. Tilanneku- vaa pitää pystyä jakamaan tehokkaasti viranomaisten ja mui- den avaintoimijoiden välillä, jolloin laaja-alaisten hyökkäysten vaikutuksia voidaan rajoittaa. Eri viranomaisten vastuualueita ja toimivaltuuksia olisi tärkeää selkeyttää päivittämällä lainsäädäntöä ja harjoittelemalla yhteistoimintaa. Informaatiotilasta taistelu on merkittävä tekijä jo nyt, ja sen merkitys todennä- köisesti korostuu jatkossa. Tällä voi olla yllättäviäkin seurauk- sia mihin kohteisiin kyberoperaatioilla pyritään vaikuttamaan tulevaisuudessa. Esimerkiksi mediatalojen tietojärjestelmät saattavat muodostaa uhkatoimijoille entistä houkuttelevam- man kohteen, joiden avulla voidaan pyrkiä vaikuttamaan yh- teiskunnan vakauteen ja taistelutahnoon.

Kirjoittaja:

Psykologian tohtori Toni Virtanen toimii tutkijana Puolustus- voimien tutkimuslaitoksen toimintakykyosastossa sotilaspsy- kologian tutkimusallalla ja on erikoistunut kybersodankäynnin psykologisiin ilmiöihin.

Uudenlaisia ratkaisuja materiaaliseen varautumiseen – sota-ajan huoltovarmuuden turvaaminen



(Kuva: Jonas Förrare)

Maailma on muuttunut viime vuosien aikana merkittäväällä tavalla. Ensin koronaviruspandemia ja sitten muuttunut maailmanpoliittinen tilanne ovat haastaneet meitä miettimään huoltovarmuutta ja varautumista uudella tavalla. Perinteiset mielikuvat huoltovarmuudesta liittyvät materiaaliseen varautumiseen, mutta nykypäivän huoltovarmuuteen kuuluu olennaisena osana myös yhteiskunnan resilienssi, kyky palautua häiriöistä. Perinteisen varmuusvarastoinnin rinnalle tarvitaan uusia ja innovatiivisia, joustavaa varautumista tukevia ratkaisuja.

Yhteistyö eri sektoreiden ja toimijoiden välillä tärkeää

Globaalit häiriötilanteet ovat osoittaneet, että kyky omavaraiseen toimintaan on monelta osin kriittisen tärkeää. Varmuusvarastot antavat aikaa toiminnan sopeuttamiseen häiriötilanteissa mutta eivät poista riippuvuuttamme globaaleista tuotantoketjuista. Yksi materiaallisen valmiuden kehittämisen

tavoitteista on vähentää tätä riippuvuutta. Omavaraisuutta joidenkin kriittisten tuotteiden suhteen voivat olla esimerkiksi tuotantovaraukset kotimaassa tai muulla tavoin tuotantokyvyn rakentaminen poikkeuksellisten tilanteiden varalta. Perinteisen varmuusvarastoinnin rinnalle tarvitaan lisäksi uusia ja innovatiivisia, joustavaa varautumista tukevia ratkaisuja.

Ennakoivien, skenaariotyöhön perustuvien toimenpiteiden lisäksi tarvitaan valmiutta toimintaan nopeasti kehittyvissä häiriötilanteissa. Kaikkiin uhkiin on mahdotonta varautua etukäteen, vaan pitää olla kykyä nopeisiin kehitysratkaisuihin. Tässä auttaa monipuolisen yhteistyöverkoston pitäminen aktiivisena paitsi kansallisesti myös kansainvälisesti.

Yhteistyön koordinointi on verkoston ylläpitämisen osalta tärkeä tehtävä, jonka osalta on tarkennettava huoltovarmuustoimijoiden rooleja. Yhteistyön ulottaminen laajasti eri sektoreiden ja toimijoiden välille parantaa entisestään

varautumisen tasoa. Huoltovarmuustoiminnan yksi perustehtävistä on edistää tämänkaltaista yhteistyötä.

PIDE-projekti hyvä esimerkki

Projekti muovista valmistettujen pipetinkärkien puhdistamiseksi (PIDE-projekti) on erinomainen esimerkki kehitysyhteistyöstä, jossa yhdistyivät ymmärrys toimintaympäristön tilannekuvasta, innovatiivinen ajattelu ja osaamisverkostojen hyödyntäminen. Haasteena oli terveydenhuollon tarvikkeiden saatavuus, ja siihen saatiin kehitettyä nopealla aikataululla toimiva ratkaisu. Pipetinkärjille tehtiin kemiallinen, fyysikaalinen, mekaaninen ja mikrobiologinen laadunvarmistus, jossa todettiin niiden olevan toimivia ja puhtaita. Kertakäyttöisten tuotteiden puhdistamisella uudelleenkäyttöön voitaisiin turvata kriittisten laboratoriotoimintojen jatkumisen äärimmäisessä hätätilanteessa. Projektin kansainvälinen jatkokehitys on luonut onnistuneesti edellytyksiä Suomen ja Ruotsin väliseen varautumisyhteistyöhön. Projekteissa tehty työ ja tulokset puhdistustoiminnassa tukevat kansallista huoltovarmuutta ja materiaalista kyvykkyyttä merkittäväällä tavalla. Tätä kyvykkyyttä tullaan kehittämään myös tulevaisuudessa eteenpäin ja soveltamaan eri sektoreiden varautumisessa.

Yhteiskunnan ja infrastruktuurin muutos

Suomalainen yhteiskunta ja sen infrastruktuuri on muuttunut merkittävästi sitten toisen maailmansodan. Teknologiakehitys on ollut huima, mutta toisaalta yhteiskunnan kriittiset toiminnot ovat samaan aikaan herkemmin haavoittuvia, koska niiden ylläpito vaatii yhä monimutkaisempia analyysejä, datankäsittelyä ja varaosia. Lisäksi varsinkin viimeisen 50 vuoden aikana yritykset ovat tehostaneet tuotantoaan ja siirtäneet toimintojaan halvempien tuotantokustannusten maihin. COVID-19-pandemia osoitti, kuinka riippuvainen suomalainen yhteiskunta on tuontituotteista. Terveystieteiden ei pandemiatilanteessa selviä ilman terveydenhuollon henkilökuntaa suojaavia hengityksen-suojaimia ja muita suojaruosteita. Toisaalta erityisesti potilashoidossa käytetään paljon kertakäyttöistä muovimateriaalia.

HEDE, PIDE ja PIDE-FISE

Suomessa toteutettiin COVID-19-pandemian (2020–2022) aikana hengityksensuojainten dekontaminaation (HEDE) ja pipetinkärkien puhdistuksen (PIDE) projektit, joilla osaltaan pyrittiin turvaamaan terveydenhuoltoa. Huoltovarmuuskeskus ja sosiaali- ja terveysministeriö (STM) rahoittivat ja Puolustusvoimien tutkimuslaitos (PVTUTKL) johti hankkeet.

Osaaminen pipetinkärkien puhdistamiseksi siirrettiin PIDE-FISE-hankkeessa Ruotsin eläinlääkintäinstituuttiin (Statens Veterinärmedicinska Anstalt, SVA) vuoden 2022 aikana. Yhteistyössä SVA:n kanssa lääketieteellisessä diagnostiikassa käytettyjen pipetinkärkien puhdistusmenetelmää kehitettiin edelleen molemmissa maissa hyödynnettäväksi.

Nykylääketieteessä potilaiden hoito perustuu erilaisten veri- ja muiden näytteiden analysointiin, ja tulosten perusteella päätetään tarvittavat hoitotoimenpiteet. Kertakäyttöisten hengityksensuojainten tuotanto ja sairaalalaboratorioissa käytettävien pipetinkärkien ja muiden kertakäyttöisten muovituotteiden saatavuus häiriintyi pandemian aikana, mikä aiheutti vakavan uhan terveydenhuollolle. Myös päivittäiselektroniikan saatavuus vaikeutui merkittävästi pandemian aikana maailmanlaajuisen komponenttipulan vuoksi.

Toimivan verkoston ominaisuuksia

Verkostolla tulisi myös tulevaisuudessa olla taho, joka pystyy käynnistämään sen nopeasti. Kertyvä tieto kriittisten tuotteiden uhkakuvista raaka-aineiden saatavuudessa ja valmistuksessa tulisi yhdistää varhaisvaroituksena verkostotoiminnan päätöksentekoon. Verkoston tulisi kattaa myös kriittisten tuotteiden loppukäyttäjät sen varmistamiseksi, että esimerkiksi uudelleen käytettäväksi puhdistetut kertakäyttötuotteet tai uudet kehitetyt tuotteet saadaan nopeasti integroitua logistisiin prosesseihin ja käyttöön sinne, missä niistä on eniten pulaa. On myös keskeistä valmistautua materiaalivarautumista koskevien uhkakuvien ennakoivaan tiedottamiseen kertoen niin uhkakuvista kuin ratkaisuista, jotta viestinnän puutteellisuus ei muodosta estettä nopeiden, innovatiivisten ratkaisujen kehittämiselle ja käyttöönnotolle. PIDE-projektin jatkokehitys Suomen ja Ruotsin välillä (PIDE-FISE) on ollut onnistunut ja se on luonut edellytyksiä kahdensivuliseen varautumisyhteistyöhön myös tulevaisuudessa. Projektissa tehty työ ja tulokset puhdistustoiminnassa tukevat kansallista huoltovarmuutta ja materiaalista kyvykkyyttä merkittäväällä tavalla. Tätä kyvykkyyttä tullaan kehittämään eteenpäin ja soveltamaan eri sektoreiden varautumisessa.

HEDE ja PIDE

HEDE- ja PIDE-hankkeet toteutettiin 2,5 kuukauden ja 6 viikon projekteina, joiden aikana luotiin kyky puhdistaa hengityksen-suojaimia ja pipetinkärkiä suuren mittakaavan prosesseina.

Hankkeet ovat erinomainen esimerkki kehitysyhteistyöstä, jossa yhdistyivät ymmärrys toimintaympäristön tilannekuvasta, innovatiivinen ajattelu ja osaamisverkostojen hyödyntäminen. Kokemuksista kuitenkin todettiin, että käytännössä nopeaa monialaista ongelmanratkaisun toimintatapaa voidaan hyödyntää tehokkaasti äkillisissä häiriötilanteissa vain, jos tärkeimpien mahdollisten hyödyntäjäorganisaatioiden välille luodaan normaalioloissakin toimiva, tiedonkulun varmistava ja nopeaan päätöksentekoon pystyvä verkosto.

Avainasemassa HEDE- ja PIDE-hankkeissa olivat Puolustusvoimat, VTT, yliopistot (LUT, LAB, HY), sairaanhoitopiirit ja sairaalalaboratoriot toteuttajana sekä Huoltovarmuuskeskus (HVK) ja Sosiaali- ja terveysministeriö (STM) rahoittajana. Puolustusvoimissa otettiin vastaan erityinen rooli johtaa hankkeet, mikä rauhan aikana oli toteutettavissa. Sodan aikana johtaminen kuuluisi muulle kykenevälle taholle, joka rauhan aikana olisi sellaiseksi tunnistettu.

Ruotsin tilanteesta COVID-19:n aikana ja muutos SVA:n tehtävissä

Ruotsissa COVID-19-pandemian aikana koettiin materiaalien toimituksissa vaikeuksia niin terveydenhuollossa kuin laboratoriotoiminnassa. PCR-massatestauksen alkaessa keväällä 2020 kohdattiin tilanne, jossa näytteenoton ja itse PCR-analyysin välineitä ei ollut saatavilla tarvittavia määriä. Syksyllä 2020 oli puutetta pipetinkärjistä, joita käytettiin PCR-testauksessa.

SVA koki keväällä 2020 historiallisen nopean muutoksen, kun sille annettiin tehtäväksi tukea terveydenhuoltoa COVID-19-näytteiden testauksella. Vain viikossa SVA perusti organisaation, jonka tehtäväksi tuli käsitellä ja diagnosoida covid-näytteitä, joita tuli eri alueilta Ruotsista. Logistiikka ja huoltovarmuus eivät kuitenkaan olleet nopeaan muutokseen valmiita. COVID-19-massatestaus sattui myös yhtäaikaaisesti SVA:n vastuualueiden muiden haasteiden kanssa, kuten salmonellatapausten lisääntyminen sikatiloilla ja erittäin patogeenisen lintuinfluenssan leviäminen Etelä-Ruotsissa. Tällaisten samanaikaisten tilanteiden hallinta vaatii huoltovarmuuden näkökulmasta, että laboratoriomateriaalia on varmasti saatavilla.

Pandemian aikana SVA raportoi jatkuvasti PCR-testauksessa tarvittavien välineiden tilannekuvasta. Pandemiaa ja sen maailmanlaajuisia vaikutuksia samoin kuin ilmastokriisiä tuli katsoa turvallisuuspoliittisesta näkökulmasta. Pandemian vaikutukset ja turvallisuuspoliittinen tilanne Pohjois-Euroopassa oli otettava huomioon huoltovarmuuden suunnittelussa.

Kokonaismaanpuolustus

Ruotsissa aktivoitui kokonaismaanpuolustuksen uudelleen rakentaminen. Sotilaallista ja siviilipuolustusta kasvatettiin, ja siviiliviranomaiset, kuten SVA, saivat kansallisen tehtävän näihin liittyen. Vuosina 2021–2025 osatavoitteena siviilipuolustuksella on kehittää siviili- ja sotilassectoreiden yhteistyötä ja toisaalta myös huoltovarmuutta. Pohjoismainen yhteistyö on myös tärkeätä, ja maiden kesken on riippuvuuksia, mitä tulee logistiikkaan ja huoltoon. SVA:lle yhteistyö Suomen vastaavien viranomaisten kanssa on tärkeätä.

PIDE-FISE SVA:n näkökulmasta

SVA:n asiantuntijoiden vierailtua Suomessa PIDE-projektin pilottilaitoksessa kesäkuussa 2021 Ruotsin yritys- ja innovaatioministeriö lähetti Sosiaali- ja terveysministeriölle tukipyynnön. Pyyntö johti lopulta muodolliseen sopimukseen tiedonvaihdesta Puolustusvoimien ja SVA:n välillä PIDE-projektiin liittyen. Uusi projekti sai nimekseen PIDE-FISE. SVA oli pandemian aikana säästänyt pipetinkärkiä projektissa puhdistettavaksi. Maaliskuun 2022 loppuun mennessä SVA oli tehnyt 324 556 COVID-19-analyysia. PIDE-FISE-projektin aikana SVA puhdisti 11 000 pipetinkärkeä ja optimoi käytettyä

kemiallista puhdistusmenetelmää aina 1000 mikrolitran pipetinkärjistä 20 mikrolitran pipetinkärkien puhdistamiseen. SVA:ssa on pipetinkärjille tehty kemiallinen, fysikaalinen, mekaaninen ja mikrobiologinen laadunvarmistus. Tehdyn riskiarvioinnin pohjalta on pilottilaboratorion bioturvallisuudesta huolehdittu liittyen kärkien siirtämiseen, logistiikkaan ja käsittelyyn. Kokonaisuutena SVA:n valmiutta on projektin aikana kehitetty. Kahdenvälinen FISE-yhteistyö johti tämän pilottilaboratorion kehittämiseen, ja osapuolten kesken on pidetty kaikkiaan neljä kahdenvälistä, monipäiväistä työkokousta Ruotsissa ja Suomessa.

Kriittinen tarve vaihtoehtoisille ratkaisuille SVA:ssa

Silloin kun rutiinimenettelyt tarvittavan materiaalin saamiseksi eivät toimi, tarvitaan vaihtoehtoisia menetelmiä ja suunnitelmia. Vaihtoehtoja on löydettävä vaikean tilanteen ratkaisemiseksi. PCR-analyysien lopettamisen sijaan vaihtoehtona pipetinkärkien osalta SVA:ssa oli niiden puhdistaminen ja uudelleenkäyttö. HEDE- ja PIDE-projekteissa toteutettiin yksi malli käytännöllisen tarpeen ratkaisemiseksi. Tarvittiin nopeita päätöksiä ja päättävää toimintaa taloudellisten, henkilö- ja materiaaliresurssien säilyttämiseksi. Kriisissä on voitava tehdä muutoksia totuttuun toimintatapaan.

Innovaatioiden soveltaminen huoltovarmuuteen on osoittautunut hyväksi täydentäväksi menettelyksi muiden toimien rinnalla. Toiminta on vaatinut rohkeutta, tahtoa ja luottamusta. Verkosto, jolla on myönteinen yhteistyö- ja vuorovaikutuskulttuuri, on tärkeä tekijä huoltovarmuuden edistämiseksi. PIDE-FISE-yhteistyön tulokset ja kokemukset siitä ovat arvokkaita, kun kehitetään muita menetelmiä huoltovarmuuden tukemiseksi ja kun on tarve vastata uhkaan ja riskihin nopeasti monen eri sektorin ja kahdenvälisellä yhteistyöllä.

Miksi Puolustusvoimat osallistui? Onko jotakin muuttunut?

HEDE-projektin aikana oli kysymys kriisistä keväällä 2020. Puolustusvoimilla oli omaa tutkittua tietoa puhdistusmenetelmästä, joka soveltuisi myös hengityksensuojainten puhdistamiseen. Puhdistuslaitteitakin oli hankittu, kun taas infrastruktuuri piti suunnitella alusta, sillä sitä ei ollut. Puolustusvoimien tutkimuslaitos käskettiin toteuttamaan tehtävä, johon oli laadittu suunnitelma ja jota varten oli koottu konsortio. Puolustusvoimien muut tahot, kuten Logistiikkalaitos ja Porin Prikaati tukivat. 12 päivää käskyn saamisen jälkeen Puolustusvoimien tutkimuslaitokselle oli perustettu yli 100 m pitkä puhdistuslinjasto sairaalateltoista ja puhdistuskontista sekä laadittu ohjeet pilotin toimintaan. Perustetussa laitoksessa työskenteli noin 30 henkilöä.

Puolustusvoimien toiminta ratkaisi kriisin. Laitoksessa pystyttiin todistetusti puhdistamaan hengityksensuojaimia ve-



PIDE-FISE -hankkeen työryhmä yhteiskuvassa SVA:n rakennuksen edustalla Uppsalassa. (Kuva: Rodrigo F. Stoeהל)

typeroksidihöyryä käyttäen. Kapasiteetti olisi ollut riittävä Suomen tarpeisiin. Suojaimia ei otettu kuitenkaan käyttöön lainsäädännön estäessä kertakäyttöisten suojaimien uudeleen käyttämisen.

Tämän jälkeen tuli PIDE-projekti, joka sekin oli Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen johtama. Ja vielä sen jälkeen PIDE-FISE -tiedonvaihto Ruotsin eläinlääkintäinstituutin kanssa. Olisikohan jollakin muulla taholla yhteiskunnassa ollut valmiutta projektien johtamiseen? Projektien konsortiot koostuivat osaavista tahoista, kuten VTT, yliopisto ja ammattikorkeakoulu Lappeenrannasta, Helsingin yliopisto, eräät sairaalalaboratoriot ja sairaalapiirit, Ruokavirasto, SVA, Puolustusvoimien tutkimuslaitos ja Sotilaslääketieteen keskus. Tutkimusosaaminen ja laadunvarmistus olivat hankkeiden onnistumiselle erittäin tärkeitä.

Ei voitane sanoa, ettei Puolustusvoimat enää ikinä vastaavaa tee. Oikeastaan tarinan opetus on siinä, että yhteiskunnassamme pitäisi olla etukäteen luotu kyky ja konseptit innovatiiviseen huoltovarmuutta tukevaan toimintaan silloin, kun sitä kriisissä tarvitaan. Mainitut, aiemmin toteutetut hankkeet toimivat konseptin mallina, mutta mitä ilmeisemmin johtovastuun olisi siirryttävä muulle toimivaltaiselle viranomaiselle. Toinen tarinan opetus on, että Suomesta ja yhteistyössä Ruotsin kanssa löytyy todistetusti hyödynnettävää osaamista sota-ajan huoltovarmuuden turvaamiseen.

Kirjoittajat:

Joni Metsola, ETM, työskentelee Huoltovarmuuskeskuksessa vanhempana varautumisasiantuntijana. Hän toimi PIDE- ja PIDE-FISE-hankkeissa yhteyshenkilönä.

TkT Katri Laatikainen toimii apulaissastonjohtajana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksella. Hän toimi PIDE-hankkeessa koordinaattorina.

Dr Rickard Knutsson on Ruotsin eläinlääkintäinstituutin (SVA) väestönsuojelu- ja kriisivalmiusanalyysin (CFK) operatiivipäällikkö. Hän toimi yhteyshenkilönä PIDE-FISE-projektissa.

Joakim Nordblom, BAC on Ruotsin eläinlääkintäinstituutin (SVA) tiedottaja. Hän toimi tiedottajana PIDE-FISE-projektissa.

Dr Lennart Melin työskentelee Ruotsin eläinlääkintäinstituutin (SVA) väestönsuojelu- ja kriisivalmiusanalyysin (CFK) valtioneläinlääkärinä. Hän työskenteli teknisenä johtajana PIDE-FISE projektissa.

Anna-Karin Theelke työskentelee Ruotsin eläinlääkintäinstituutin (SVA) väestönsuojelu- ja kriisivalmiusanalyysin (CFK) biolääketieteellisenä analyytikkona. Hän työskenteli PIDE-FISE-projektissa teknisenä apulaispäällikkönä.

Ola Norman työskentelee Ruotsin eläinlääkintäinstituutin (SVA) väestönsuojelu- ja kriisivalmiusanalyysin (CFK) kriisivalmiusteknikkona. Hän työskenteli yhteyshenkilönä PIDE-FISE-projektissa.

TkT Ilpo Kulmala työskentelee Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:ssä johtavana tutkijana. Hän toimi HEDE-hankkeessa teknisenä asiantuntijana, PIDE-hankkeessa laadunvarmistuksen johtajana ja osallistui PIDE-FISE-hankkeeseen.

Professori Markku Mesilaakso, FT, toimii Räjähde- ja suojelutekniikkaosaston johtajana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksessa. Hän toimi HEDE-hankkeessa puhdistuslaitoksen johtajana, PIDE-hankkeessa pilotlaboratorion johtajana ja PIDE-FISE-hankkeessa yhteyshenkilönä.

Ukraina, Venäjä ja CBRN-uhka



Sotilaita suojarusteissa. (Kuva: Sirpa Korpela)

Joukkotuhoaseiden eli CBRN-aseiden (chemical, biological, radiological and nuclear weapons) uhka on koko Ukrainan sodan ajan näyttäytynyt otsikoissa ja osapuolien keskustelussa. Kemiaallisten ja biologisten aseiden käytöstä Ukrainassa ei ole merkkejä. Venäjän puolustusministeri on esittänyt ilman mitään todisteita väitteitä siitä, että Ukraina suunnittelee käyttävänsä likaista eli radiologista pommia. Lisäksi uusi asia Ukrainan sodassa on ollut ydinlaitosten jääminen sodan jalkoihin ennennäkemättömällä tavalla. Venäjä jatkaa ydinaseilla uhkailuaan.

Zaporizžjan ydinvoimalaitoksen tilanne

Toistaiseksi suurin konkreettinen uhka liittyy yhä jatkuvaan tilanteeseen Zaporizžjan ydinvoimalaitoksella, vaikka radioaktiivisilta päästöiltä onkin siellä vielä vältytty. Venäjän joukot ovat miehittäneet laitosta 4.3.2022 alkaen ja käyttäneet sitä sotamateriaalin varastoimiseen. Voimalaitosalueella tulitettiin ensimmäisen kerran valtauksen yhteydessä. Sittemmin voimalaitosta ja sen ympäristöä on tulitettu useaan

otteeseen, mistä molemmat osapuolet syyttävät toisiaan. Länsimaat ja kansainväliset järjestöt ovat ilman vaikutusta toistuvasti tuominneet hyökkäykset, ilmaisseet huolensa tilanteesta ja kehottaneet molempia osapuolia pidättäytyä.

Varsinainen voimalaitos on kärsinyt vain rajallisia vaurioita, mutta useat apurakennukset ja laitoksen yhteydet sähköverkkoon ovat vaurioituneet toistuvasti. Tätä kirjoitettaessa Zaporizžjan kaikki reaktorit ovat sammutettuina, mutta sähkönsyötön ongelmat aiheuttavat huolta, sillä ydinpolttoainetta on jäähdytettävä aktiivisesti vuosien ajan sen käytön lopettamisen jälkeen. Ulkoisen sähkönsyötön katketessa, kuten on tapahtunut jo useaan kertaan, laitos pärjää dieselgeneraattoriensa tuottamalla sähköllä, kunhan niille on polttoainetta saatavilla. Täydellisessäkin sähkönsyötön menetyksessä kestää päiviä tai viikkoja ennen kuin polttoaine vaurioituu. Sähkönsyötön ja kineettisen vaikuttamisen lisäksi huolenaiheena on tilanteen kroonisuus: Yksittäin tarkasteltuna vähäisten vaurioiden ja ongelmien kasautuminen, lai-

toksen normaalin toiminnan ja huollon vaikeutuminen ja henkilökunnan poikkeuksellinen kuormituksen jatkuminen voivat lopulta johtaa onnettomuuteen.

Monet mediausunnnot mahdollisen onnettomuuden seurauksista ovat olleet liioiteltuja. Käsitys onnettomuuden vaikutuksista on mahdollista saada esimerkiksi Säteilyturvakeskuksen raportista A268 (2022), joka käsittelee Suomessa tapahtuvan ydinvoimalaonnettomuuden seurauksia. Säteily-sairaus olisi raportin vakavimmassakin skenaariossa mahdollinen enintään parin kilometrin päässä myötätuulessa päästön aikana. Merkittävästi väestön syöpäriskiä kohottava laskeuma voisi ulottua kymmenien tai jopa satojen kilometrien päähän. Onnettomuuden seuraukset jäisivät todennäköisesti kuitenkin pahinta skenaariota paljon pienemmiksi, ellei voimaa vastaan hyökätä tarkoituksena nimenomaan aiheuttaa vakava päästö. Vuoden 1986 tapainen onnettomuus ei ole mahdollinen Zaporizjassa, muissa Ukrainan nykyisissä ydinvoimaloissa eikä myöskään Tšernobylin suljetulla voimalaitoksella.

Ydinvoimaloiden asemasta sodassa

Keskeisin valtioiden välisissä selkkauksissa sovellettava ydinvoimaloita koskeva valtiosopimusartikla sisältyy vuoden 1949 Geneven sopimusten vuoden 1977 I lisäpöytäkirjaan vaarallisia voimia sisältävien laitosten ja rakennelmien suojaa koskevaan 56 artiklaan. Sekä Venäjä että Ukraina ovat tämän I lisäpöytäkirjan osapuolivaltioita.

Kyseiset laitokset ja rakennukset ovat lähtökohtaisesti aseelliselta vaikuttamiselta suojeltuja rakennuksia. Samoin myös silloin, kun ne olisivat sotilaskohteita, mikäli aseellinen vaikuttaminen saattaisi aiheuttaa laitoksen tai rakennelmien sisältämien voimien purkauksen, josta seurauksena olisi suuria tappioita siviiliväestölle. Näiden laitoksien ja rakennuksien läheisiin sotilaskohteisiin ei saa kohdistaa asevaikuttamista, mikäli rästä toiminnasta voisi aiheutua vaarana olevien voimien purkaus, jonka seurauksena muodostuisi suuria tappioita siviiliväestölle. Vaarallisia voimia sisältävät laitokset ovat rajatut ”patoihin, valleihin ja ydinkäyttöisiin sähkövoimalaitoksiin”, eikä niitä koskevia erityissäännöksiä voida soveltaa laajentaen muihin laitoksiin, vaan näiden mahdollinen suoja rakentuu muille oikeussäännöille.

Artiklassa kielletään vain aseellinen vaikuttaminen näihin laitoksiin ja rakennelmiin, joten se ei kiellä muita mahdollisia vaikuttamistapoja, kunhan näiden vaikutus ei rinnastu asevaikuttamiseen.

Artikla myös sallii tällaisen suojelukohteen puolustamiseksi ja turvaamiseksi tarvittavien sotilaallisten järjestelyjen tekemisen. Tämä ei poista erityissuojelua eikä tee ydinlaitosta ja sen rakennelmia sotilaskohteiksi. Toteutettavien sotilaallis-

ten järjestelyjen koko ja laatu tulee olla rajoitettu ydinlaitoksen ja sen rakennelmien suojelutarpeisiin.

Vihollinen voi kyllä ottaa haltuun ydinlaitoksen ja siihen liittyvät rakennelmat, mikäli tällaisesta toiminnasta ei seuraa vaarallisten voimien purkautumista ja vakavia siviilivahinkoja, jos toiminnasta on sotilaallisille tavoitteille hyötyä. Haltuunottoimet eivät kuitenkaan saa vaarantaa laitoksen turvallisuutta ja johtaa sen tai tukijärjestelmien ja rakenteiden vaurioitumiseen. Miehittäjäjoukot vastaavat ydinvoimaloiden ja niiden alueen turvallisuudesta, ja näitä koskevat myös rajoitteet ja kiellot ydinvoimaloiden käyttämiseen sotilaskohteina tai niiden lähelle rakennettujen sotilaskohteiden suojana.

Julkisten tietojen perusteella Ukrainan tapahtumat ovat olleet valtiosopimusteknisesti niiden harmaalla alueella. Niin kauan kuin onnettomuuksia ei tapahdu, voidaan argumentoida toimien olleen osittain hyväksyttävissä rajoissa.

CBRN-aineet ja -aseet Ukrainan sodassa

Venäjän aloitettua sodan Ukrainaa vastaan on kemiallisista ja biologisista aseista puhuttu ja kirjoitettu Venäjän syyttäessä Ukrainaa näiden aseiden käyttöön valmistautumisesta. Ukraina on puolustautunut väitteiltä ja kertonut väitteiden vain petaavan Venäjälle itselleen oikeutusta näiden aseiden käyttöön. Edellä mainittu ja Venäjän toistuvat viittaukset ydinasevoimaansa ovat todisteena hyökkääjä Venäjän välinpitämättömyydestä kansainvälisistä sopimuksista. Lisäksi Venäjän puolustusministeri on esittänyt väitteitä ilman mitään todisteita siitä, että Ukraina suunnittelee käyttävänsä likaista eli radiologista pommia.

Sodan alkupäivinä Venäjän ulkoministeriö julkaisi Twitter-tilillään tietoja, joiden mukaan Ukraina on pyrkinyt Yhdysvaltain tuella kehittämään biologisia aseita. Venäjä toisti väitteensä Yhdysvaltojen ja Ukrainan salaisesta bioaseohjelmasta myös maaliskuun 11. päivä koolle kutussaan YK:n turvallisuusneuvoston kokouksessa. Kokouksessa Venäjän edustaja esitti, että Ukrainan ja Yhdysvaltojen tavoitteena ohjelmassa on ollut mm. voimistua rutto- ja pernaruttobakteerien taudinaiheuttamiskykyä sekä selvittää mahdollisuuksia käyttää muuttolintuja levittämään tartuntatauteja. YK:n asevalvonta-asioista vastaava alipääsihteeri Izumi Nakamitsu totesi kokouksessa puheenvuorossaan, että YK ei ole löytänyt merkkejä tällaisen bioaseohjelman olemassaolosta. Lännessä Venäjän syytökset on tulkittu sekä tilanteessa odotettuna disinformaatio- ja propagandakampanjana että pahimmillaan valmisteluna sen omaan kemiallisen tai biologisen aseiden käyttöön Ukrainassa. Myös Venäjän ydinaseretoriikka on hyökkäyksen alettua jatkunut, ja ydinaseen uhka onkin vaikuttanut konfliktiin konkreettisesti poliittisten reaktioiden kautta.

CBRN-aseiden käyttöä Ukrainassa ei ole todettu. Vaarallisten aineiden ja tarttuvien tautien osalta löydökset sodassa ovat tähän saakka olleet varsin tavanomaisia taistelukentän havaintoja teollisuuskemikaaleista ja täysin vahvistamatta jääneitä yksittäisiä raportteja tilanteista, joihin on väitetty liittyneen myrkyllisten aineiden käyttöä. Maaliskuun lopussa 2022 raportoitiin, että Venäjän tulitus oli vahingoittanut 50 tonnin vetoista teollisuuden ammoniakkiäiliötä Koillis-Ukrainassa Sumyn kaupungissa, mikä johti asukkaiden suojautumistarpeeseen läheisellä Novoselytsyan asutusalueella. Huhtikuussa Mariupolin taistelujen yhteydessä kaupungin viimeisiä linnakkeita puolustanut Azovin pataljoona raportoi, että Venäjä oli pudottanut droonista makealta tuoksuvaa kemiallista ainetta, joka oli aiheuttanut aineelle altistuneille sotilaille oireita, kuten hengenahdistusta. Venäläisjoukkojen miehittäessä Tšernobylin ydinvoimala-aluetta 24.2.–21.3.2022 lisääntynyt liikenne suoja-alueella johti paikallisiin säteilytasojen nousuihin. Vuonna 2014 Ukrainan viranomaiset menettivät Donbasin alueella kontrollin 1200 säteilylähteeseen. Näiden kohtaloista ei juurikaan ole tietoa, ja väärinkäytöksiäkin on raportoitu. Vuoden 2022 hyökkäyksen lopputulosta voidaan vasta arvailla.

Lännen harjoittamasta sotilaallisesta ja materiaalisesta tuesta Ukrainalle osa on suunnattu CBRN-suojelun kykyjen tukemiseen, kun Ukraina on tällaista tukea pyytänyt. Esimerkiksi EU:n komissio ilmoitti kesäkuussa 2022, että Ukrainaan toimitetaan 11,3 miljoonan euron arvoinen materiaalipaketti EU:n uusista rescEU-hätävarastoista. Se sisälsi mm. 300 000 CBRN-suojapukua, 5600 litraa puhdistusaineita sekä 850 yksikköä erilaisia CBRN-puhdistusvälineitä.

Ukrainan sodasta on otettavissa opiksi se, että CBRN-aineiden ja -aseiden uhka taistelukentällä ei ole missään muodossa väistynyt. Uhkan retoriikka pakottaa taistelukentällä toimivat varautumaan näiden aseiden käyttöön ja aineiden vaikutuksiin. Tämä tarkoittaa varautumista suojavarustein ja ilmaisimin, sekä iskun kohteeksi jouduttaessa toimintakyvyn palauttamisen mahdollistavien järjestelmien, kuten puhdistuskaluston ja -suunnitelmin sekä lääkinällisin kyvyin. Tämä vaatii rahaa, aikaa ja voimavaroja. Pelko näkymättömistä tappavista aineista ympäristössä nakertaa helposti myös henkistä kestävyyttä. Asiallisen, oikean tilannetiedon hankkiminen ja välittäminen, sotilaiden hyvä koulutustaso sekä sopivat suojavarusteet mahdollistavat toiminnan jatkumisen myös jouduttaessa alttiiksi vaarallisten aineiden vaikutuksille. Suomessa nämä asiat ovat Puolustusvoimien näkökulmasta hyvällä mallilla.



Kaasuilmaisin. (Kuva: Nooa Savukoski)

Kirjoittajat:

Tuuli Haataja toimii Puolustusvoimien tutkimuslaitoksessa Räjähde- ja suojelutekniikkaosastossa räjähd- ja joukkotuhoasevaikutukset -tutkimusalan johtajana.

Aarno Isotalo toimii erikoistutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksessa Räjähde- ja suojelutekniikkaosastossa räjähd- ja joukkotuhoasevaikutukset -tutkimusallalla.

Oikeustieteen lisensiaatti Kari T. Takamaa toimii johtavana sotilaslakimiehenä Maanpuolustuskorkeakoulussa Johtamisen ja sotilaspedagogiikan laitoksella.

Professori Markku Mesilaakso, FT, toimii Räjähde- ja suojelutekniikkaosaston johtajana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksessa.

Venäjän aloittama sota Ukrainassa termobaaristen räjähteiden vaikutustutkimuksen kannalta

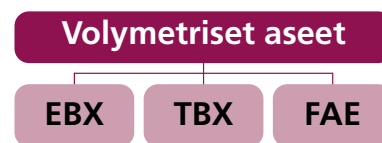
Venäjän ja Ukrainan välinen sota, tai joidenkin lähteiden mukaan sotilaallinen erikoisoperaatio, on tuonut sodan kotitietokoneille ja älypuhelimille sosiaalisen median ja uutismedioiden välityksellä. Internetistä yötä päivää tulviva kuvamateriaali taisteluissa käytetyistä aseista ja niiden tuottamasta tuhovaikutuksesta on aiheuttanut ihmisissä pelkoa ja ahdistusta. Eritoten termobaariset aseet olivat pelon aiheena kevättalvella 2022. Mitä ovat termobaariset aseet ja miten ne toimivat? Miten käytetyn ampumatarvikkeen tyyppin voi arvioida videolla näkyvän tuhovaikutuksen perusteella? Onko termobaarisia aseita tutkittu Puolustusvoimissa?

Termobaariset aseet

Termobaariset aseet eivät ole aivan tuore keksintö vaan niitä on kehitetty jo 1960-luvulta lähtien. Termobaarisia aseita on käytetty mm. talibaneja vastaan niin Neuvostoliiton kuin Yhdysvaltojenkin toimesta. Termobaaristen aseiden skaala on laaja, ja niitä löytyy käsikranaateista ja singon ammuksista aina satojen kilojen lentopommeihin sekä ohjuksiin saakka. Syyriassa ja Ukrainassa on julkisten lähteiden perusteella käytetty ainakin seuraavia termobaarisia aseita: RPO-A Shmel, olalta laukaistava raketti; TOS-1A-rakettinheitin ja ODAB-500-lentopommi. Koska termobaaristen aseiden skaala on laaja, on myös niiden laukaisualustoina käytetyn kaluston määrä kattava. Perinteisten jalkaväkiasien, tykistöaseiden ja lentokoneiden lisäksi termobaariset aseet ovat tulleet miehittämättömien ilma-alusten (UAV) asevalikoimaan.

On olemassa erittäin suuriakin termobaarisia lentopommeja, esim. venäläinen 7 100 kg:n aerosolipommi АББІІМ, joka tunnetaan paremmin nimellä FOAB, ”Father of All Bombs”, tai amerikkalainen 9 800 kg:n termobaarinen GBU-43/B MOAB, ”Massive Ordnance Air Blast” tai ”Mother of All Bombs”. Näiden aseiden operatiivisesta käytöstä on tiedossa ainoastaan yksi MOAB-pommin käyttö Afganistanissa. Nykytaistelukentillä termobaaristen aseiden laajamittainen käyttö rajoittuukin pääasiassa vähemmän massiivisiin aseisiin.

Termobaaristen aseiden luokittelu ja niiden tuhovaikutus



Termobaariset aseet eli ampumatarvikkeet, jotka sisältävät termobaarisia räjähteitä (TBX), ovat yksi alaryhmä volymetristen aseiden otsikon alla. Muita volymetrisiä aseita ovat tehostetun räjähdysvaikutuksen räjähdysaineita (EBX) ja aerosoliräjähdysaineita (FAE) sisältävät ampumatarvikkeet. Volymetristen aseiden tuhovaikutus ei perustu ammuskuorien sirpaloitumiseen ja sirpaleiden aiheuttamiin vammoihin ja tuhoihin, vaan aseiden päävaikutustapa on sen sijaan ympäröivään tilaan leviävä painevaikutus. Volymetrisillä aseilla voidaan vaikuttaa avointen, osittain suljettujen ja sul-



(Kuva: Olga Smolskaja, Wikimedia Commons CC4.0)



(Kuva: Vitaly V. Kuzmin, Wikimedia Commons CC4.0)



(Kuva: Boevaya mashina, Wikimedia Commons CC4.0)

Kuvasarja 1. Esimerkkejä Venäjän termobaarisista aseista. Vasemmalta oikealle RPO-A Shmel, ODAB-500PM ja TOS-1A.

Räjähde	HE	EBX	TBX	FAE
Olomuoto	Kiinteä	Kiinteä	Kiinteä/Neste/Geeli/Jauhe	Neste/Jauhe/Geeli
Käyttää ulkoista happea	Ei/Osittain	Osittain	Osittain/Kyllä	Kyllä
Pistevaikutus	Kyllä	Kyllä	Kyllä/Ei	Ei
Käyttötapa	Sirpaloituvat aseet, yleisesti kaikki	Tunkeutuvat aseet	Tunkeutuvat aseet/Aluevaikutteiset aseet	Aluevaikutteiset aseet
Maksimipaine	Hyvin korkea	Korkea	Korkeahko	Matala
Paineen kesto	Lyhyt	Lyhyehkö	Keskipitkä	Pitkä
Lämpövaikutus	Vähäinen	Vähäinen	Suurehko	Suuri

Taulukko 1. Volymetrinen aseiden tuho vaikutuksen vertailu. Sarake otsikolla HE sisältää perinteisten räjähteiden ominaisuudet.

jettujen linnoitteiden sisään. Linnoitteiden sisälle päästyään volymetrinen aseiden tuho vaikutus tehostuu entisestään, ja paineen aiheuttamien vammojen vakavuus ja todennäköisyys kasvavat.

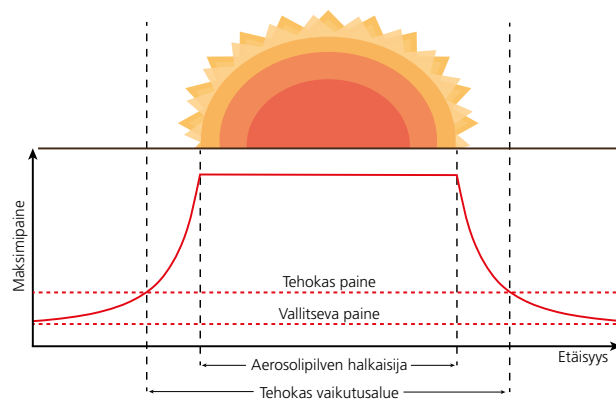
Tuhovaikutuksiltaan kukin näistä kolmesta räjähdelaaryhmästä on erilainen niin toisiinsa kuin perinteisiin sotilasräjähteisiin verrattuna. Näitä eroja on esitetty taulukossa 1. Perinteisiin sotilasräjähteisiin verrattuna volymetriset aseet tuottavat korkeamman lämpövaikutuksen ja pienemmän maksimipaineen, mutta pitkäkestoisemman yli- ja alipaineen. Pidemmän alipainevaiheen takia etenkin FAE-pommeja kutsutaan toisinaan myös vakuumpommeiksi, mutta ylipaine on merkittävästi suurempi vammojen tuottaja. Perinteiset räjähdysaineet tuottavat volymetrisiin räjähteisiin verrattuna voimakkaan pistevaikutuksen panoksen läheisyydessä, mutta paineen lyhyen keston ja räjähdys pienemmän energian vuoksi painevaikutus rajoittuu pienelle alueelle. Volymetrinen aseiden ominaisuuksien arviointi ja vertailu on haastavaa, ja nimitysten käytössä on kulttuurijä ja mielipide-eroja, joten niin kirjallisuudessa kuin alan ammattilaistenkin keskuudessa termien määrittäminen ei ole aina yksiselitteistä.

Asevaikutuksen ja käyttötapausten näkökulmasta volymetriset aseet voidaan jakaa avointen, suljettujen tai puolisoljettujen tilojen tuhoamiseen tarkoitettuihin. Suljettuja tiloja vastaan käytetään pidempään painevaikutukseen optimoituja, yleensä paljon metallia sisältäviä räjähdysaineseoksia (TBX tai EBX), kun taas laaja aluevaikutus saadaan aikaiseksi aerosoliräjähteillä, jotka on tarkoitettu avoimia ja puolisoljettuja suojia vastaan.

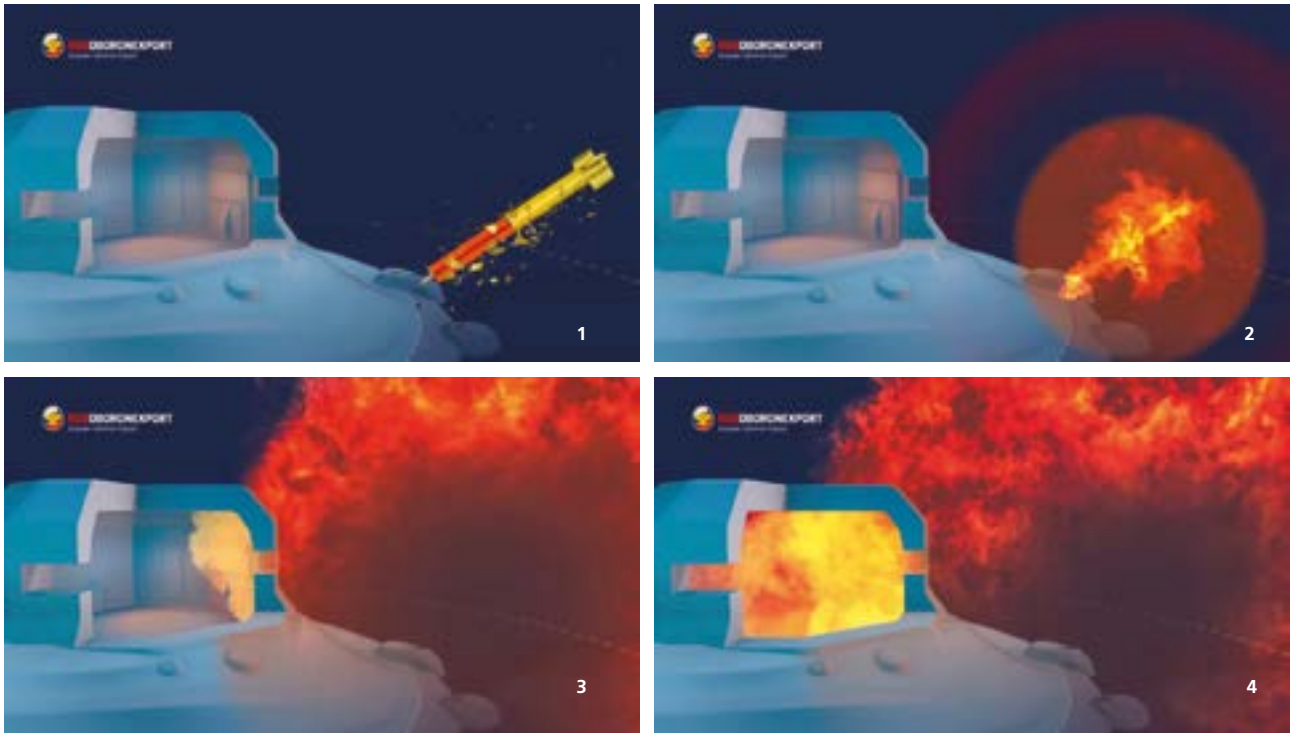
Tehokkaiden sirpaleiden lentoratoja voidaan pitää suorina, ja sirpalevaikutukselta voidaan suojautua melko tehokkaasti erilaisilla kevyillä suojarakenteilla ja kaivannoilla. Paineaalot sen sijaan etenevät seinämien taakse sekä avoimista aukeista suojarakenteiden sisään. Viimeisten kahdenkym-

menen vuoden aikana Yhdysvallat on käynyt sotaa, jossa vihollinen suojautuu usein maanalaisiin bunkkereihin. Jotta näihin voidaan vaikuttaa, tarvitaan aseita, joilla osutaan tarkasti sekä läpäistään vahvoja suojarakenteita ja paksuja maakerroksia, mutta myös aiheutetaan mahdollisimman tuhoisa painevaikutus suljetuissa tiloissa. Tähän tarkoitukseen voidaan käyttää täsmäaseita, joissa on epäherkkiä TBX- tai EBX-räjähteitä.

Venäjä käyttää avoimia ja puolisoljettuja tiloja vastaan mm. aerosoliräjähteitä, koska nestemäinen polttoaine saadaan levitettyä laajalle alueelle ja puolisoljettujen linnoitteiden sisään. Kun polttoaine on levinnyt aerosolipilveksi, ammuksessa oleva viivästetty panos räjäyttää pilven. Räjähtävä pilvi aiheuttaa vakavia vammoja taistelijoille. Painevaikutus on tehokas vielä metrejä pilven ulkopuolellakin (kuva 1). Esimerkkinä tällaisesta aseesta on esitetty TOS-1A:n raketin toimintaperiaate kuvasarjassa 2.



Kuva 1. FAE:n maksimipaine yksinkertaistettuna. (Grafiikka: Johanna Suominen)



Kuvasarja 2. TOS-1A:n raketin toimintaperiaate. (Lähde: YouTube-video/Rosoboronexport)

FÄE-taistelukärjissä on aerosolin levittämisen mahdollistamiseksi vain ohuet metallikuoret, joten taistelukärki ei voi läpäistä suojarakenteita ennen räjähdystä. Aerosolipilvi voi kuitenkin levitä suojan sisään esim. avoimista ovista tai ampuuma-aukoista. FÄE:lta puuttuu myös HE- ja TBX-räjähteille ominainen voimakas pistevaikutus, eikä se mm. jätä merkittävää räjähdyskuoppaa tai räjäytä reikää seinään.

Volymetriset räjähteet, erityisesti FÄE, käyttävät palamiseen ja räjähtämiseen ilmassa olevaa happea, eikä sitä siis tarvitse kuljettaa kemiallisesti sidottuna räjähdysaineen mukana. Ilmasta otetun hapen ansiosta räjähdyksessä on käytettävissä enemmän energiaa verrattuna samanpainoiseen perinteiseen räjähteeseen. Vaikka FÄE ja termobaariset räjähteet polttavat ilmasta happea, tukahduttavaa vaikutusta ei voida pitää merkittävänä, sillä painevaikutus on paljon merkittävämpi.

Lämpötila räjähdysten aikana on erittäin korkea ja pitkäkestoisempi kuin perinteisillä räjähdysaineilla, mutta kuitenkin kohtuullisen lyhytkestoinen. Lämmöllä ei siis saada ihmisiä höyrystettyä tai mitään muutakaan erityisen vakavaa vaikutusta aiheutettua. Herkästi syttyvät materiaalit voivat tietysti syttyä tuleen ja aiheuttaa tulipaloja samalla tavalla kuin perinteisiäkin räjähteitä käytettäessä. Vaikka erityisesti venäläiset kutsuvat volymetrisiä asejärjestelmiään ”liekinheitinjärjestelmiksi”, eivät volymetriset aseet ole polttoaisteluaseita. Tosin samoihin lavetteihin, millä volymetrisiä aseita

ammutaan, on saatavilla myös polttovaikutteisia (*incendiary*) taistelukärkiä.

Räjähdysten aiheuttamat vammat ihmiselle

Volymetristen aseiden lämpövaikutuksen tarkoituksena on aiheuttaa ihmiselle eriaisteisia palovammoja iholle ja silmiin. Painevaikutuksen tarkoituksena on tuottaa ihmiselle mm.

- **keuhkovammat:** keuhkopussit ja keuhkorakkulat vaurioituvat, jolloin keuhkot tai rintaontelo alkavat täyttyä verellä ja täten hapensaanti vaikeutuu aiheutuen tukehtumisen
- **vammat sydämeen ja verenkierron alueelle:** verenkiertoon muodostuu ilmakuplia tai sydämen rytmi häiriintyy, jolloin sydänpysähdys, hermostovaurio tai verisuonitukos on mahdollinen
- **kuulovammat:** tärykalvo puhkeaa, jolloin kuulo väliaikaisesti tai pysyvästi vaurioituu ja tasapainoaisesti häiriintyy
- **suolistovammat:** suoliston verenvuotoa ja suolen puhkeamisen, jolloin sisäinen verenvuoto tai suolen sisällön vuotaminen aiheuttaa tulehduksen tai kuoleman.

Edellä mainittujen paineen aiheuttamien vammojen lisäksi räjähdyspaine aiheuttaa vammoja ihmisen sinkoutumisen ja törmäämisen takia, jolloin vammat voivat olla mitä moni-

naisemmat alkaen mustelmista ja luunmurtumista päättyen jäsenien murskautumiseen ja irtoamiseen. Eikä pidä unohtaa räjähdyspaineen tuottamien heitteiden (kivet, metallinpalat, puunsäleet) aiheuttamia vammoja. Painevaikutuksen aiheuttamat vammat voivat olla hankalia tunnistaa, koska sisäelinvammat eivät todennäköisesti näy päällepäin. Uhri voi näyttää päällisin puolin terveeltä ja olla hyvävointinen, tosin vähän sekava, mutta pahemmissa tapauksissa tuntien tai päivien kuluessa vointi huononee, eikä uhri ole enää toimintakykyinen vaan ilman kunnollista hoitoa menehtyy.

Volymetrinen aseiden käyttö Ukrainan ja Syyrian sodissa

Ukrainan sodasta julkaistiin keuhkokuumeella 2022 video- ja kuvamateriaalia venäläisistä 220 mm:n TOS-1A raskaista raketinheittimistä, jotka käyttävät ammuksinaan 173 ja 214 kg:n FAE-raketteja. Mediassa levisi nopeasti väitteitä siitä, että kyseiset ammukset olisivat niin tuhoivoimaisia, että ne kykenisivät mm. ”imemään ihmisten keuhkoja ulos näiden suista” tai ”höyrystämään kaiken osumakohdalla olevan ilmaan”. Näinhän asia ei tietenkään ole vaan myös FAE-rakettien aiheuttamat vammat ihmisille rajoittuvat aiemmin esitettyihin tyypillisiin vammoihin.

Yhden TOS-1A-raketinheittimen täyden kasetin, 24 raketia, vaikutusalue on julkisten tietojen mukaan 40 000 m², eli yhden raketin vaikutusalue on noin 46 metriä halkaisijaltaan olevan ympyrän kokoinen. PVTUTKL:n tekemä arvio TOS-1A:n rakettien vaikutusalueesta täsmää kohtuullisella tarkkuudella kirjallisuudessa ilmoitettuun tietoon.

Ainakin Syyriassa on käytetty aerosolipommia ODAB-500PM, jonka kokonaismassa on 520 kg, josta 193 kg on räjähtävää polttoainetta. Vaikutusalueen väitettiin olevan jalkaväkeä ja lentokoneita vastaan 60 metriä halkaisijaltaan olevan ympyrän kokoinen ja halkaisijaltaan 50 metriä kaivantoihin tai kevyisiin linnoitteisiin suojautuneita taistelijoita vastaan. Tehon väitetään vastaavan 1000 kg:n TNT:tä. Julkaistujen videoiden perusteella vaikutusalue vaikuttaa todenmukaiselta.

Tuhovaikutusten arviointi julkisten lähteiden perusteella

Viimeaikaisista konflikteista, erityisesti Ukrainan sodasta, on saatavilla runsaasti julkista kuva-, video- ja muuta materiaalia. Näitä lähteitä voidaan hyödyntää asevaikutuksen tutkimuksessa, ml. volymetrinen aseiden käytön ja vaikutusten arvioimisessa. Lähteistä informatiivisimpia ovat videot. Julkaisia lähteitä käytettäessä on kuitenkin aina huomioitava lähteiden mahdollinen epäluotettavuus.

Volymetrisiä (erityisesti aluevaikutteisia) aseita voidaan jollain tarkkuudella tunnistaa visuaalisen tulipallon ominaisuuksien (kesto, koko, kirkkaus, väri) perusteella. Suurikoisten FAE-aseiden levitysvaihe ennen räjähdystä on myös havaittavissa tavanomaisilla kuvanopeuksilla. Räjähdyskuopan puuttuminen voi viitata FAE-taistelukärkeen. Eri aseita ja asejärjestelmiä voidaan tunnistaa paitsi suoran tunnistuksen (kuva räjähtämättömästä aseesta tai räjähtäneen aseesta), myös muiden toiminnallisten ominaisuuksien perusteella, esim. iskunopeuden, tarkkuuden ja iskujen rytmityksen. Kun kohteeseen käytetty ase on tunnistettu, voidaan sen suorituskykyä arvioida. Sen sijaan pelkistä jälkivaikutuksista on melko epäluotettavaa yrittää arvioida käytettyä asetta. Esimerkiksi tulipaloja voi syttyä yhtä lailla termobaarisia kuin sirpaloituvia aseita käytettäessä.

Volymetrinen räjähteiden tutkimus Puolustusvoimissa

Ukrainan sota on osoittanut, että volymetrisiä aseita käytetään nykypäivän sodassa. Niiden toiminta ja suorituskyky on tunnettava, jotta niiltä voidaan suojautua. Volymetriset räjähteet ovat olleet Puolustusvoimissa tutkimuksen kohteena jo 1970-luvun lopulta alkaen. Kokeellisissa tutkimuksissa on testattu Puolustusvoimien linnoitteita, suojatiloja ja -laitteita sekä aerosolipommien että termobaaristen räjähteiden vaikutusta vastaan. Tutkimusta tulee jatkaa nyt ja tulevaisuudessa, jotta kyetään vastaamaan alati kehittyvien volymetrinen aseiden uhkiin.

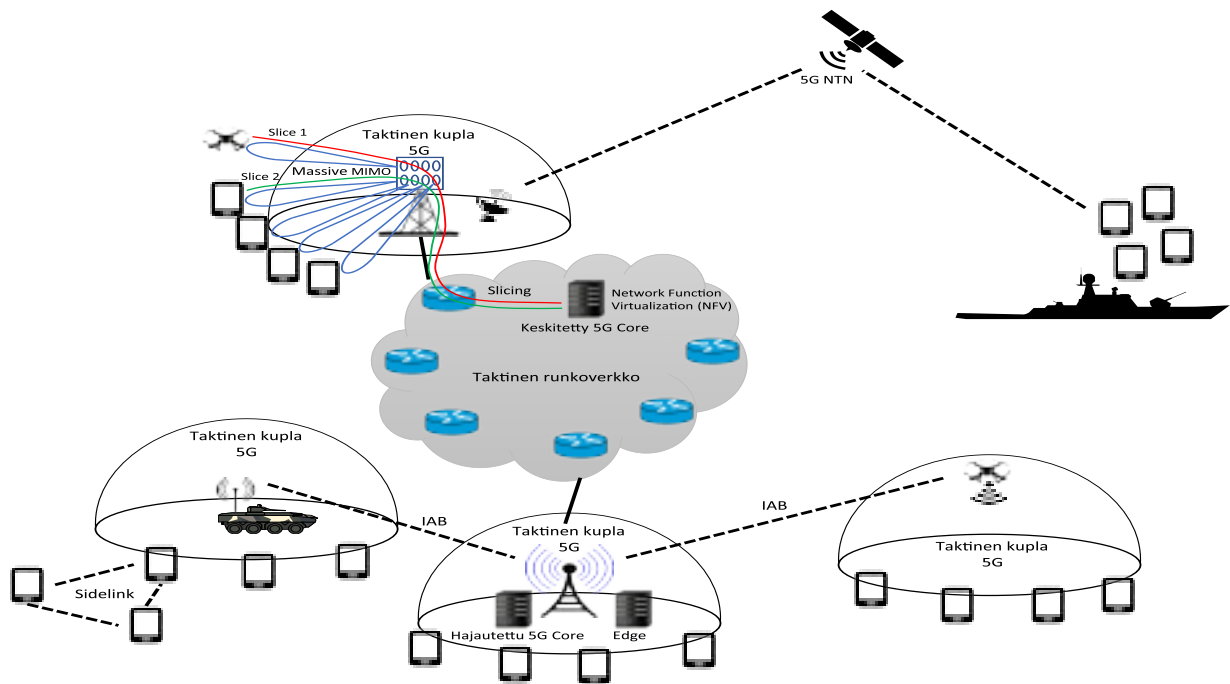
Kirjoittajat:

Diplomi-insinööri Teijo Turpeinen toimii tutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen räjähd- ja suojelutekniikkaosastossa energiateknologien tutkimusosastolla.

Diplomi-insinööri Aleks Kunnari toimii erikoistutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen räjähd- ja suojelutekniikkaosastossa räjähd- ja joukkotuhovaikutusten tutkimusosastolla.

Diplomi-insinööri Oskari Pekkala toimii tutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen räjähd- ja suojelutekniikkaosastossa räjähd- ja joukkotuhovaikutusten tutkimusosastolla.

Tutkimusta 5G:n sotilaallisesta käytöstä



Kuva 1: 5G:n käyttömahdollisuuksia sotilasoperaatioissa. (Grafiikka: Sami Peltotalo)

Kotimaiset matkaviestinoperaattorit ottavat viidennen sukupolven (5th Generation, 5G) matkaviestinjärjestelmää parhaillaan käyttöön. Esimerkiksi Telian 5G-peitto vuoden 2022 lopulla oli 3,7 milj. suomalaista. Radioverkkojen peittoalueissa on vielä runsaasti puutteita, eikä kaikkia 5G-tukiasemia ole vielä edes kytketty 5G-runkoverkkoon. Tämä tarkoittaa 5G-tukiasemien operointia 4G-runkoverkossa toistaiseksi. Kuten aikaisemmissakin matkaviestinjärjestelmissä, 5G:n tutkimus-, kehitys- ja standardointityö jatkuvat 3GPP-järjestössä (3rd Generation Partnership Project). Parastaikaa matkaviestinoperaattorit jalkauttavat 5G-standardin versiota Release 16 (julkaistu vuonna 2020). 3GPP-järjestö julkaisi keväällä 2022 uusimman Release 17 -version 5G-standardista ja jatkaa seuraavan Release 18 -version määrittelytyötä.

Naton tiede- ja tutkimusorganisaation informaatiotekniikkapaneeli päätti vuonna 2020 perustaa monikansallisen tutkimusryhmän selvittämään 5G-teknologian käyttömahdollisuuksia sotilaallisessa viitekehyksessä. Perustettuun tutkimusryhmään IST-187 Research Task Group "5G Technologies Application to NATO Operations" on tätä kirjoitettaessa nimetty 56 kansallista eksperttiä ja osallistujaa

seuraavista maista ja organisaatioista: BEL, CAN, EST, FRA, DEU, ITA, IVA, NLD, NOR, POL, ESP, TUR, ACT, NCIA, CCDCOE, FIN ja SWE. Suomesta tutkimusryhmän toimintaan osallistuvat Pääesikunnan johtamisjärjestelmäosaston ohjauksessa Puolustusvoimien tutkimuslaitos (PVTUTKL), Erillisverkot Oy sekä Oulun yliopisto. Maasotakoulu seuraa tutkimusryhmän työskentelyä.

Tutkimusryhmä tuki keväällä 2022 pidetyn Naton 5G-strategia- ja visio -työpajan järjestelyjä. Työpajan tuotokset on koottu asiakirjaan "Results from the informal workshop on NATO military 5G/Next Generation network vision and strategy", (ACT/CAPDEV/CAP/TT-5421/SER:NU:1045, 25.4.2022). Visio korostaa 5G-teknologian kaikkia yhteiskunnan sektoreita ja toimialoja läpileikkaavaa luonnetta ja odottaa 5G:n nousevan kriittiseksi informaatioinfrastruktuuriksi, jota yhteiskunnan tulee myös suojata – jopa asevoimin. Tästä huolimatta jäsenmaissa ei ole johdonmukaista koottua ja koordinoitua ohjausta 5G:n toteutuksesta, saati suojaamisesta.

Naton vision mukaisesti Nato tulee käyttämään standardien mukaisia turvallisia, turvattuja ja luotettavia, robusteja

ja resilienttejä 5G-verkkoja ja palveluita, jotka mahdollistavat yhteensopivuuden olemassa olevien (siviili- ja sotilas-) ICT-järjestelmien kanssa sekä uudet kehittyvät (Emerging and Disruptive Technologies; EDT) -teknologiat, kuten rekoälyn, koneoppimisen, reunalaskennan ja pilvipalvelut. Vision jalkauttamiseksi laadittu strategia keskittyy neljään toimintalinjaan: teknologioihin, standardointiin ja yhteensopivuuteen, turvallisuuteen ja resilienssiin sekä kumppanuuksiin.

Rinnan Naton hallintokoneiston kanssa jäsenmaiden teollisuuden yhteenliittymä, NATO Industrial Advisory Group (NIAG), laati selvityksen "NIAG Study on 5th Generation International Mobile Telecommunication (IMT) for NATO Operations, NIAG SG 254". Selvitys esittelee standardointiprosessia, palvelujen nykytilaa sekä teknologisia ominaisuuksia ja palveluja. Mielenkiintoista on myös NIAG:n tapa arvioida eri palvelutuotannon muotoja, kuten COCO (Commercially Owned, Commercially Operated) ja GOGO (Government Owned, Government Operated) ja näiden eri hybridi-muotoja [vrt. VIRVE2]. Teollisuuden selvityksessä tarkasteltiin useita sotaa alemman asteisia käyttötappauksia rauhan ajasta kriisinhallintaan. Selvitys toteaa, että vaikka 5G-matkaviestinjärjestelmää ei ole suunniteltu sota-toimia varten, kaupallisesti toimivat 5G-verkot kuitenkin tuottaisivat hyvän peruspalvelutason useimmissa tarkastelluista sotatilan alemman asteisista käyttötappauksista. Tämän perusteella selvitys päättyy suosittelemaan Natolle yksityisten siirrettävien 5G-verkkoratkaisujen käyttöönottoa, sillä parantunut tiedonsiirtokyky, alhaisemmat viiveet, joustava kokonaisarkkitehtuuri sekä palvelun kehittyneempi toimintavarmuus ja turvallisuus olisivat jo nykyisellään merkittävä edistysaskel Naton nykyisiin suorituskykyihin. Selvitys kuitenkin pitää uhkana radiotaajuisen spektrin ruuhkautumista ja jäykkää hallinnointia. Tämän johdosta Naton tulisi jatkaa taajuuksien yhteiskäytön, dynaamisen käytön sekä hallinnan tutkimusta. 5G:n soveltuvuus avoimesti sotilaallisissa käyttötappauksissa ja elektronisen sodankäynnin kohteena tulee tutkia ja arvioida erikseen.

Siviili-ICT-teknologian alueella kansainvälinen konsulttiyhtiö Gartner arvioi 5G:n erityisiksi uusiksi houkutteleviksi piirteiksi edullisemmat verkon operointikustannukset (OPEX), ohjelmistopohjaisten verkkojen ja verkon viipaloinnin mahdollistaman operoinnin joustavuuden, asiakastarpeiden räätälöitävyyden yksityisten 5G-verkkojen kautta, mobiilin reunalaskennan, kehittyvät paikannuspalvelut sekä (autonomisten) ajoneuvojen välisen tiedonsiirron.

Esimerkiksi VTT pitää mainittua ohjelmistopohjaisten verkkojen ja viipaloinnin teknologiaa keskeisenä ominaisuutena taktisten 5G-verkkojen muodostamisessa. VTT näkee, että oma erillinen tai yksityinen 5G:n "Puolustusvoimat-viipale" voisi tuottaa alhaisen viiveen korkealle priorisoidut

laajakaistaiset tiedonsiirtopalvelut asianmukaisin tietoturvallisuusominaisuuksin.

Toisaalla Gartner myös näkee 5G:ssä paljon "hypeä": monet teknisistä ominaisuuksista tarvitsevat teknisiä innovaatioita joko vasta käyttöönottoon etenevässä REL 17 -standardissa tai jopa standardin tulevissa myöhemmissä versioissa. Toisaalta esimerkiksi suurin osa Internet of Things -tyyppisistä (IoT, esineiden internet) palveluista ei tarvitse 5G:tä lainkaan (vrt. esim. LORAWAN). Suuremmat tiedonsiirtonopeudet mahdollistavat millimetrialueen radiotaajuudet ovat kantamaltaan hyvin lyhyitä. 5G-tukiasema jokaisessa katuväläisinpölväässä on aivan toimiva mielikuva. Onko se toimiva ja järkevä investointi Suomen kokoisessa harvaan asutussa maassa, onkin koko lailla toinen kysymys.

Edellä kuvattu ilmentää hyvin, että 5G-teknologiasta on saatavilla runsaasti tietoa, mutta onko se asevoimien tarpeiden kannalta merkityksellistä, tulee arvioida erikseen. Tätä työtä tekee muun muassa mainittu Naton tutkimusryhmä IST-187, jonka tarkastelemia 5G-teknologia-alueita avataan seuraavaksi.

IST-187-tutkimusryhmä

IST-187-tutkimusryhmä sai työnsä juoksevan lähdön, kun työryhmä päätyi käyttämään vuonna 2021 International Conference on Military Communications and Informations Systemsissä julkaistua Naton tietotekniikkalaitoksen julkista konferenssiartikkelia ja sen käyttötappauskuvauksia työnsä lähtökohtana. (Bastos, L; Capela, G.; Koprulu, A.; Elzinga, G., "Potential of 5G technologies for military application", ICMCIS2021, doi: 10.1109/ICMCIS2405.2021.9486402) Artikkelin esittää 5G:n maltillista käyttöä koalition kriisinhallinnan viitekehyksessä. Käyttötappauksia ovat:

- suuri operaatioesikunta operaatioalueella (esim. ISAF HQ)
- taktinen esikunta operaatioalueella (esim. prikaatin esikunta)
- maanpäälliset verkot taktisessa operaatiossa
- ilmassa ja/tai avaruudessa operoitavat verkot taktisessa operaatiossa
- maihinnousu, rannikko-operaatio ja laivastotaisteluosasto merellisessä toimintaympäristössä
- asevoimien kiinteiden toimipisteiden varayhteys
- asevoimien kiinteän toimipisteen sisäiset yhteydet (esim. koulutusluokka/auditorio).

IST-187-töryhmä aloitti työskentelyn korona-aikaan syksyllä 2020, mutta käytännössä työ eteni vaivalloisesti ennen ensimmäistä läsnäkokousta keväällä 2022. Toisilleen täysin tuntemattomien ryhmätyöskentely, joka edellyttäisi tiivistä

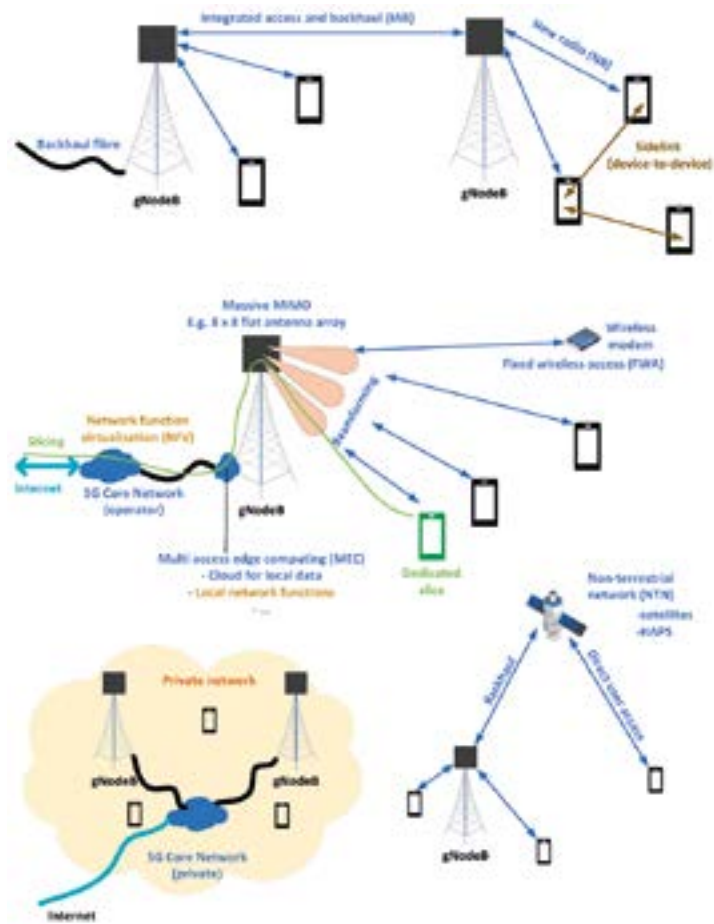
vuorovaikutusta, ei toteudu etäyhteyksin. Kansainvälinen tutkimusyhteistyö tulee jatkossa edellyttämään ainakin tutkimuksen alkuvaiheissa tiivistäkin fyysistä yhteydenpitoa ja kokoustamista. Työn loppuvaiheissa loppuraportin viimeistelyssä etätyöskentelylle saattaa olla sijaa. Lähes 60 osallistujan työryhmä on sisäisesti jakaantunut neljään alatyöryhmään:

1. viipalointi ja reunalaskenta,
2. MIMO ja Full-duplex,
3. Extreme long-range coverage (ml. NTN, UAV, HAPS) sekä
4. turvallisuusominaisuudet.

Suunnitellusti tutkimusryhmä järjesti teemakohtaisen työpajan analysoidakseen valitut käyttötapaukset sotilaallisten suorituskykyjen kehittämisen näkökulmasta. Tutkimusryhmän ainoana sotilaskoulutettuna PVTUTKL:n edustaja fasilitoi työpajan, jossa kukin käyttötapaus arvioitiin ensiksi käyttäen DOTMLPFI-kehikkoa neljästä eri näkökulmasta:

1. 5G-teknologian myönteiset vaikutukset ja mahdollisuudet ko. arviointikohteeseen (esimerkki: 5G:n parantamat tiedonsiirtomahdollisuudet ja siten laadukkaampi ja ajantasaisempi tilannekuva tukevat tehtävätaktista johtamista (D),(O),(L)).
2. 5G-teknologian kielteiset vaikutukset ja reunaehdot ko. arviointikohteeseen (esimerkki: (D)oktrinaalisesti, (O)rganisatorisesti, (M)ateriaalisesti, henkilöstön (P) ja koulutuksen (T) kannalta 5G on uusi teknologia ja uusi järjestelmä, jonka käyttöönotto edellyttää resurssointia kaikilla DOTMLPFI-arviointikohteilla).
3. Ko. DOTMLPFI-kohdan myönteiset vaikutukset ja mahdollisuudet 5G-teknologian käyttöönottoon (esimerkki: ICT-konsepti mahdollistaa jo nykyisin siviili- ja sotilasjärjestelmien rinnakkaiskäytön operaatioympäristöissä A, B ja C).
4. Ko. DOTMLPFI-kohdan kielteiset vaikutukset ja reunaehdot 5G-teknologian käyttöönottoon (esimerkki: "XY" asevoimilla ei ole (M)ateriaalisesti resursseja investoida rinnakkaisiin siviili- ja asevoimien järjestelmiin).

Edellä on kuvattu vain pintapuolisesti ryhmässä ja sen alatyöryhmissä käytyjä intensiivisiä keskusteluja. Ymmärrettävästikin työryhmä jatkaa osallistujamaiden raportoinnin seuranta omista kansallisista elektronisen sodankäynnin kenttäkokeistaan. Työryhmä jatkaa työsuunnitelmansa mukaista toimintaa vuonna 2023 demonstraatioin ja valmistautuu koronan johdosta myönnetyin jatkoajan turvin loppuraportointiin vuoden 2024 kolmannella kvartaalilla.



Kuva 2: 5G:n teknologia-alueet. (Grafiikka: Harri Saarnisaari)

Suomea kiinnostavat 5G-teknologia-alueet

Verrattuna aikaisempien sukupolvien matkapuhelinverkkoihin 5G:ssä on lukuisia teknisiä ominaisuuksia, jotka ovat herättäneet kysymyksen siitä, voisiko 5G-verkot tai ainakin siinä käytetyt tekniset ratkaisut olla sovellettavissa yhtenä rakennuspalikkana myös sotilasverkoissa. Tästä hyvänä esimerkkinä NCI Agency (NATO Communications and Information Agency) on äskettäin liittynyt 3GPP-organisaation jäseneksi. 3GPP on 3G-järjestelmän määrittelytyöstä lähtien ollut keskeinen toimija mobiiliverkkojen standardisoinnissa. NCI Agencyn tavoitteena on tietysti yrittää myötävaikuttaa siihen, että 5G-standardin tulevat kehitysversiot entistä paremmin palvelisivat sotilastietoliikennettä. Vaikutusmahdollisuudet ovat tosin rajalliset, koska käyttäjäh yhteisö on tässä tapauksessa pieni – ”money and business talk”.

Mitkä ovat sitten nämä 5G:n uudet ominaisuudet, jotka herättävät niin suurta mielenkiintoa sotilasyhteisöissä? Ensinnäkin 5G edelleen kehittää jo 4G-standardisoinnissa aloitettua viranomaisliikenteen priorisointia ohi peruskäyttäjien. Tämä on se keskeinen syy, miksi kaikkialla maailmas-

sa seuraavan sukupolven viranomaisverkot (meillä VIRVE:n seuraaja VIRVE2) rakennetaan 4G- ja myöhemmin 5G-verkon sisälle korkeamman prioriteetin käyttäjäryhmänä. Lisäksi 5G-verkon siirtoviive tulee lyhenemään, ja aivan uutena ominaisuutena tulee esineiden internet, jonka myötä itseajavat ajoneuvot, mitä erilaisemmat sensorit, tehtaiden koneet ja koneiden osakomponentit, robotit, kodin laitteet jne. kytkettyvät 5G-verkolla internettiin.

5G IoT -yhteys on suunniteltu alusta pitäen huomioiden pieni tehonkulutus. Lisäksi IoT-laite voi siirtää runsaasti tehoa vaativan tekoälyä tai koneoppimista käyttävän laskennan 5G-verkkoon, jolloin puhutaan reunalaskennasta, eli MEC:stä (Mobile Edge Computing). On siis mahdollista esimerkiksi rakentaa hyvin pienen tehonkulutuksen sensoriverkko valvomaan valtakunnan rajaa seuraavilla ominaisuuksilla: virransäästötilassa tehdään ajoittaista sensorointia, merkittävän havainnon jälkeen sensori aktivoituu, alkaa keskustella läheisten sensorien kanssa sekä ottaa ääni- ja kuvallenteita, jotka siirretään MEC-laskentaan analysoitavaksi, ja tulos edelleen 5G-verkon kautta tiedon tarvisijalle.

Sidelink on ominaisuus, joka mahdollistaa kahden päätelaitteen välisen suoran yhteyden ilman, että yhteys muodostuisi 5G-runkoverkon kautta. Nykyisessä VIRVE-verkossa toiminnallisuudesta käytetään nimitystä DMO (Direct Mode Operation). Sidelink on aivan keskeinen 5G:ssä tuettu ominaisuus niin viranomais- kuin sotilastietoliikenteessä. Siviilipuolen sovelluksena on esimerkiksi älykäs liikenne, jossa eri suunnista risteystä lähestyvät autot keskustelelevat keskenään. Massiivinen (Multiple-Input, Multiple-Output, MIMO) antennijärjestelmä 5G:n erityisesti korkeammilla taajuuksilla mahdollistaa tilaajalaitteen seuraamisen varsin kapealla antennikeilalla, joka parantaa kantamaa ja toisaalta sotilaallisesta näkökulmasta vaikeuttaa vastapuolen häirintää ja tiedustelua.

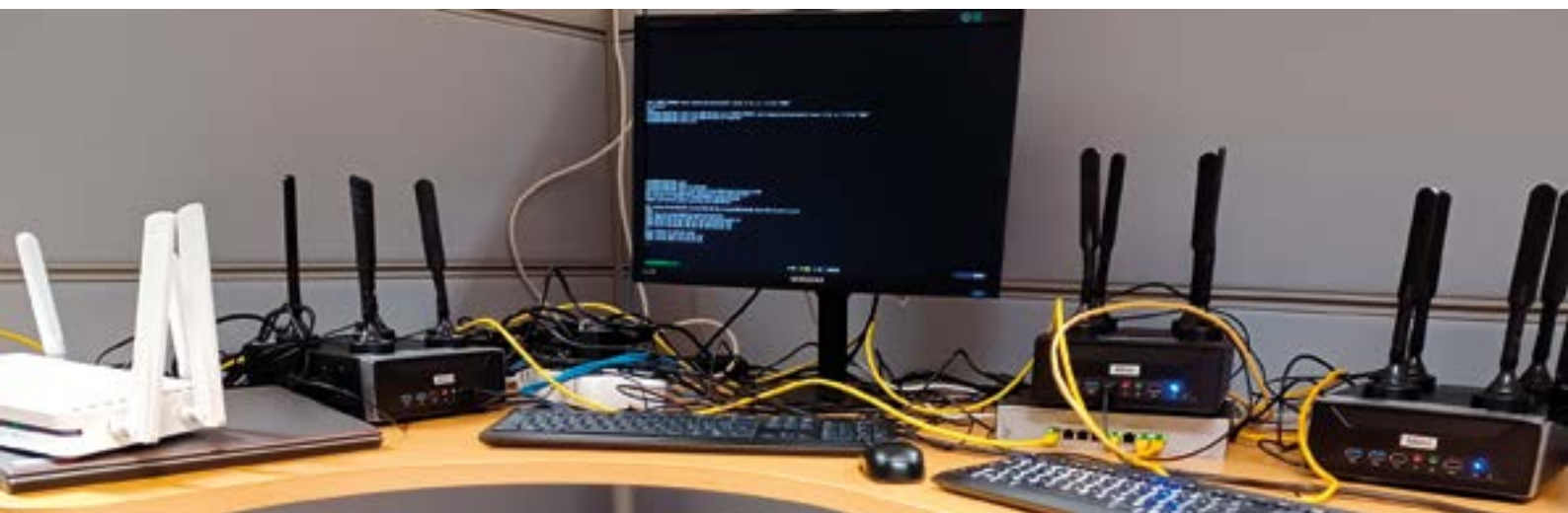
Tukiasema-tukiasemayhteys IAB (Integrated Access and Backbone) on ominaisuus, jossa runkoverkosta tuleva 5G-yhteys ketjutetaan radioteitse useammalle tukiasemalle. IAB on hyvin edullinen tapa rakentaa millimetri-taajuuksilla (kuten 28 GHz, joka myös tarjoaa suuren kaistanleveyden ja sitä kautta suuren datansiirtonopeuden) kustannustehokkaasti verkkoa. Sotilaallinen sovellus voisi olla nopea ratkaisu rakentaa tilapäiselle komentopaikalle yhteydet. Lisätuna saadaan suojaa signaalitiedustelua vastaan; koska 26 GHz vaimenee nopeasti, kantama riittää vain komentopaikan alueelle.

Avaruuden merkitys kasvaa koko ajan niin tiedustelun kuin tiedonsiirron näkökulmasta, mistä Venäjän hyökkäyso- ta Ukrainassa on hyvä esimerkki. Starlink on ollut ratkai- sevassa asemassa ja mahdollistanut Ukrainan sotilaallisen tietoliikenteen, vaikka maanpäällinen tietoliikenneinfra on

ollut tuhottuna käyttökelvoton. 5G NTN (Non-Terrestrial Networks) tulee noin viiden vuoden sisällä tarjoamaan yhteyden Starlinkin tavoin myös LEO (Low Earth Orbit) -satelliittien kautta. Poiketen Starlink-ratkaisusta puhelun pitäisi olla mahdollinen suoraan käyttäjän taskussa olevaan päätelaitteeseen, eli ei tarvita voimakkaasti suuntaavaa kiinteää maa-asema-antennia, kuten Starlink-järjestelmässä. Toiminnallisuus rakennetaan vaiheittain, mutta lopullisessa versiossa 5G NTN näkyy kuluttajalle tukiasemana taivaalla, jonka kautta yhteys automaattisesti kytkeytyy, jos maanpääl- linen verkko ei ole käytettävissä. Suunnitteilla on käyttä- ä myös noin 20 km:n korkeudella lentäviä HAPS-ilmalaivoja (High Altitude Platform Station) tai esimerkiksi aurinkopa- neelleilla päällystettyjä kevytrakenteisia kevyitä lentolaitteita tukiasemalavetteina. 5G NTN toteutettuna joko satelliitilla tai HAPS:illa on ymmärrettävästi sotilastietoliikenteen kan- nalta erittäin suuren mielenkiinnon kohde.

5G-verkon tarjoamien uuden tyyppisten palveluiden ydin on aivan uuden sukupolven CORE eli runkoverkko. 2G- ja 3G-tekniikoissa runkoverkko yhdisti keskitettyyn ohjauk- seen tukiasemat tietoliikenneyhteyksiä käyttäen, ja palvelut olivat lähinnä puhetta ja rajoitetusti datasiirtoa päätelait- teelta johonkin datapalveluun. 5G:n tapauksessa kaikki on toisin. 5G Core on palvelinten muodostama verkko, jossa viestintäpalvelut tuotetaan lukuisissa joukossa tietokonei- ta, jotka voivat olla joko pilvessä tai lähellä tukiasemaa. 5G Core perustuu niin sanottuun SBA-arkkitehtuuriin (Service Based Architecture), jossa 5G-verkon palvelut rakennetaan käyttäen 5G-verkon palvelimissa ajettavia mikropalveluja (eng. microservices). Kun palveluja rakennetaan 5G-verk- koon, tärkeitä osatoiminnallisuuksia ovat ohjelmistopohjai- set verkkoratkaisut (Software Defined Networking, SDN) ja verkon toimintojen virtualisointi (Network Function Virtu- alization, NFV). Viipalointi (Network Slicing, NS) on yksi tärkeä 5G-verkon palvelu, jolla aikaisemmin mainittu tietyn käyttäjän priorisointi tavalliseen käyttäjään nähden toteute- taan. Viipaloinnilla voidaan myös tukea korkeamman turva- luokan tiedonsiirtopalvelujen toteutusta.

5G-tekniikasta uutisoitaessa käytetään usein termiä 5G NR (New Radio), joka on uudistettu versio 4G-radiover- kon tekniikasta mukaan lukien päätelaitteen ja tukiaseman välinen radiosignaali. Uudistus on tarpeen, koska käyttöön tulee uusia taajuuksalueita suuremmilla kaistanleveyksillä ja lisäksi radiosignaaliilla pitää pystyä siirtämään informaatiota entistä pienemmällä viiveellä. 5G:n sisältämät uudet tekni- kat, kuten Sidelink, IAB ja Slicing sekä kyky palvella mas- siivista määrää IoT-laitteita tuovat myös uusia vaatimuksia radioverkon toteutukselle. Korkeammat, esimerkiksi yli 20 GHz -taajuuksalueet mahdollistavat suuremmat kaistanleve- ydet ja sen kautta suuremmat datasiirtonopeudet – mutta kantaman kustannuksella. Harvaan asutuilla alueilla laaja peitto saavutetaan edelleen alle 1 GHz:n taajuuksilla, jolloin



Kuva 3: Varusmiestutkijoiden 5G-koejärjestelmä Puolustusvoimien tutkimuslaitoksella. (Kuva: Kimmo Heinäaro)

taajuuskaistaa on vähemmän käytössä, eikä suurta muutosta ole odotettavissa tiedonsiirtonopeudessa 4G:hen verrattuna.

Paikalliset yksityiset 5G-verkot on tarkoitettu käytettäväksi esimerkiksi tehtaissa, satamissa, lentokentillä, kauppakeskuksissa jne. Etuna ovat kaikki 5G-tekniikan aikaisemmin mainitut edut ja lisäksi suuri luotettavuus, parempi peittoalue, hyvä tietoturva ja helpompi integroitavuus ulkopuolisiin yhteyksiin. Näiden etujen vuoksi esimerkiksi USA:ssa sotaväki on ollut yksityisten 5G-verkkojen yksi suurimmista käyttöönottajista. Suomessa Traficom on allokoanut taajuusalueet tähän käyttötarkoitukseen.

5G:n soveltava tutkimus Puolustusvoimien tutkimuslaitoksessa

Sotilaalliseen käyttöön suunnitellut 5G:n käyttöskenaariot poikkeavat monelta osin merkittävästi siviilikäytöstä. Skenaarioissa suunniteltujen 5G-toiminnallisuuden mahdollisuudet, tekniikan asettamat rajoitteet ja erityisesti järjestelmien jatkokehitystarpeet edellyttävät käytännön soveltavaa tutkimusta aiheesta. Testikäyttöön on saatavilla sekä kaupallisia järjestelmiä (tukiasema + runkoverkko) että avoimen lähdekoodiin ja yleiskäyttöisiin ohjelmistoradioihin (Software Defined Radio, SDR) pohjautuvia toteutuksia. PVTUTKL:n kokemusten perusteella kaupallisten laitteiden etuna on nopea käyttöönotto tutkimuskäyttöön, avoimen lähdekoodin projektien etuna on puolestaan helppo muokattavuus sotilaallisia erikoistarpeita varten.

Tutkimuskäyttöä varten PVTUTKL:lle on toteutettu usean tukiaseman, runkoverkon ja päätelaitteen testijärjestely (kuva 3), jolla voidaan joustavasti kokeilla erilaisia sotilaallisia 5G:n käyttötapauksia huomioiden taktisen toimintaympäristön

erityispiirteet. Taktisen ympäristön ehkä suurin ero siviili-maailmaan on liikkuvuus: tukiasemat eivät tarkoita korkeita antennimastoja ja hyviä valokuituyhteyksiä, vaan myös tukiasemat saattavat liikkua joukon mukana. Tukiasemien ja runkoverkon välisten yhteyksien luotettavuus kenttäolosuhteissa ja toisaalta runkoverkon toimintojen osittainen hajautus vi-kasietoisuuden kasvattamiseksi on yksi tutkittavista asioista, joka ei kiinnosta kaupallisia toimijoita samassa mittakaavassa.

PVTUTKL rekrytoi tutkijoita myös varusmiespalveluksen aikaisia tutkimustehtäviä varten. Tutkijoiksi valitaan erikoisjoukkohaun ja haastattelujen perusteella kuhunkin projektiin sopiva henkilö työn, koulutuksen tai harrastusten kautta saavutettujen tietojen pohjalta. 5G on selkeä ja moderni tutkimuskokonaisuus, josta voidaan erottaa useita pienempiä tutkimuskysymyksiä. Se on siten hyvä kohde varusmiestutkijoille, jotka ovat kuitenkin käytettävissä tutkimukseen varsin rajallisen osan palvelusajastaan. Tutkimuksen jatkuvuus saapumiserältä toiselle varmistetaan painottamalla dokumentaation tärkeyttä. Kaikki havainnot dokumentoidaan: ei pelkät onnistumiset, vaan myös ja erityisesti pieleen menneet kokeilut.

5G-järjestelmiä otetaan käyttöön ympäri maailmaa ja sotilaallisia skenaarioita pohditaan useissa maissa. Samojen asioiden testaaminen useissa maissa ei ole järkevää, joten PVTUTKL tekee myös käytännön soveltavassa tutkimuksessa yhteistyötä Naton tutkimusorganisaatioiden kanssa. 5G-verkon ehkä suurin muutos aiempiin matkaviestinsukupolviin on järjestelmän modulaarisuus. Se koostuu suuresta määrästä komponentteja, jotka voidaan hajauttaa maantieteellisesti tai kaupallisesti eri toimijoiden välille. PVTUTKL on onnistuneesti käyttänyt 5G-tutkimusjärjestelmää joustavasti myös monikansallisena testijärjestelynä, jossa esim. runkoverkko voi sijaita eri maassa ja organisaatiossa kuin tukiasemat.

Pohdinta

Koneoppiminen, tekoäly, reunalaskenta ja pilvipalvelut ovat teknologioina 5G:n ulkopuolella, mutta 5G:n katsotaan tiedonsiirtoalustana ja arkkitehtuurina tukevan niitä. Yhdessä nämä poikkeavat asevoimien nykyisestä doktriinista ja arkkitehtuurista ja niiden laajamittainen käyttö taktisissa toimintaympäristöissä edellyttää vielä tutkimusta, kehitystyötä, tietoturvan määrittelyä sekä konseptien tarkistamista.

Toisaalta vaikka jokin 5G:n ominaisuus olisi standardoitu 3GPP:ssä, ei sitä välttämättä implementoida järjestelmiin tai päätelaitteisiin. Tällaisia (10/2022) puuttuvia toteutuksia ovat muun muassa tukiasema-tukiasema radioyhteys IAB ja päätelaite-päätelaite-yhteys Sidelink.

Muutamia asioita lienee syytä pitää mielessä. Ensiksi 5G ei tule syrjäyttämään WiFi-lähiverkkoyhteyksiä ja -tekniikkaa. Ainoa teknologia, jonka 5G tulee lopulta syrjäyttämään, on 4G.

Toiseksi 5G-teknologia ja palvelut eivät enää ole suinkaan teleoperaattorien yksinoikeus, vaan palveluntarjoajia etenkin yksityisiin 5G-verkkoihin tulee lisää. Vasta laajan penetraation saavutettuaan 5G tulee mahdollistamaan uusia (etä-)työskentelyn tapoja ja uusia kuluttajapalveluita.

Etenkään korkeammilla taajuusalueilla 5G ei tule koskaan saavuttamaan valtakunnallista peittoa. Suomen kaltaisessa harvaan asutussa ja laajassa maassa 5G-verkko voidaan ja tulee haja-asutusalueilla toteuttaa matalimmilla taajuuksilla tai vaikka NTN-ratkaisuilla.

Näiden ohella Gartner korostaa, että 5G on monimutkainen tiedonsiirtokokonaisuus ja että yhteensopivuushaasteita järjestelmäsukupolvien (4G-5G, REL16-REL17-REL18) ja samankin järjestelmän eri valmistajien (Nokia, Ericsson yms.) yli on odotettavissa. Kuluttajien ja yrityskäyttäjien tulee lisäksi odottaa merkittäviä suorituskyvyn ja palvelutason vaihteluita paikan, operaattorin ja saatavilla olevien taajuusalueiden suhteen. Vaikka 5G:n käyttöönotto on parastaikaa käynnissä, ei erityistä kiirettä vielä ole: teknologia kypsyy hitaasti – kuluttajien sekä yrityskäyttäjien kyky omaksua uusia palveluita on vielä hitaampaa.

Lopuksi todettakoon kuitenkin, että 5G:ssä on valtavasti potentiaalia, jolla voidaan rakentaa sotilaallista suorituskykyä. 5G:n sotilaallisia käyttösovelluksia on useita, ja osaa niistä voitaisiin välittömästi alkaa toteuttamaan. Tämä kuitenkin edellyttää käyttökonseptien kehittämistä niin Maasotakoululla kuin Johtamisjärjestelmäkoulullakin. PVTUTKL tukee tätä työtä tutkimuksella ja asiantuntijapalveluin.

Kirjoittajat:

Tutkimusala johtaja Topi Tuukkanen työskentelee Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen Informaatiotekniikkaosastossa johtamisjärjestelmät-tutkimusalan johtajana.

DI Heikki Rantanen työskentelee Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen Informaatiotekniikkaosastossa johtamisjärjestelmät-tutkimusallalla erikoistutkijana.

DI Sami Peltotalo työskentelee Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen Informaatiotekniikkaosastossa johtamisjärjestelmät-tutkimusallalla vanhempana tutkijana.

DI Kimmo Heinäaro työskentelee Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen Informaatiotekniikkaosastossa salausjärjestelmät-tutkimusallalla vanhempana tutkijana.

TkT, dosentti Harri Saarnisaari työskentelee yliopistotutkijana Oulun yliopiston tieto- ja sähkötekniikan tiedekunnassa.

Spektrin käyttö tulevaisuudessa

Globaalilla tasolla tarkasteltuna eri asevoimat pyrkivät kehittämään omaa toimintaansa siten, että joukot ja järjestelmät kykenevät operoimaan tarvittavalla suorituskyvillä siinä tehtäväjoukossa, jollaista kyseiselle organisaatiolle kohdistuu. Sodankäyntiin on kautta historian liittynyt yllätyksellisyys, ja sen hyödyntäminen on usein ollut avain menestykseen operaatioissa. Arviotaessa sodankäynnin muutosta on selvää, että tietyt elementit ovat pysyviä ja tietyt muuttuvia. Teknologian ja yhteiskunnan muutos on läpitunkeva, ja se vaikuttaa kaikilla tasoilla toimintaympäristöön, henkilöstöön ja järjestelmiin sekä tehtävien suorittamiseen. Osapuolilla on erilaisia toimintatapoja ja järjestelmiä, joten puolustuksen kulloinenkin tilanne on osittain muuttuva. Rajat erilaisten osapuolten, kuten kehittyneen vastustajan, tavanomaisen vastustajan, hybriditoimijan, spektrissä operoivan toimijan, verkossa operoivan toimijan ja sisäisen turvallisuuden tehtäväkentän alueelle kuuluvan toimijan välillä ovat häilyviä. Yhteistä kaikille on kuitenkin liittynyt sähkömagneettiseen spektriin, koska modernissa yhteiskunnassa verkottuneisuus ja langattomien palveluiden hyödyntäminen ovat arkipäivää. Eri järjestelmillä on usein jatkuva verkkoyhteys. Verkkoihin kuuluu lisäksi merkittävän määrin langattomia yhteysvälejä liikkuvan toiminnan turvaamiseksi. Tulevaisuuden taistelukentällä taistellaan edelleen myös maastossa. Kaupunkisodankäynnin rooli korostuu erityisesti erilaisten päätöksentekoportaiden, palveluiden keskittämisen, kehittyneen verkkoinfrastruktuurin sekä puolustuksen voimälähteiden ja logistiikan toimintaedellytysten kannalta, mutta tulevaisuudessa kaupunkien osittain korostuva rooli ei vähennä laajan maa- ja merialueen valvontaa ja puolustamista vaan päinvastoin asettaa toiminnalle lisää vaatimuksia.

Spektriulottuvuuden merkitys

Spektrin merkitystä tulevaisuuden sodankäynnin keskeisenä elementtinä on korostettu viime vuosina. Vaikka sotilaallinen kyky perustuu edelleen vahvoin ja koulutettuihin joukkoihin, suorituskkyysiin järjestelmiin, niiden operointikykyyn ja valmiuteen, niin teknologisessa mielessä lähes kaikissa järjestelmissä on rajapinta sähkömagneettiseen spektriin. Yhteys spektriin voi näyttäytyä passiivisen kohteen herätteenä eri aallonpituuksilla tai aktiivisina emissioina, joita järjestelmä tuottaa eri taajuuksialueilla. Ymmärrys spektrissä esiintyvistä odotetuista ilmiöistä ja toimintaympäristön olosuhteiden vaikutuksista spektrin käytettävyyteen sekä valmius kohdata odottamattomia spektritapahtumia ja mukauttaa oma toiminta tehokkaan spektrinkäytön periaatteiden mu-

kaan ovat oleellisia tekijöitä tulevaisuuden ruuhkaisen ja kilvoitellun spektrin hallinnassa. Matalampien taajuuksien spektri on täyttymässä tulevaisuuden tiedonsiirtokapasiteetivaatimusten kasvaessa mutta samanaikaisesti näennäisesti täyttymässä olevaa spektriä hyödynnetään tehottomasti.

5G-verkoista 6G-verkkoihin

Samaan aikaan, kun tiedeyhteisössä tehdään tutkimusta dynaamisesta spektrinhallinnasta, tietoliikennealueen standardointi etenee kohti korkeampien taajuuksien käyttöön-ottoa. 5G-verkoissa on otettu käyttöön millimetrialueen taajuuksia, jotka tuovat helpotusta kapasiteettihaasteisiin mutta vain väliaikaisesti, koska tulevaisuuden kapasiteettivaatimukset ylittävät myös 5G-tekniikan suorituskyvyn. Suomi on ollut hyvin ennakoiden kehittämässä tulevaisuuden 6G-verkkojen teknologiaa. 2030-luvulla korkeimpien taajuuksien tulee olla jo terahertsialueella, jotta tarvittaviin tiedonsiirtokapasiteetteihin päästään. Millimetri- ja terahertsialue ovatkin olleet viime aikoina merkittävän tieteellisen tutkimuksen kohteena, joskin alueen uranuurtajat ovat aloittaneet nämä tutkimukset jo yli kymmenen vuotta sitten. Kehityskulku on saanut piristysruiskeen kehittyneistä komponenteista, joiden avulla sähkömagneettinen aalto voidaan tuottaa joko perinteistä radiotekniikkaa tai fotonikkaa hyödyntäen. Korkeampien taajuuksien käytön haasteena ovat kanavamallien puute, signaalin merkittävä vaimentuminen sääolosuhteiden ja esteiden vaikutuksesta, säteilysuuntien hallinta ja varsin lyhyet teknologialla saavutettavat etäisyydet sekä sensoreiden että tiedonsiirtolinkkien kannalta.

Tulevaisuuden spektriulottuvuus valvonnan kannalta

Valvonnan kannalta tulevaisuudessa siirrytään aikaan, jolloin yksittäinen sensori ei enää valvo omaa vastuualuettaan yksinään vaan valvonta muodostuu useista erityyppisistä maalla, pinnalla, veden alla, ilmassa ja avaruudessa toimivista sensoreista. Sensoreiden joukossa voi olla sekä pitkälle erikoistuneita että geneerisiä sensoreita. MIMO-tyyppisten verkkojen haasteena on datankeruun hallinta, kerätyn tiedon analysointi ja viiveiden hallinta. Eritasoisien sensoreiden tiedonkeruuvälit ovat erilaiset, jolloin haasteena on luotettavan ja lähes reaaliaikaisen kokonaiskuvan luominen. Tämän tyyppiset ratkaisut otettaisiin välittömästi käyttöön, mikäli jokaisella sensorilla olisi kiinteä kuituyhteys, GNSS-vastaanotin, rajattomasti energiaa ja varmentava GNSS-riippumaton synkronointi. Reaalimaailmassa toimivan järjestelmän on kuitenkin tasapainoteltava sen suhteen, mihin dataa säilötään, missä dataa yhdistetään, milloin ja

miten paljon dataa siirretään, miten paljon kussakin sensorissa suoritetaan paikallista laskentaa ja analyysiä, missä lopullinen kokonaiskuva tilanteesta rakennetaan ja minne se jaetaan. Tähän haasteeseen ei ole ilmeisiä ratkaisuja, vaikka tieteellisiä julkaisuja aiheen ympäriltä on tehty jo vuosikymmeniä. Markkinoilla olevissa realistisissa järjestelmissä on käytännössä hyväksytty tasapaino sen suhteen, kuinka paljon jotakin ominaisuutta on varaa heikentää siten, että kokonaisuus vielä toimii tehtävänsä suorittaen.

Erilaisia sensoreita tarkastellessa sensorin lähetysteho, antenni, keskitaajuus ja kaistanleveys vaikuttavat siihen, millaiseen kantamaan sensorilla voidaan päästä, kuinka herkkä se on olosuhteiden ja esteiden aiheuttamille ilmiöille ja millaiseen tarkkuuteen valvonnassa voidaan päästä. Alempien taajuuksien 3 MHz–12 GHz kokonaisuudessa voidaan tarkastella varsin etäälläkin olevia kohteita, kun taas korkeampien taajuuksien kohdalla puhutaan lähietäisyyksistä. Erilaisia parametreja käyttävien sensoreiden mittaustietojen rinnakkaisanalyysillä kohteesta saadaan muodostettua parempi kuva kuin yksittäisellä sensorilla. Erityyppisten sensoreiden yhdistäminen olisi helpompaa, mikäli kaikki sensorit käyttäisivät yhdenmukaisia, modulaarisia ja skaalautuvia ohjelmistorajapintoja. Tietoliikennepuolen ohjelmistoradiokkehitys ei tarjoa valmiita ratkaisuja tämän haasteen ratkaisemiseen. Mikäli eri sensorit hankitaan eri valmistajilta, on todennäköistä, että eri sensoreiden yhteiskäytön integrointi olisi merkittävä haaste. Kaikki merkittävät spektrin alueet kattavan valvontaratkaisun hankkiminen yhdeltä valmistajalta ei vaikuta sekään parhaalta ratkaisulta.

Sensorin toimintaan vaikuttaa oleellisesti se, toimiiko sensori passiivisesti vai aktiivisesti. Spektrinkäytön kannalta passiivinen sensori on hyödyllinen, koska se ei tuota omia emissioita spektriin, joten sen ei tarvitse huolehtia spektrin ruuhkaisuudesta tai käytön rajoitteista operoitaessa. Aktiivisessa sensorissakin on vaihtoehtoja sen suhteen, kuinka voimakkaita emissioita se tuottaa. Pitkän kantaman sensori tuottaa merkittävän emission, kun taas hajautetumassa, useammasta sensorista koostuvassa MIMO-ratkaisussa yksittäisen sensorin emissiot saadaan merkittävästi pienemmiksi, kun valvonnan vastuualue on rajoittuneempi. On kuitenkin järkevää muodostaa myös päällekkäisyyttä naapurimimo-solmujen peittoalueen suhteen. Säteilysuuntien kontrollointi ja erityyppisten aaltomuotojen käyttö tukevat myös hajautettua toimintaa.

Spektrikartta ja järjestelmien toimintaedellytykset

Mihin spektrin havainnointia, spektritietoutta ja spektrin hallintaa sitten tarvitaan? Mikäli radiotaajuudella toimiva järjestelmä operoi kiinteällä taajuudella eikä sillä ole edellytyksiä siirtyä muille taajuuksille, se on riippuvainen tämän yksittäisen taajuuden käytön edellytyksistä. Tässäkin

tapauksessa järjestelmän on tärkeää tunnistaa toimintataajuudellaan vallitseva luonnollinen tai ihmisen aiheuttama häiriö, jotta taajuudella ei turhaan operoida. Haasteena tässä on se, että lähettimen tulisi tuntea myös lähetysten kohteena olevan vastaanottimen ja yhteysvälin olosuhteet. Spektrikartan luomisesta ja sen ajoittaisesta päivittämisestä olisi siis hyötyä myös perinteisemmille radiojärjestelmille eikä pelkästään tulevaisuuden kognitiivisen radion konsepteille.

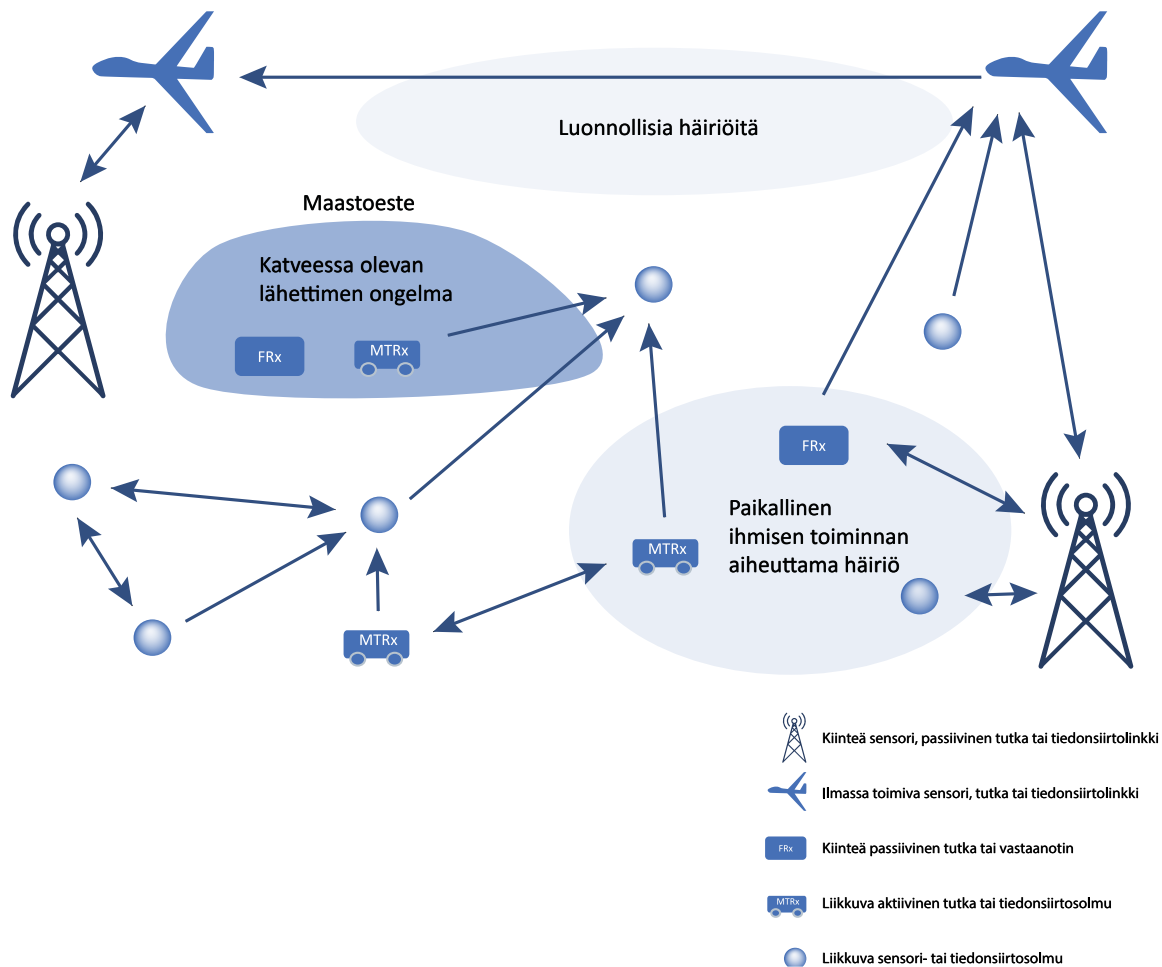
Mikäli radiojärjestelmällä on enemmän vapausasteita spektrinkäytön suhteen, toiminta kyetään paremmin mukautamaan vallitseviin olosuhteisiin ja luomaan redundanteja signaalipolkuja, joilla järjestelmän robustisuutta voidaan parantaa. Vapausasteiden lisäämisellä ja robustisuuden parantamisella on aina hintalappu, jonka hyväksyttävyyttä määrittää sen mukaan, kuinka tärkeästä yhteydestä on kyse. Kaikki yhteydet eivät ole tässä mielessä samalla viivalla. Ohjelmistoradiotekniikan kehityksen myötä markkinoille on saatu radiolaitteita, jotka kykenevät operoimaan varsin laajalla taajuusalueella. Mitä laajempaa taajuusaluetta tavoitellaan, sitä haastavammaksi ja kalliimmaksi tällaisen monispektriradion hinta muodostuu. Monispektriradion haasteellisuus hahmottuu tarkastelemalla radiospektriä aallonpituuksina, josta päästään antennien arvioituun kokoon ja rakenteeseen. Gigahertsiluokassa päästään varsin kompakteihin antenniratkaisuihin – puhumattakaan millimetri- tai terahertsialueen ratkaisuista. Korkeammilla taajuuksilla tehontuotto on haasteena, kun taas matalammilla taajuuksilla antennin koko muodostuu haasteeksi. Laajamittaisen spektrinkäytön konseptissa tarvitaan kuitenkin jokin pitkin tai keskikantaman yhteyslinkki tai valvontasensori ja lyhyemmän kantaman yhteysradio tai sensori. Ionosfääriä tai satelliittiyhteyksiä käyttävät radiot ja niiden antenniratkaisut jäävät usein kokonaisratkaisujen ulkopuolelle, koska niitä on haasteellista integroida samaan kokonaisuuteen VHF- ja UHF-alueen järjestelmien kanssa.

Kaupallisen puolen tietoliikenneverkoissa painitaan samojen haasteiden kanssa. Tutkimuskentässä on jo pitkään painotettu näkemystä, jonka mukaan tulevaisuuden verkko tulisi suunnitella kokonaisuutena alusta lähtien. Verkkosukupolvien kehitys on rakentunut aina edellisen verkon päälle, ja tutkimuskentän näkemyksen mukaan kokonaisuutta ei saada sen vuoksi toimimaan optimaalisella tavalla.

Tulevaisuuden valvonta- ja tiedonsiirtojärjestelmien toimintaympäristössä esiintyviä haasteita

Kuva 1 esittää moniulotteista toimintaympäristöä, jossa operoi järjestelmätyyppejä:

- kiinteä sensori, passiivinen tutka tai tiedonsiirtolinkki (masto),
- ilmassa toimiva sensori, tutka tai tiedonsiirtolinkki,



Kuva 1. Tulevaisuuden valvonta- ja tiedonsiirtojärjestelmien toimintaympäristössä esiintyviä haasteita. (Grafiikka Marko Suojanen ja Johanna Suominen)

- c) kiinteä, maasijoitteinen, passiivinen tutka tai vastaanotin,
- d) maalla liikkuva aktiivinen tutka tai tiedonsiirtosolmu ja
- e) maalla liikkuva sensori- tai tiedonsiirtosolmu (matala ja kohtalaisen hidas).

Kuvan 1 kaltaista toimintaympäristöä voidaan arvioida tiedonsiirron, valvonnan tai tiedonsiirron ja valvonnan yhdistelmän näkökulmasta. Tässä kirjoituksessa ei mennä syvemmälle kokonaisjärjestelmän arviointiin ja kuvaukseen.

Radiotaajuinen spektri on oleellinen osa kuvassa 1 esitettyjen järjestelmien suorituskykyä. Spektrin käytettävyys tulisi siten taata kaikissa olosuhteissa. Spektrin käytettävyyteen vaikuttaa järjestelmien ymmärrys toimintaympäristössä vaikuttavista tekijöistä. Paikallinen ymmärrys ei ole kuitenkaan kestävä ratkaisu, minkä vuoksi tarvitaan laajempaa kuvaa spektritalanteesta toiminta-alueella. Kokonaisjärjestelmän tulisi muodostaa kuva spektristä hajautetusti siten, että tiettyjä toimintaympäristössä esiintyviä haasteita paikalliselle monitoroinnille voidaan kompensoida kokonaisverkon suo-

rituskyvyllä. Pelkkä spektritalanteen muodostaminen ei riitä, vaan spektritalannekuva tulisi päivittää sopivin välein järjestelmille asetettavien vaatimusten mukaisesti.

Yksittäisen solmun näkökulmasta omissa toiminnassakin saattaa syntyä tilanteita, joissa solmu yrittää lähettää signaalin tietylle vastaanotinsolmulle, jolle jokin toinen lähettäjä lähettää samanaikaisesti maastoesteen takaa. Tällainen piilossa olevan solmun ongelma paljastaa paikallisen spektritalannekuvan muodostamisen haasteet. Koska kukin solmu on oman paikallisen solmua ympäröivän maaston vanki, spektritalannekuvan muodostaminen useaa sensoria käyttäen tarjoaa paremmat mahdollisuudet tällaisten tilanteiden tunnistamiseen. Lisäksi käytössä olevien taajuuksien määrä saattaa olla rajallinen, jolloin on vaikeaa löytää vapaa taajuus signaalien lähettämiseksi.

Sääolosuhteet vaikuttavat eri taajuusalueiden signaaleihin eri tavalla. Matalammilla taajuuksilla avaruussää on oleellinen tekijä spektrin käytettävyyden suhteen. Avaruussäällä on vaikutuksia myös korkeammille taajuuksille, jolloin radi-

ojärjestelmät saattavat toimia eri tavalla, mihin normaalitalanteissa on totuttu. Sääilmiöt aiheuttavat kanavoitumista, jonka vaikutukset on syytä tuntea ajankohtaan ja olosuhteisiin sidottuna. Sade eri muodoissaan saattaa aiheuttaa merkittävää suorituskyvyn alenemista valvonta- ja tiedonsiirtojärjestelmille. Yleisiin, tilastollisiin menetelmiin perustuvat mallit tarjoavat karkeaa tietoa radioaaltojen käyttäytymisestä, mutta useissa tapauksissa kenttämittaukset tarjoavat tärkeää tietoa maastoon sidotusta toiminnasta. Samalla mitauksia voidaan tarkastella erilaisia laskentamalleja vasten ja löytää parannuskohteita sekä keinoja mallien paremmalle hyödyntämiselle.

Maaston muodot, puusto, kasvillisuus, vesialueet ja rakennettu ympäristö ovat tekijöitä, joiden muodostama kokonaisuus saa tarkasteltavana olevan alueen ominaisuudet yksilöllisiksi radiotaajuisten järjestelmien käytön kannalta. On tärkeää tuntea oma toimintaympäristönsä. Rakennettu infrastruktuuri, erilaiset voima- ja teollisuuslaitokset ja sähkönsiirtoverkot aiheuttavat mahdollisesti erilaisia häiriöitä niiden läheisyydessä operoiville radiojärjestelmille. Tällaisten kohteiden ympäristöön voidaan määrittää vaikutusalueita, jotka auttavat hahmottamaan, kuinka kaukana järjestelmiä tulisi operoida häiriöttä.

Lisäksi toimintaympäristössä saattaa esiintyä erilaisia tahallisia tai tahattomia häiriöitä, jotka voivat olla laajakaistaisia, kohinan kaltaisia, impulssimaisia häiriösignaaleja tai vihamielisten tai tietämättömien käyttäjien radiotaajuusmääräysten vastaista toimintaa.

Yksi malli vai monta erilaista?

Yksi ratkaisu ruuhkaisen ja kilvoitellun spektrin käytettävyyden takaamiseksi voisi olla laajakaistainen järjestelmä, jolla on liikkumavaraa operoida laajalla alueella tehtävän edellyttämällä tavalla. Toinen vaihtoehto on käyttää eri spektrinalueiden radiojärjestelmiä paikallisesti samassa pisteessä, jolloin tietty radio valitaan tilanteen mukaisesti. Ohjelmistoradioon tai kognitiiviseen radioon perustuva konsepti on tulevaisuuteen katsova suunta, jota ei voida toteuttaa vielä täysimääräisesti taajuusalueen ääripäitä edustavien käytännön ratkaisujen rajoitteiden vuoksi. Kehittämistä tarvitaan siis edelleen.

Kirjoitus perustuu julkisten lähteiden perusteella laadittuun visioon tulevaisuuden valvontakyvystä, eikä siinä siten ole käsitelty Puolustusvoimien suorituskyvyn suunnitteluun, kehittämiseen, rakentamiseen, ylläpitoon tai käyttöön liittyviä materiaaleja.

Kirjoittaja:

Diplomi-insinööri Marko Suojanen toimii erikoistutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen informaatiotekniikkaosastossa radiotaajuisten sensorijärjestelmien tutkimusalalla.

Hybridiuhat ja yhteiskunnan kriisinkestävyys



Tiivis viranomaisyhteistyö ja luottamus viranomaisiin vahvistavat kriisinkestävyyttä. (Kuva: Sari Pöyhönen/Puolustusvoimat)

Kriisin ymmärretään olevan vaarallinen tilanne, käännekohta tai murroskohta joko yhteisölle, organisaatiolle tai yksilölle. Yhteiskunnassa kriisi tarkoittaa jonkinlaista vakavaa häiriötilannetta tai poikkeusoloja, pahimmillaan jopa sotaa. Kriisinkestävyys taas on yksilöiden ja yhteisöjen kykyä ylläpitää toimintakykyään muuttuvissa olosuhteissa, sekä valmiutta kohdata häiriöitä ja kriisejä ja palautua niistä. Vaatimukset kriisinkestävyydelle ja edellytykset sen toteuttamiselle ovat jatkuvassa muutoksessa.

Kuinka kriisi kesytetään

Kriisinkestävyydellä on kolme keskeistä vaihetta: varautuminen, toiminta kriisitilanteessa ja toipumiskyky kriisin jälkeen. Suomessa kriisinkestävyys perustuu kokonaisturvallisuuden malliin, jossa mukana ovat kaikki yhteiskunnan toimijat viranomaisista, elinkeinoelämän toimijoista ja järjestöistä aina tavalliseen kansalaiseen saakka. Keskiössä on yhteiskunnan elintärkeiden toimintojen, eli yhteiskunnan toimivuuden kannalta välttämättömien toimintojen, turvaaminen. Kriisinkestävyys on siten myös tila tai tavoitetila, jossa elintärkeisiin toimintoihin kohdistuviin uhkiin ja riskeihin on varauduttu.

Nykyisessä kriisinkestävyydessä keskeistä on, että turvallisuutta vaarantavat tilanteet syntyvät toimintojen tai eri uhkien odottamattomista ja uusista yhdistelmistä, eivätkä niinkään etukäteissuunnittelulla hallittavissa olevista toimintavirheistä tai häiriöistä. Toimintatapojen joustavuus muuttuvissa tilanteissa ja olosuhteissa korostuu kriisin hallitsemiseksi.

Uhkan uudet ulottuvuudet

Uhka on mahdollisesti toteutuva haitallinen tapahtuma tai kehityskulku. Uhka tai useampi sellainen voi toteutuessaan synnyttää kriisin. Uhkia pyritäänkin mallintamaan suunnittelun ja varautumisen helpottamiseksi. Voidaan arvioida esimerkiksi uhkan lähdettä, kohdetta, toteutustapaa, vaikutuksia, todennäköisyyttä ja omia tai yhteistyössä toteutettavia mahdollisuuksia vastatoimiin.

Hybridiuhka tarkoittaa yhden tai useamman toimijan vihamielistä toimintaa, jolla pyritään tarkoituksellisesti ja koordinoidusti erilaisia, toisiaan täydentäviä keinoja käyttäen ja yhdistellen saavuttamaan omat strategiset tavoitteet. Toiminnassa hyödynnetään vaikuttamisen kohteen heikkouksia

tai jopa luodaan uusia heikkouksia. Erityisesti autoritääristen valtioiden nähdään hyödyntävän hybridi vaikuttamista pyrkimyksenään demokraattisten yhteiskuntien horjuttaminen.

Euroopan hybridiuhkien torjunnan osaamiskeskuksen, HybridCoE:n, ja Euroopan komission yhteisen tutkimuskeskuksen (JRC, Joint Research Centre) mallissa on tunnistettu kolmetoista eri domainia eli ulottuvuutta, joissa hybridi vaikuttamista tapahtuu tai joihin sillä vaikutetaan. Perinteisten DIME-ulottuvuuksien (diplomatia, informaatio, sotilaallinen, taloudellinen) lisäksi malli sisältää kulttuurisen ulottuvuuden, tiedustelun, lainsäädännöllisen ulottuvuuden sekä poliittisen ja hallinnollisen ulottuvuuden. Keskeisenä on myös sosiaalinen tai yhteiskunnallinen ulottuvuus.

Viimeaikaisissa kansallisten ja kansainvälisten organisaatioiden uhkamalleissa korostuneet infrastruktuuri-, avaruus- ja kyberulottuvuudet on myös sisällytetty hybridiuhkamalliin. Hybridi vaikuttamisen keinovalikoimaa taas on kuvattu 40 eri työkaluesimerkin avulla. Eipä ihme, että uhkakokonaisuutta on vaikea tunnistaa ja ymmärtää, saati torjua. Hybridiuhkien taklaamiseen vaaditaan monenlaisia näkökulmia ja osaamista. Hybridiuhkiin vastaamisessa siviili- ja sotilastoimintaympäristöjä ei voida pitää toisistaan erillisinä saarekkeina, vaan vaikutukset usein kasautuvat ja heijastuvat useisiin eri ulottuvuuksiin, toimintoihin ja toimijoihin.

Vaikutus tulee iholle

Päämäärät hybridi vaikuttamisessa ovat ylemmän tason poliittisia tavoitteita ja kohdistetaan yleensä valtiolliseen toimijaan tai kansainväliseen organisaatioon. Kuitenkin eniten hämmennystä ja turvattomuutta hybridi vaikuttamisella voidaan aiheuttaa ihan tavallisissa kansalaisissa. Heille voidaan levittää vaikkapa vääristynyttä tietoa, joka heikentää luottamusta yhteiskunnan rakenteisiin ja saa toimimaan jopa kriisissä ei-toivotulla tavalla. Kansalaisia voidaan myös valjastaa vääristellyn tiedon levittämiseen. Taloudellisen vaikuttamisen, esimerkiksi energian hinnalla tai saatavuudella painostamisen, vaikutukset näkyvät lopulta tavallisen kansalaisen elämässä vaikeuksina selvittää sähkö- ja lämmityslaskujen maksamisesta tai liikkumisen ja sosiaalisten suhteiden rajoittumisena.

Hybridi vaikuttamisen eri domaineissa, ulottuvuuksissa, jollaisella turvallisuustoimijalla on erilaiset mahdollisuudet ja kyvyt toimia uhkan torjumiseksi. Kaikkea on mahdotonta yksin hallita. Viranomaisillakin on usein vaikeuksia hahmottaa hybridiuhkakokonaisuutta sekä tarvittavaa kykyä, jolla vastata uhkiin. Eri viranomaisilla voi myös olla keskenään eri painotuksia uhka-arvioissa ja varautumisessa. Tavallisen kansalaisen mahdollisuudet tilanteen ymmärtämiseen ja kyvyt toimimiseen uhkan torjumiseksi tai uhkan toteutuessa ovat varmasti vielä heikommat ja eriytyneemmät. Osa

vaikuttamisen ulottuvuuksista on hyvin abstrakteja ja niitä voi olla erityisen vaikea hahmottaa. Niinpä kansalaisten kriisinkestävyyttä vahvistavien toimijoiden, kuten viranomaisten ja järjestöjen, tuki kansalaisille korostuu. Viranomaisten on viestittävä tilanteesta ja toivotusta toiminnasta sekä tunnistettava, mitkä väestöryhmät ovat turvattomimpia ja haavoittuvimpia ja tarvitsevat eniten tukea kriisitilanteessa.

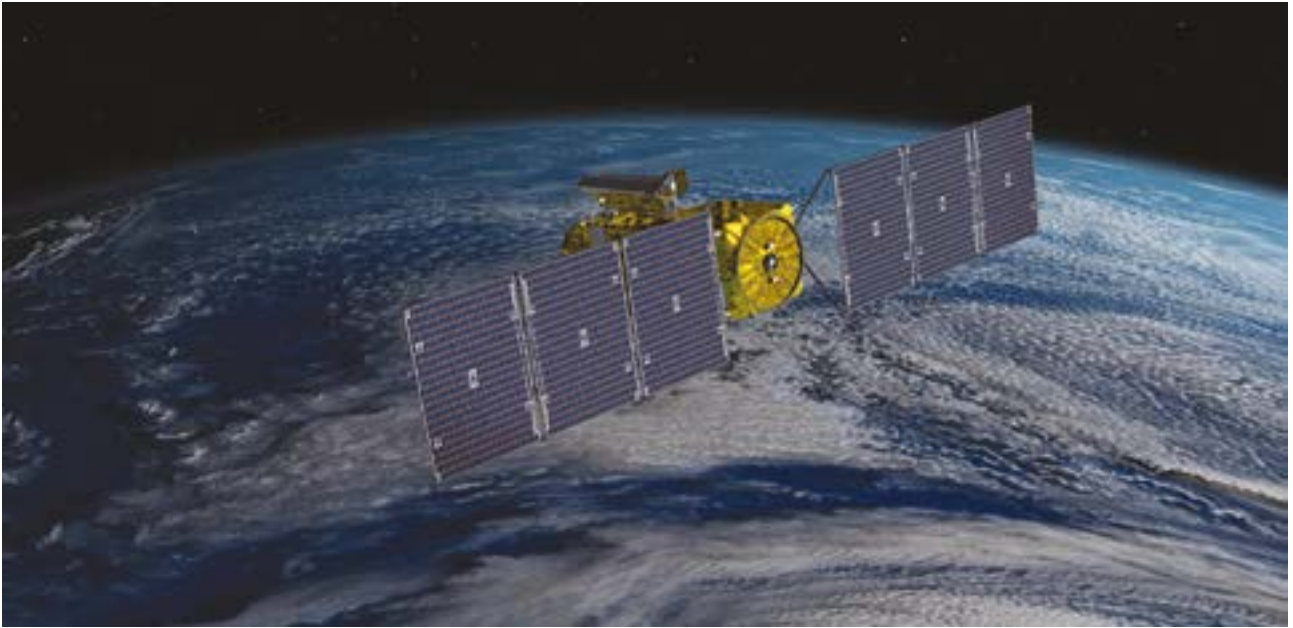
Tiedolla ja taidolla taklaten

Hybridi vaikuttamisessa vaikuttava taho pyrkii tarkoituksellisesti hämärtämään tilannetta ja luomaan hämmennystä ja epävarmuutta. Kriisinkestävyyden saavuttaminen ja ylläpitäminen ja sen palauttaminen kriisin jälkeen vaatii yhä enemmän toimintaa. Toiminnan kohdistamiseksi oikein tarvitaan tietoa. Luotettavan tiedon merkitys kriisinkestävyyden varmistamisessa kasvaa. Kriisinkestävyyttä voidaan oppia paitsi omista, myös muiden turvallisuustoimijoiden kokemuksista. Jo toteutuneet uhkat ja häiriötilanteet voivat parhaimmillaan auttaa vahvistamaan kriisinkestävyyttä. Tietoa menneestä sekä kokemusperäistä tietoa tarvitaan, samoin tietoa nykyhetkestä eli tilannekuva. Tarvitaan myös tietoa tulevasta eli miten uhkat kehittyvät sekä miten löydetään uusia tapoja vastata niihin ja minimoida vaikutuksia sekä rakentaa kriisinkestävyyttä vielä tuntemattomia uhkia vastaan. Tietoa tulevasta voidaan tuottaa ennakoinnilla. Ennakointi auttaa myös arvioimaan turvallisuustoimijoiden ja yhteiskunnassa turvattavien asioiden muutosta. Ennakoinnilla voidaan tunnistaa merkittäviä muutostekijöitä ja toisaalta tunnistaa shokkeja, jotka voivat äkillisesti ja radikaalisti muuttaa kehitystä ja edellytyksiä kriisinkestävyydelle. Vaikka mikään ennakoitu kehitys ei sellaisenaan toteutuisikaan, eri vaihtoehtojen ja niiden vaikutusten pohtiminen antaa keinoja muutokseen analysointiin ja siihen vastaamiseen.

Uhka kuin ameeba

Hybridiuhkat heikentävät uhkien ennustettavuutta. On yhä vaikeampi arvioida, millä toimijalla on kyky ja halu toimia vahingollisesti ja miten, missä ja milloin tämä tapahtuu. On varauduttava siihen, että häiriöitä tai kriisejä onkin useita rinnakkain tai peräkkäin: COVID jyllää, Ukrainassa soditaan, ilmastokriisi muistuttelee olemassaolostaan, energiakriisi koettelee ja pahenevaa ruokakriisiä povataan. Miten ennakoitaan sitä, miten muiden yhteiskuntien kriisit heijastuvat Suomeen? Voidaanko siihen itse vaikuttaa? Ukrainan sodan fasilitoima globaali ruokakriisi voi esimerkiksi aiheuttaa pakolaisvirtoja ja levottomuuksia, jotka heijastuvat myös Suomeen.

On yhä vaikeampi priorisoida uhkia ja resursseja niihin vastaamiseksi. Rappeutuvan infrastruktuurin, vaikkapa iäkkään vesijohtoverkoston, tunnistetaan lisäävän häiriöherkkyyttä ja voidaan etukäteen tunnistaa alueet, joilla häiriöt toden-



Avaruus-ulottuvuus on osa hybridiuhkaa. Yhteiskunnat ovat yhä riippuvaisempia satelliittipalveluista, mikä on huomiotava kriinkestävyyden kehittämisessä. (Kuva: NASA)

näköisesti kasvavat. Sään ääri-ilmiöitä ja vaikkapa kevättulvia voidaan jollakin tavalla ennustaa ja seurata. Yhtä aikaa useissa eri ulottuvuuksissa tapahtuvaa tahallista vaikuttamista on kuitenkin vaikeampaa kartoittaa ja seurata. Etenkin kun vihamielinen taho sopeuttaa kykyään ja vaikuttamisen keinovalikoimaansa joustavasti tilanteen kehittyessä. Uhkalle on vaikea nähdä selkeää alkua tai loppua. Vaikuttaminen voi kestää kokonaisuutena vuosia. Rinnalla on samalla myös tahattomasti aiheutuneita kriisejä, joita voidaan hyödyntää tahallisessa vaikuttamisessa.

Vaikka kuinka ennakoitaisiin, joudutaan varmasti myös reagoimaan. Reagoinnissa kyse on nopeasta ja täsmällisesti kohdistetusta vasteesta uhkan toteutuessa. Tässä valmiuden merkitys korostuu. Asevoimilla valmius on ollut keskeisenä kehittämiskohteena sekä kansallisesti että kansainvälisesti. Tuoreena esimerkkinä ovat nopean toiminnan joukot, joita kehitetään JEF (Joint Expeditionary Force) -yhteistyökehyksessä, jossa Suomi on mukana. Kriinkestävyys edellyttää kuitenkin valmiutta kaikissa yhteiskunnan toiminnoissa ja kaikilta turvallisuustoimijoilta. Samalla valmiuden rakentaminen muuttuu yhä haastavammaksi, koska sillä tulisi kyetä vastaamaan entistä moninaisempiin tilanteisiin.

Luottamus lujittaa kriisissä

Olenainen tekijä yhteiskunnan kriinkestävyydelle on luottamus. Merkittävää on sosiaalinen luottamus eli luottamus muihin ihmisiin. Tämä tarkoittaa, että voi luottaa siihen, että apua saa kriisissä ja on myös itse valmis auttamaan muita. Koronakriisi ja Ukrainan sota ovat tuoneet suomalaisten sosiaa-

lisen luottamuksen näkyviin konkreettisina tekoina. Rinnalla korostuvat tietysti myös varautumisen yhteistyöverkostoissa toimivien tahojen, kuten viranomaisten ja elinkeinoelämän toimijoiden keskinäinen luottamus sekä kansalaisen luottamus viranomaisiin ja poliittisiin päätöksentekijöihin.

Hybridivaikuttaminen pyrkii nimenomaan horjuttamaan luottamusta. Etsimään ja vahvistamaan kuiluja ja jakautuneisuutta eri väestöryhmien tai yhteisöjen välillä. Lietsoimaan poliittista eripuraa. Vahvistamaan eriarvoisuuden kokemusta ja turvattomuudentunnetta kansalaisten keskuudessa, mikä rapauttaa luottamusta viranomaisiin ja poliittista luottamusta. Tulevaisuudessa luottamuksen saavuttaminen ja säilyttäminen vaikeutuvat. Viranomaisten toiminnassa ja kriisijohtamisessa on kiinnitettävä sen vahvistamiseen enemmän huomiota. Ihmisten välistä luottamusta voidaan lisätä myös yhteisöllisyyttä vahvistamalla.

Yksilö turvallisuuden tuottajana

Kansalaiseenkin vaikutetaan. Tulevaisuudessa kansalainen ei ole pelkästään kriinkestävyyden kohde, vaan aktiivinen toimija ja turvallisuuden tuottaja itselle ja muille yhteisönsään. Yksilö voi omilla tiedoilla, taidoilla ja toiminnallaan, esimerkiksi omatoimisella varautumisella, joko vahvistaa – tai pahimmillaan heikentää – sekä omaa että yhteiskunnan kriinkestävyyttä. Voitaisiin puhua "kriinkestävyys-suhteesta", kuten maanpuolustussuhteestakin. Kansalaisten oma asenne, luottamus, osaaminen ja toimijuus varmasti vaikuttavat siihen, millaiseksi heidän panoksensa kriinkestävyyteen muodostuu.

Viranomaiset, järjestöt ja muut turvallisuustoimijat ohjaavat ja tukevat kansalaisten toimintaa jo nyt tilanteen mukaisesti. On mahdollista, että tulevaisuudessa kansalaiset voivat tukea myös viranomaisia yhä enemmän kriisitilanteissa esimerkiksi tuottamalla tilannekuvaa tai antamalla omia resurssejaan käyttöön. Kansalaisten tuesta jopa sotilaalliselle toiminnalle on nähty esimerkkejä Ukrainan sodassa: satelliittipalvelujen avulla tilannekuvan tuottamista on joukkoistettu, Iceyen satelliitti hankittiin joukkorahoituksella ja drooneja lahjoitettiin. Yksilöiden tiiviimpi osallistaminen kriisinkestävyyden tuottamiseen vaatii kuitenkin vielä pohdintaa lainsäädännöllisistä edellytyksistä kansalaisten osallistumiselle ja keinoja varmistaa toimijan luotettavuus tietoa jaettaessa.

Kansainvälisyys vipuvartena

Hybridiuhat eivät noudattele kansallisia tai fyysisiä rajoja, joten tulevaisuuden kriisinkestävyys on välttämätöntä rakentaa kansainvälisessä yhteistyössä. Tällöin tavoitella määritellään omien tavoitteiden rinnalla myös yhdessä kumppanien kanssa. Tietoa tuotetaan ja tarvittavaa toimintaa ja resursseja pyritään tunnistamaan ja kehittämään yhdessä. Kansainvälinen yhteistyö kuitenkin vaikeutuu, koska uhkien monimuotoisuudessa valtiot joutuvat priorisoimaan resurssejaan ja saattavat korostaa kriisinkestävyyden kehittämisessä erilaisia vaiheita, toimia tai uhkia.

Kansainvälisen yhteistyön onnistuessa suomalaisen yhteiskunnan kriisinkestävyyden rinnalla kuitenkin rakentuu laajemman yhteisön kriisinkestävyys. Suomelle tätä yhteisöä ovat esimerkiksi muut Pohjoismaat, EU ja Nato. Euroopan hybridiuhkien torjunnan osaamiskeskus on tuonut yhteen jo yli 30 osallistuvaa maata ja on yksi esimerkki kansainvälisestä yhteistyöstä ja edistää myös koordinoitua eri yhteisöjen välillä (erityisesti Nato ja EU). Kansainvälinen yhteistyö asettaa uusia paineita luottamuksen luomiseen ja vahvistamiseen yhteiskunnassa. Siinä saavutettu luottamus kuitenkin vahvistaa myös suomalaisen yhteiskunnan omaa kriisinkestävyyttä.



Kansalaiset voivat parantaa kriisinkestävyyttä omatoimisella varautumisella, kuten kotivaralla. (Kuva: Tero Heikkinen)

Vastuu kaikkien harteilla

Kriisinkestävyys on tulevaisuudessa edelleen validi, mutta myös kunnianhimoinen tavoite. Mitä se pitää sisällään ja mitä osia kriisinkestävyydestä voidaan jatkossa taata, voi muuttua. Se, mikä kriisinkestävyyttä uhkaa, muuttuu ja kehittyy jatkuvasti - ja tätä ajatusta hybridiuhka kuvaa hyvin. Roolit ja resurssit kriisinkestävyyden tuottamisessa yhteiskunnassa todennäköisesti muuttuvat. Myös toiminta kriisinkestävyyden turvaamiseksi muuttaa muotoaan tiedon ja kokemuksen karttuessa. Toiminta on edelleen kaikkien meidän vastuulla - hybridiuhkamalli on omiaan korostamaan tätä yhteistä vastuuta.

Vaikka kriisit olisivat sattumanvaraisia tai saataisiin hybridiuhkatilanteesta siltä vaikuttamaan, kriisinkestävyys ei ole sattumanvaraista. Ennakoinnilla, suunnittelulla ja jatkuvalla valmiuden kehittämisellä päästään tilanteeseen, jossa uhkiin ja häiriötilanteisiin on varauduttu. Yhteiskunnalla, sekä kansalaisella osana sitä, on parempi valmius vastata uhkiin - myös hybridi-sellaisiin - ja selviytyä niiden vaikutuksista.

Kirjoittaja:

Tekniikan tohtori Sari Uusipaavalniemi toimii erikoistutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen doktriiniosastossa tiedonhankinta-tutkimusallalla ja Puolustusvoimien sekondeeraamana Senior Analyysinä Euroopan hybridiuhkien torjunnan osaamiskeskuksessa, HybridCoE:ssä.



Puolustusvoimien logistiikkalaitos

Puolustusvoimat energiamurroksessa

Nyky-suomen sanakirja antaa sanalle murros mm. seuraavat merkitykset: syvällisen, jyrkän muutoksen kausi; käänne; sotilaskielessä: murroste. Otsikon voi siis tulkita siten, että Puolustusvoimat on energia-alueella syvällisen muutoksen edessä tai kohdannut aikamoisen esteen. Kummin vain, emme ole kuitenkaan yksin.

Teollinen vallankumous käynnistyi 1700-luvulla, ja sen merkittävä ilmiö oli höyrykone, joka kykeni muuttamaan polttoaineita mekaaniseksi energiaksi. Höyrykone piti pintansa Suomen rautateillä 1960-luvulle asti – maanteillä oli jo aikaisemmin siirretty hevospeleistä autoihin, jotka muutavat nestemäisen polttoaineen liikkeeksi. Jotain vastaavaa, mutta lopulta yhteiskunnan toiminnot täydellisemmin läpäisevää on tapahtumassa jälleen: ilmastonmuutos ja ympäristöongelmat pakottavat ottamaan käyttöön korvaajia fossiilille polttoaineille, ja samalla sähkön merkitys energian välittäjänä kohoaa aivan uuteen asemaan.

Tässä murroksessa moni asia muuttuu olennaisesti. Olemme saaneet tottua siihen, että huoltoasemalta tankkaamme autoomme bensiiniä tai dieselpolttoainetta – eikä tässäkään ole oikeastaan vapautta sen jälkeen, kun auto on tullut jo aikaisemmin valituksi. Tähän ei sinänsä tulle muutosta, mutta mitä polttoainetta käyttävän auton valitsemme, kun tarjolla näyttää käyttövoimaksi nyt ja lähitulevaisuudessa olevan aivan uusia polttonesteitä, kaasuja ja sähköä? Tai millä tuotamme tarvitsemamme sähkön, jotta tuotannon

hiilidioksidipäästöt saadaan kestäväälle tasolle? On hyvä huomata, ettei energian tuottaminen ole ainoa haaste, vaan yhä selkeämmin nähdään, että energiankulutus sinänsä tai edes sen kasvu on saatava kuriin.

Puolustusvoimat muuttuu yhteiskunnan mukana

Uusiutuvan energian tutkimukseen käytetään aikaisempaa enemmän voimavaroja – olkoonkin, että uusiutuvan energian määritelmästä ei kaikin puolin ole saavutettu yhteisymmärrystä. Yhteinen ominaisuus kaikille uusiutuville energialähteille näyttää olevan, ettei yksikään niistä yksin tule riittämään. Auringonvalo maapallolle lankeaa määrä, joka hyvin riittäisi kaikkiin tarpeisiimme, mutta vuorokaudenvaihtelu sekä sää- ja ympäristöolot rajoittavat tasaista tuotantoa. Sama ominaisuus vaivaa myös tuulivoimaa, ja näkyvämpä vesivoimalatkin ajoittain kärsivän vähäisistä sateista. Yhteiskunnan tarpeita ei siis kyetä täyttämään muutamalla energialähteellä, vaan tarvitaan monipuolinen joukko toimenpiteitä: monipuolinen ja ympäristöystävällinen energiantuotanto, varastointi ja sen käytön ohjaus sekä parempi energiatehokkuus. Energian varastointi ei voi enää perustua vain primäärienergian, kuten polttoaineiden varastointiin, vaan tuotannon vaihtelevuuden vuoksi tulee olla tapa varastoida lämpöä ja sähköä. Vain koko ketjun tuottajasta kuluttajaan – ja parhaimmillaan osallistuvaan kuluttajaan – kattava energijärjestelmän ohjaus varmistaa, että energiaa lopulta riittää ainakin yhteiskunnan olennaisimpiin tarpeisiin.



(Kuva: SA-kuva)



(Kuva: Antti Nikkanen/Puolustusvoimat)

Demokraattisesti hallitun maan asevoimina Puolustusvoimat sopeutuu toimimaan sille annetuissa puitteissa – eli sopeutuu mm. käyttämään niitä energianlähteitä, joita myös muu yhteiskunta käyttää. Sama ajattelu läpäisee koko Euroopan unionin, eli myös Euroopan asevoimien tulee sopeutua esimerkiksi niihin toimiin, joilla Euroopan unionin Fit for 55 -paketti pyrkii jo vuoteen 2030 mennessä laskemaan kasvihuonekaasupäästöjä 55 % verrattuna vuoden 1990 tilanteeseen.

Ensimmäistä kertaa Puolustusvoimat ei tässä tilanteessa ole. Ainakin voisin kuvitella, että vastaavia keskusteluja on käyty, kun hahmoteltiin siirtymää hevosista autoihin. Miksi ja miten siirtyä kulkuvälineestä, jolle ruokaa löytyi matkan varrelta ja jonka tarpeen tullen saattoi syödä, kulkuvälineeseen, jolle käyttövoima piti kuljettaa toisella kulkuvälineellä?

Uusien energianlähteiden kokeilu on aloitettu

Työ energiamurroksen selättämiseksi on aloitettu. Puolustusvoimien käyttämien kiinteistöjen lämmityksessä on suurelta osin luovuttu fossiilisista polttoaineista ja siirrytty hake- ja pellettilämmitykseen sekä erilaisiin lämpöpumppuratkaisuihin. Öljylämmitystä tarvitaan vielä erityiskohteissa, eikä hyvää ratkaisua niiden osalta toistaiseksi ole olemassa, mutta kehitystä seurataan. Aurinkovoimaloita tullaan rakentamaan kiinteistöjen yhteyteen, ja niiden voidaan odottaa maksavan itsensä takaisin jopa noin 10 vuodessa. Kansainvälisissä operaatioissa, joissa tukikohtia joudutaan perustamaan vaikeiden yhteyksien päähän tai muutoin heikon energiainfrastruktuurin varaan, aurinko- ja tuulivoimalat voivat merkittävästi auttaa vähentämään kalliita, hitaita ja myös vaarallisia polttoainekuljetuksia.

Tämä teknologia on jo pitkälti olemassa, joten riittänee vain sen sovittaminen Puolustusvoimien ja operaatioiden tarpeisiin.

Maa-ajoneuvoissa on kokeiltu uusiutuvaa dieselpolttoainetta hyvällä menestyksellä, ja seuraava vaihe voisikin olla laaja, esimerkiksi varuskuntakohtainen uusiutuvan dieselpolttoaineen pilotointi. Korkeaseosetanolin (kauppanimi E85 tai RE85) on todettu soveltuvan bensiinikäyttöisten aggregaattien ja bensiinimoottorisen tela-ajoneuvon polttoaineeksi lopulta sangen pienin muutoksin. Sen varastoitus rajautuu kuitenkin muutamaa kuukauteen, mikä on otettava huomioon. Hyvä on kuitenkin tietää sen soveltuvan käyttöömme.

Uusien käyttövoimien osalta vallitsee edelleen merkittäviä epävarmuuksia siitä, millaisen aseman niistä kukin tulee saamaan. Sähköajoneuvot tullevat olemaan valtaratkaisu keveässä ja lyhyen matkan liikenteessä, mutta pitkän matkan kuorma- ja linja-autojen kohdalla ratkaisu ei ole selvä. Sotilaallisessa käytössä sähkö- ja hybridi-ajoneuvoilla voi olla joitain varteenotettavia etuja perinteisiin verrattuna, mutta niiden sähkönsäntarpeen täyttäminen kenttäolosuhteissa vaatii vielä uusia ratkaisuja.

Käytössämme olevien ajoneuvojen ja alusten pitkä elinjakso muodostaa oman erityiskysymyksensä. Jo kauan sitten hankitun kaluston on suunniteltu olevan käytössä vielä kymmeniä vuosia. Kuinka siis varmistamme niihin soveltuvan käyttövoiman saannin? Pitääkö niitä modifioida ennaltaehkäisesti vai pitääkö niistä peräti luopua nopeutetusti? Tällä hetkellä luottamus on kuitenkin siinä, että löydämme näihin ajoneuvoihin ja aluksiin soveltuvan uuden polttoaineen.



(Kuva: Woikoski)

Lentävä kalusto on oma lukunsa. Tehty F35-ratkaisu ja Yhdysvaltain merkittävä sitoutuminen uusien lentopolttoaineiden kehittämiseen antavat toivoa myös kestäväen lentopolttoaineratkaisun löytymiseen. Suomi ei tässäkään asiassa ole yksin, sillä Naton yhteistoiminnan kautta kaikki Nato-maat käytännössä joutuvat osallistumaan työhön yhteisen polttoaineratkaisun löytämiseksi. Iso-Britannia on jo tehnyt periaatepäätöksen siirtymisestä lentopolttoaineeseen, joka sisältää puolet uusiutuvaa polttoainetta. Nopeaa tämä siirtyminen ei ole, mutta selvä osoitus suuntauksesta on näin saatu.

Useita haasteita ratkottavana

Myös uusien käyttövoimien (sähkö, kaasut, uudet polttonesteet) varastointi ja jakelu ja miksei myös tuotanto vaativat huomiota. Uusiutuvaa dieselpolttoainetta on tuotettu yli 10 vuotta, joten vähin erin sen varastointikestävydestä alkaa olla kokemusta. Puolustusvoimien tarve on kuitenkin varastoida polttoainetta tankattuna ajoneuvojen ja alusten tankkeihin jopa vuosiksi, eikä polttonesteiden selviytymistä tällaisista oloista ole kokemusta. Asia ei ole yksinkertainen selvittää, mutta työhön on tartuttu.

Uusien nestemäisten polttoaineiden jakelu voidaan mitä ilmeisimmin toteuttaa olemassa olevalla kalustolla. Siviiliyhteiskunta tulee kuitenkin ottamaan liikennekäyttöön myös erilaisia kaasuja, kuten biokaasua ja vetyä. Tällöin tulee

ratkaistavaksi myös niiden käyttö Puolustusvoimissa ottaen huomioon varautuminen ottoajoneuvojen käyttöön poikkeusolosuhteissa. Kaasu vaikuttaa hankalalta polttoaineelta kenttäolosuhteissa, mutta kovin vaikeaksi muodostuu tilanne, jossa Puolustusvoimat ei poikkeusoloissa kykenisi toimimaan yhteen siviililogistiikan kanssa.

Uusiin käyttövoimiin kohdistuu odotuksia myös omavaraisuuden saavuttamisesta tai edes lisäämisestä – siitä huolimatta, ettei Suomi ole oikeastaan sataan vuoteen enää ollut energiaomavarainen. Sähkölöpolttoaineita (ns. Power-to-X-konsepti) voidaan tuottaa esimerkiksi hajottamalla vettä sähkön avulla vedyksi ja hapeksi. Tämän jälkeen vetyä voidaan yhdistää – jälleen sähkön avulla – hiilidioksidin kanssa metaaniksi ja edelleen raskaammiksi hiilivedyiksi ja polttonesteiksi. Tällaisten polttoaineitten tuottaminen Suomessa on totta jo 2030-luvulla, kun tuulivoimaloiden ylituotantoa on tarpeen suunnata jonnekin. Tämä on eräs esimerkki siitä, kuinka maamme polttoaineomavaraisuutta voidaan kasvattaa, mutta täyttää omavaraisuutta ei ilmeisesti tulla kuitenkaan koskaan saavuttamaan.

Ongelmia ja tutkittavia asioita energiamurroksessa tulee riittämään. Selvää täytyy kaikille olla, ettei nykytilanteeseen ole jättäytymistä, eikä Puolustusvoimat voi toisaalta tässäkään asiassa asettautua muun yhteiskunnan ulkopuolelle erilliseksi saarekkeeksi. Energiamurroksen Suomi ja sen Puolustusvoimat tulee joka tapauksessa ylittämään.

Kirjoittaja:

FT Kyösti Huhtala työskentelee tutkimus- ja kehittämistoiminnan koordinaattorina Puolustusvoimien logistiikkalaitoksella.

Lisäävä valmistus sotilaslogistiikan tueksi



Kuva 1: 3D-tulostin ja tulostettu kappale. (Kuva: Pixabay)

Tässä artikkelissa tutustutaan yleisesti AM/3DP:n (Additive Manufacturing, 3D-printing) nykytilaan ja kehitysnäkömiin. Lisäävä valmistus (AM) on menetelmä, joka mahdollistaa monimutkaisten ja yksilöllisten tuotteiden valmistuksen ilman erillisiä työkaluja tai muotteja. Ainetta lisäävän valmistuksen yleisesti tunnetuin osa-alue on 3D-tulostus, jolla saavutetaan monia hyötyjä verrattuna perinteisiin ainetta poistaviin tai ainetta muovaaviin valmistusmenetelmiin. 3D-tulostus on valmistustekniikka, jonka Charles Hull esitteli ensi kertaa vuonna 1986.

Käsitteiden näkökulmasta artikkelissa käytetään ISO-standardikomitean suosituksena termiä AM, kun kyseessä on teollinen muovin ja metallin valmistus. Termiä 3D-tulostus on suositeltu käytettäväksi silloin, kun kyseessä on edullisemmilla laitteilla tapahtuva kuluttajatulostus.

AM mahdollistaa globaalin keskitetyn tuotannon hajauttamisen lokaaliksi tuotannoksi, jossa valmistus tapahtuu lähellä tuotteen loppukäyttäjää tai loppukäyttäjä tulostaa tarvitsemansa tuotteen itse. AM-menetelmällä valmistettuihin tuotteisiin sitoutuu merkittävästi vähemmän raaka-ainetta, ja lyhyen toimitusketjun ansiosta varasto- ja hyllykapasiteetti voidaan paremmin optimoida vastaamaan todellista tarvetta. Tällä voidaan saavuttaa myös myönteisiä ympäristövaikutuksia. Tuote siirretään digitaalisena valitulle tulostuspaikalle, jossa kappale tulostetaan todelliseen muotoon ja otetaan käyttöön. Mikäli rällaisessa tilanteessa tulostusmateriaalia on omassa hallinnassa, on sillä kokonaisuudessaan huoltovarmuutta kehittävä vaikutus.

AM:n muutamia keskeisiä hyötyjä verrattuna perinteisiin valmistusmenetelmiin:

- Tuotantoa ei ole sidottu aikaan tai paikkaan. Tuote voidaan tulostaa siellä, missä sitä todellisuudessa tarvitaan tai arvioidaan tarvittavan, eikä sitä tarvitse valmistaa toisella puolella maapalloa ja odottaa, että se toimitetaan mahdollisesti epävarmassa toimitusketjussa.
- Valmistuspuutteiden luomiseen ja koneiden käyttöön tarvitaan huomattavasti vähemmän henkilöstöä, ja tuotteen valmistamiseen tarvittava materiaalimäärä on pienempi kuin perinteisillä menetelmillä. Näillä tekijöillä on siten alentava vaikutus logistiikan kokonaiskustannuksiin.
- Tuotteet saadaan paremmin optimoitua (esim. paino tai lujuus), eikä valmistusmenetelmä aseta juurikaan rajoituksia tuotteen muodolle ja varsinaiselle käyttötarkoitukselle.
- Suunnitteluvaiheesta päästään siirtymään suoraan lopputuotteen tulostamiseen, joten uusien mallien ja ideoiden käytännön testaamiseen päästään nopeasti ilman isojen tuotantosarjojen viiveitä. Tämä mahdollistaa myös tuotteen jatkuvan kehittämisen vastaamaan paremmin sen varsinaista käyttötarkoitusta.

AM-menetelmä ja systeemisuunnittelun kehittäminen

AM-menetelmässä yhdistyvät materiaali, kone ja suunnittelu. Tällä yhdistelmällä voidaan tuottaa muotoja, jotka eivät ole mahdollisia perinteisillä valmistusmenetelmillä. Esimerkiksi topologisesti optimoituja kappaleita ei ole aiemmin kyetty valmistamaan kustannustehokkaasti perinteisten valmistusmenetelmien rajoituksien takia, mutta AM soveltuu siihen erinomaisesti.

Digitaalisen tuotesuunnittelun avulla voidaan muuttaa kappaleita yhdistämällä useita kappaleista koostuvia kokoonpanoja yhdeksi tuotteeksi. Yhdistäminen vähentää liitoskohtia, kappalemääriä ja tuotantokustannuksia. Mahdollisuus yhdistää osia, sekoittaa materiaaleja, tuottaa kevyitä muotoja ja rakentaa kappaleen sisäisiä muotoja vaikuttaa siihen, että systeemit saadaan toimimaan optimoidummin. Nopea suunnittelu ja prototyyppien valmistus lyhentävät merkittävästi tuotantoon käytettävää aikaa, jolla systeimi saadaan nopeammin loppukäyttäjän käyttöön. Kuvassa 1 on havainnollistava esimerkki 3D-tulostuksesta.

AM-teknologia muuttaa tuotteiden ja erilaisten systeemien valmistusperiaatteita sekä tuotteisiin liittyvän tiedon ja datan käsittelyä. AM on tehokas työkalu, joka mahdollistaa uusien innovaatioiden kokeilun ja puolustusmateriaalien modernisoinnin tukiosien ja taisteluelementtien valmiudessa. AM mahdollistaa digitaalisen valmistamisen periaatteiden

hyödyntämisen materiaalista suorituskyykyä rakennettaessa sekä perinteisen materiaallisen suorituskyyvyn rakentamisen muuttamisen (suunnittelu-rakentaminen-testaus → mallintaminen-analysointi-rakentaminen).

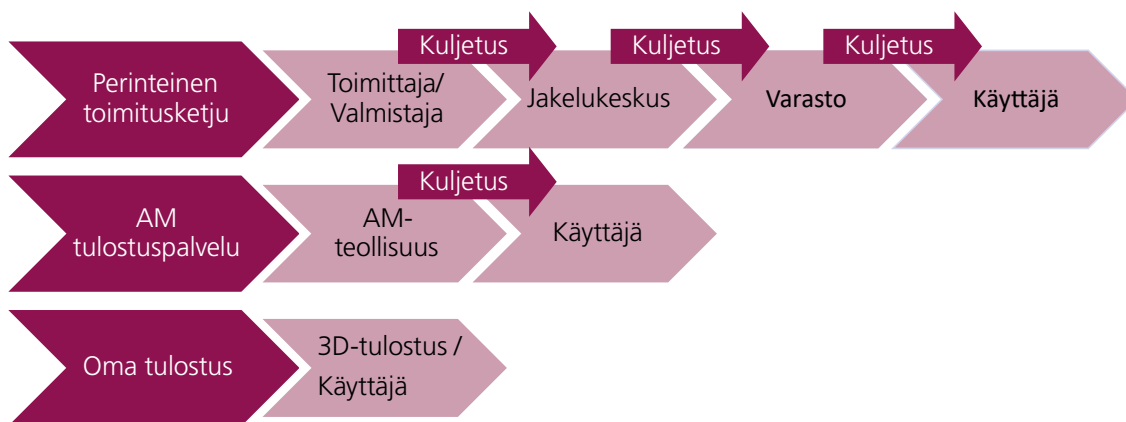
AM:n nykyisessä kypsyyssvaiheessa voidaan sen kapasiteetti ottaa tukemaan materiaalista suorituskyykyä erityisesti niissä kohteissa, jotka ovat ongelmallisia ja kalliita toteuttaa perinteisillä valmistusmenetelmillä. Kun tuote tai sen osat ovat digitoitu kirjastoksi, ne voidaan tulostaa käyttöön siellä, missä kyseistä tuotetta tarvitaan tai niin lähellä kuin tilanne sen mahdollistaa. Digitaalisten kaksosten hyödyntämisellä voidaan näin ollen vaikuttaa tuotteiden elinkaarenhallintaan. Lisäksi on mahdollista, että digitaalista kaksosta kehitetään ohjelmistojen avulla, jolloin viimeisin ja päivitetyn versio tulostetaan.

Samalla, kun lisäävän valmistuksen teollinen tuotanto kasvaa, on tutkimuskäytössä onnistuttu lisäämään 3D-tulostukseen jo neljäs ulottuvuus. 3D-tulostuksessa neljäs ulottuvuus (aika) mahdollistaa esimerkiksi tulostetun kappaleen muodon muuttumisen määritetyn ulkoisen ärsykkeen, kuten lämpötilan muuttumisen seurauksena. Tulostettu kappale on halutun mallinen ilmassa, mutta siirrettäessä veteen se muuttuu toiseen vaadittuun muotoon. Tulevaisuudessa tämä tulee lisäämään AM:n käytettävyyttä huomattavasti nykyistä laajemmin.

AM:n haasteet liittyvät tuotteiden tunnistamiseen ja määrittelyyn. Tällöin kysymyksiä ovat mm. se, mitkä komponentit ovat sopivia 3D-tulostukseen tai onko tuote taloudellisesti järkevää tuottaa 3D-tulostamalla. Näihin vaikuttavat mm. koko, muoto, materiaali ja käyttöön liittyvät tekijät. Haasteena on myös käytössä olevien tulostusmateriaalien rajallisuus, tuotteiden laadunvalvonta ja hyväksyntäprosessit sekä immateriaalioikeuksien hallinta.

Parempi materiaallinen valmius ja arvoketjut

Nopea ja iteratiivinen lähestymistapa materiaallisen suorituskyyvyn rakentamiseen ja ylläpitoon vähentää logistiikan kustannuksia, teknologista vanhentumista ja hankintariskejä. AM vähentää materiaalien käyttöönottoon vaadittavaa aikaa, jolloin kriittinen materiaali on varmemmin oikeassa paikassa oikeaan aikaan. Erilaisia prototyyppejä voidaan valmistaa nopeasti, jolloin varsinaisen lopputuotteen valmistamiseen kuluvaa aikaa voidaan vähentää. AM mahdollistaa perinteisten toimittajaverkostojen ja arvoketjujen laajentamisen uusilla vaihtoehtoisilla toimintoilla. Joustavalla tuotannolla voidaan osaltaan vähentää vanhenevien tuotteiden varastointitarvetta ja vähentää mahdollisen materiaalipulan aiheuttamia riskejä. Kuvassa 2 on esitetty pelkistetyt arvoketjujen eroavaisuudet.



Kuva 2: Arvoketjujen vertailu.

AM mahdollistaa tuotannon hajauttamisen ja skaalaamisen useisiin koneisiin ja paikkoihin. Tuotanto voidaan optimoida lähemmäs aikaa ja paikkaa tarpeen mukaan. Tällä vähennetään laitteiden keskeytysaikaa kustannustehokkaasti ja joustavasti, logistiikan periaatteiden mukaisesti. Vanhempiä tuotteita, joihin ei voida hankkia osia tai niistä ei ole tietoja, voidaan AM yhdistää reverse engineer -periaatteisiin, jolloin vanhentuvien järjestelmien elinkaarta voidaan jatkaa ja ylläpitää niiden valmiutta.

Johtopäätökset

AM:n potentiaali erilaisiin käyttökohteisiin laajentuu vuosittain yhdessä tulostusraaka-aineiden kehittyessä. Tämä tarjoaa merkittäviä ja poikkileikkaavia mahdollisuuksia logistiikkatoimialalla. Sotilaslogistiikalle AM tarjoaa mahdollisuuden esimerkiksi itsenäiseen, mutta rajoitetun mitakaavan varaosatuotantoon. Samanaikaisesti kaupallisten 3D-tulostimien hinta halpenee.

Lisäävän valmistusmenetelmän ja digitalisaation mahdollisuuksien yhdistämisellä voidaan saavuttaa etuja myös materiaalien elinkaaren hallinnassa. Esimerkiksi lohkokejuilla voidaan osaltaan kehittää kybersietoisuutta digitaalisessa muodossa oleville tuotteille, jotta olemassa olevan datan sabotointi ja väärinkäyttö olisi vaikeampaa. Synergiaetuja voidaan löytää myös tuotteen digitaalista kaksosta hyödyntämällä, jolloin fyysisen tuotteen tietoja voidaan ylläpitää sekä päivittää digitaalisena koko elinkaaren aikana. Tällöin tuotteiden elinkaarta voidaan paremmin ennakoida ja arvioida. Tämä vähentää yllätyksellisiä kunnossapidon tarpeita ja toisaalta tuotteiden tarpeetonta ylihuoltamista voidaan välttää. Tällöin kunnossapidon resurssit saadaan paremmin kohtaamaan todellisia tarpeita.

Taktisen tason yksiköiden on mahdollista kehittää AM:n avulla innovatiivisia tuoteratkaisuja. Yhdistettynä yksilöllinen ja digitaalinen lähestymistapa on tehokkaan AM-käytön kulmakiviä. Loppukäyttäjän kehitysehdotukset ja innovatiiviset ratkaisut voidaan yhdistää suoraan suunnittelukeskukseen ja materiaalien elinkaarenhallintaan.

Kirjoittajat:

Insinööriyliluutnantti, väitöskirjatutkija Eemeli Kärkäs toimii tutkimusinsinööriä Puolustusvoimien logistiikkalaitoksen Logistiikkakoulussa.

Kapteeni, väitöskirjatutkija Ville Nokipii toimii sektorijohtajana Puolustusvoimien logistiikkalaitoksen Logistiikkakoulussa.



Maasotakoulu, Maavoimien tutkimuskeskus

Sodankäynti muutoksessa

– Havaintoja Ukrainasta

Venäjän hyökkäys Ukrainaun helmikuun lopussa avasi sodankäynnin tutkimukselle Pandoran lipaan. Artikkeleissa avataan muutamia taistelukentältä poimittuja ilmiöitä, joiden voidaan arvioida muuttavan toimintatapoja ja operaatiotaidollisia käsityksiä sodankäynnistä.

OSINT reaaliaikaisen tilanneymmärryksen mahdollistajana

Maailma tulee muistamaan 24.2.2022 yöllä alkaneen Ukrainan sodan informaatiotulvasta. Tiedot tapahtumista välittyivät ensimmäistä kertaa reaaliaikaisesti länsimaisten yleisön tietoisuuteen televisioinnin lisäksi sosiaalisen median ja internetin välityksellä. Ukrainan tapauksessa uutta on ollut, että yleisö on voinut havainnoida taistelukenttää paikka- ja olosuhdetietojen, tilannekuvan ja taistelutoimien osalta ensilinjan tapahtumat mukaan lukien.

Flight radar, kaupalliset satelliittiyhtiöt, Starlink, mobiilisoluvellukset, tilannekuvan joukkoistaminen, kaupalliset dronet ja arjen johtamisvälineet ovat esimerkkejä taistelutilan tarkkailun ja tilanneymmärryksen muodostamisen mullistaneista sovellutuksista. Sota tuli kaikkien tavallisten ihmisten saataville yhdellä kertaa. Samalla taistelutila muuttui läpinäkyväksi komentajille, alimman taisteluteknisen tason johtajille ja yksittäisille sotilaille sekä aselavettien operaattoreille.

Ukrainan armeijan etukäteen heikoksi arvioitu kyky taistelutilan havainnointiin osoittautui sodan edetessä virheelliseksi. Maan kyky hankkia käyttöönsä tiedustelutietoa, länsimaista sotilasteknologiaa sekä kykyä hyödyntää esimerkiksi kaupallisia drone-järjestelmiä on osoittanut Ukrainan olevan ketterä rakentamaan suorituskykyä, joista aiemmin ei sodankäynnin näyttämillä ole juuri ollut havaintoja.

Hajauta ja hallitse – Venäjän joukkorakenteet osoittavat heikkoutensa

Talousmaailmassa osakesalkun hajauttaminen on muuttaman poikkeusoloissa vietetyn vuoden ajan tarjonnut satumaisia mahdollisuuksia rikastumiseen. Myös Rooman hallinnon ylläpitäminen edellytti hallittavien jakamista etupiiriryhmiin, jottei maan ylintä vallanpitäjää kyettäisi haastamaan kootusti. Mikäli Venäjän sotataidolliset periaatteet nojasivat sodan alkuvaiheessa yrityksiin tuoda talousmaailman ja historian hallinnon oppeja sodankäynnin työkaluiksi Ukrainassa, hairahtuiva sodanoppineet pahemman kerran.

Venäjän asevoimien reformi on 2013 alkaen assosioitunut asevoimien komentajan kenraali Valeri Gerasimovin doktriiniksi kutsuttuun teoriaan. Gerasimovin ajatuksen mukaan modernissa sodankäynnissä yhdistetään asevoimien yhteisoperaatioiksi sotilaallisia ja ei-sotilaallisia keinoja poliittisten tavoitteiden saavuttamiseksi. Ukrainan sodan alkuvaiheen perusteella oli tehtävissä johtopäätös, että Venäjän operaatiosta puuttui painopiste ja voimien hajauttaminen osoittautui kriittiseksi virheeksi. Virheeksi, joka esti menestyksen hyödyntämisen. Jälkikäteen voidaan väittää, että nopea Ukrainan romahduttaminen olisi edellyttänyt painopisteen muodostamista sen sijaan, että operaatio hajautui pataljoonan taisteluosastojen koordinoimattomiksi taisteluiksi kuvan osoittamilla rintamalahkoilla.

Hyökkäyssuuntien määrä ja operaatioalueen laajuus suhteessa maajoukkojen määrään ajoi Venäjän väistämättä tilanteeseen, jossa voima hajaantui. Jokainen voimasuhdelaskentaan perehtynyt kykenee arvioimaan, että toiminta tulisi johtamaan hyvin nopeasti kulminaatiopisteeseen ja että päämäärän tavoittelu olisi utopistista. Venäjän optimistinen arvio menestyksestä on täytynyt perustua olettamukseen Ukrainan vastarinnan ja maanpuolustustahdon heikkoudesta sekä omien voimien ylivoimaisuudesta.



Venäjän hyökkäys 24.2.2022 klo 3.00. (Grafiikka: Pasi Puhakka, lähteet: <https://www.understandingwar.org> ja RUSI raportti: Preliminary Lesson in Conventional Warfighting from Russia's Invasion of Ukraine: February–July 2022)

Venäjän valitsema tapa organisoida joukot operaation päämäärien saavuttamiseksi osoittautui sodan alkuvaiheessa vähintään kyseenalaiseksi ja pataljoonan taisteluosastojen suorituskyyvyt näyttäytyivät riittämättöminä operaatiotempon ylläpitämiseksi ja tavoitteiden saavuttamiseksi. Jatkuvan rynnäkönn paine on loistanut poissaolollaan ainakin liikekannallepanoon saakka, ja Venäjän joukot ovat kamppailleet jatkuvasti henkilöstötäydennyksien ja joukkojen rotatoinnin kanssa.

Pataljoonan taisteluosastojen taistelua ilman ylemmän johdortortaan koordinoitua johtamista ja aselajien sekä toimialojen välistä yhteistoimintaa voidaan verrata vanhaan sananlaskuun, jossa todetaan, että ”loppui lyhyeen kuin kanan lento”. Toisaalta Venäjän kyky ylläpitää massamaisesti joukkoja ja asejärjestelmiään mitataan vasta liikekannallepanon valmistumisen jälkeen.

Tarkasteltaessa venäläisen pataljoonan taisteluosaston organisaatiota, taistelujärjestelmiä ja henkilöstöä on todettavissa, että taisteluvoima suhteessa tukijärjestelmiin on vähäinen. Toinen mielenkiinnon herättävä seikka on se, että venäläisessä taktiikassa puhutaan joukolle tarvittaessa osoitettavista vahvennuksista ja alistuksista. Harjaantuminen toimimaan yhtenäisenä taisteluyksikkönä edellyttää kuitenkin pitkäaikaista harjoittelua ja yhteistoiminnan toteuttamista. On siis erikoista ajatella, että komentajalle räätälöidään tehtäväkohtaisesti johdettavaksi erilaisia alistettuja joukkoja. Kyseessä lienee yritys noudattaa ”joukot tehtävään” -periaatetta. Pataljoonan tasoisissa joukkotyypissä periaatteen noudattaminen muistuttaa mikromanagerointia, vaikka komentajan työkalun tulisi soveltua suoraviivaiseen vihollisen lyömiseen. Sanonta ”Train as you fight” on sanan varsinaisessa merki-

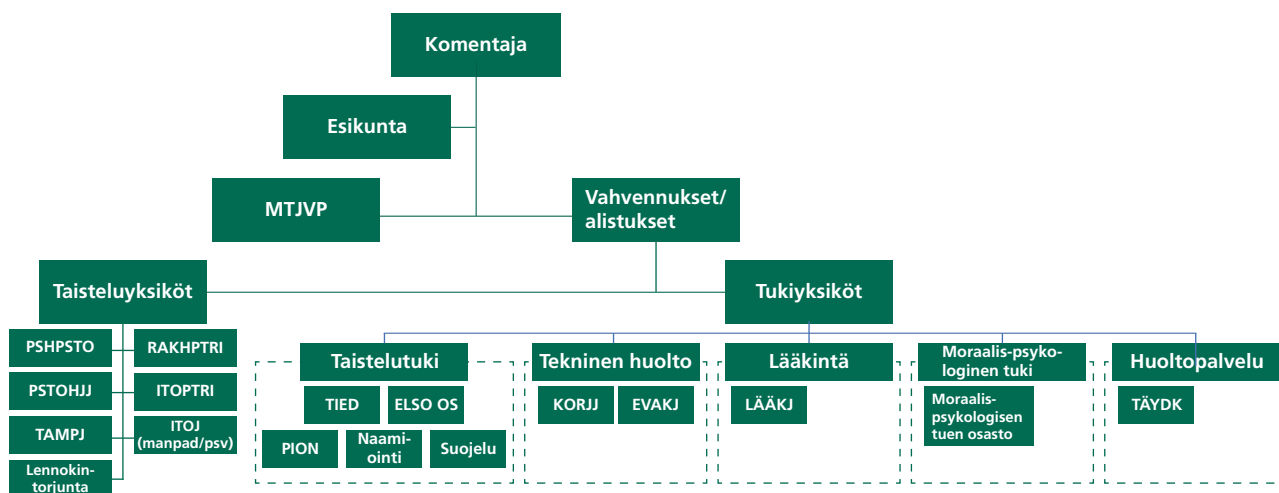
tyksessä avainasemassa. Harjaantuminen tehtäviin itsenäisenä ja yhtenäisenä joukkona, jolla on suorituskyyvyt käytösään tehtävien hoitamiseen, on ratkaisevan tärkeää.

Uudet teknologiat tasoittavat ylivoimaa – Alivoimaisen taktiikka Ukrainassa

Siinä missä Venäjä on edistänyt päämääriään painopisteisesti maajoukkojen suorituskyyvyillä, on Ukraina hyödyntänyt omalla maaperällään koko yhteiskunnan ja läntisten kumppaneiden tarjoaman tuen. Myös sodankäynnin oikeutuksella on ollut merkityksensä voimatasapainon muodostumisessa.

Ukraina on saanut läntisen maailman toimittamaan niin sotilasteollisuuden tarvikkeita kuin asejärjestelmiä käyttöönsä. Lisäksi yksityiset tahot ja yritykset ovat osoittaneet tukensa Ukrainan sotaponnistelujen hyväksi. Esimerkkinä SpaceX-yhtiön Starlink-satelliittitiedonsiirtojärjestelmä, jonka yhtiö on avannut Ukrainan käyttöön. Teknologia-yli-voima taistelulentäällä voidaan toisin sanoen saavuttaa, vaikka valtion omat voimavarat ja resurssit eivät normaalisti siihen riittäisi. Edellytyksenä on, että sodankäynnin oikeutus on yhteistyötahojen arvomaailman mukainen. Ukrainan sota on osoittanut, että olemalla mukana länsivaltojen arvomaailmassa ulkoisen avun saaminen voi keikuttaa voimatasapainoa alivoimaisen eduksi.

Ukrainan oppien perusteella alivoimaisen on syytä rakentaa verkostonsa ja tuki poikkeusoloja varten kuntoon normaalioloissa sekä ylläpidettävä jatkuvaa valmiutta turvallisuusympäristön muutoksien varalta. Verkostoissa erityisesti lähimmät kumppanimaat ja yhteistyöorganisaatiot ovat arvossa poikkeusolojen kriiseissä.



Pataljoonan taisteluosasto Venäläisten taktiikan oppikirjojen mukaan. (Lähde: Литвиненко В.И., Цеханович Д.Б.: Батальонная (ротная) тактическая группа в основных видах боя. (Военная подготовка). Учебное пособие. Издательство Кнорус, 2022)

Johtopäätökset

Alivoimaisen sodankäynnissä aloitteen tempaaminen omalla maaperällä on syytä tehdä epäsuorin lähestymiskeinoin ja hyödyntämällä teknologiset ratkaisut, jotka eivät ole perinteisesti kuuluneet edeltävien sotien keinovalikoimaan. Eri-tyisesti teknologiat, joilla on kaksoiskäyttömahdollisuuksia ja kyvykkyyksiä, on yhdistettävä osaksi sodankäyntiä. Tällä alalla on tutkimukselle tilausta, jotta löydetään keinot yhdistellä tulevaisuuden suorituskyvyt osaksi sodankäyntiä. Tärkeää on tunnistaa sodankäyntiä avustavat teknologiat, jotka pienen valtion resurssein ovat hyödynnettävissä kustannustehokkaasti.

Ajatusmaailmaa on tarkennettava teknologiaorientoitumisen lisäksi joukkorakenteiden muodostamiseen liittyvässä ajattelussa. Venäjä on omalla toiminnallaan Ukrainassa osoittanut, että kevyiksi joukoiksi luettavat pataljoonan taisteluosastot eivät ole kyenneet menestyksekkääseen toimintaan taistelukentällä. Itsenäiseen taisteluun soveltuvat suorituskyvyt, aselajien tuki ja ylemmän johtoportaahan koordinointi ovat välttämättömyyksiä menestyksen takaamiseksi. Ei pidä unohtaa sitä tosiasiaa, että venäläisten pataljoonan taisteluosastojen jalkaväen määrä on pudotettu minimiin, eikä voima ole osoitetusti riittänyt menestykselliseen taisteluun aselajituen kanssa.

Jalkaväen vähentämistä trendinä on pidettävä vähintäänkin kyseenalaisena, vaikka väitetäänkin, että teknologiset ratkaisut pienentäisivät jalkaväen tarvetta taistelukentällä. Tähän harhakuvitelmaan ei ole alivoimaisen taktiikassa varaa. Viime kädessä taistelut ja operaatiot ratkaistaan menestyksellisellä jalkaväkitaistelulla. Jalkaväen lisääminen on resurssitietoinen ja varma valinta vahvan maanpuolustustahdon omaavan kenttäarmeijan rungoksi ja takaa pitkäkestoisen operoinnin ja tempon ylläpitämisen.

Miten Ukrainan oppien voidaan odottaa muuttavan sodankäynnin doktriineja? Ensimmäinen filosofinen muutos tulee tapahtua joukkokokojen ja niiden taisteluvoiman alinomaisen lukumääräisen pienentämisen ihannoinnissa. Toinen muutos tulee tapahtua itsenäisen taistelukyvyyn ja siihen tarvittavien suorituskykyjen organisoimisessa. Kaikkei ei voida osoittaa yläjohtoportaahan hoidettavaksi varsinkaan silloin, kun sotajoukon on itse ratkaistava taistelu edukseen. Kolmanneksi innovointi tulee liittää yhä kiinteämmäksi osaksi sodankäynnin suorituskykyjen rakentamista ja uusien suorituskykyjen operatiivisen käyttöön ottamisen syklejä on puristettava lyhyemmiksi.

Ketteryyden ei ole keveyttä. Enimmäkseen se on yhdistelmä nopeutta ja voimaa!

Kirjoittaja:

Everstiluutnantti Pasi Puhakka palvelee Maavoimien tutkimuskeskuksessa tutkimusalaajohtajana.



Ilmavoimat

Monimenetelmällistä lentosimulaatiotutkimusta

– neurofysiologiaa ja oppimiskokemuksia



Simulaatioharjoite ja mittaukset Ilmasotakoululla 2019. (Kuva: Antti Siukola/Puolustusvoimat)

Vuonna 2019 aloitettiin KoKemus-hanke – Koulutuspalveluiden ekosysteemin kehittäminen fysiologisen mittaustiedon ja älykkäiden järjestelmien avulla – jossa Ilmasotakoulu oli yksi pääyhteistyökumppani. Tavoitteena oli linkittää eri simulaatio-oppimisen toimijoita erityisesti Keski-Suomessa, ja hanketta rahoitti Keski-Suomen maakuntaliitto.

Tiedossa oli, että verkostossa on mukana jo urauurtavaa työtä simulaatio-oppimisen alalla tehneitä aloja, kuten ilmailu (Ilmasotakoulu ja Patria) ja hyvinvointi (Jamk ja Liikkeen viisaus), mutta myös vahvasti kasvavia aloja kuten ammatillisen opetuksen metsäsektori ja logistiikka (POKE), aistihuoneet (valtion erityisoppilaitos Valteri-koulu) ja hyvinvointisektorin yrittäjyys (Firstbeat Technologies). Mielenkiintoinen oli myös koordinoivan organisaation eli Jyväskylän yliopiston yhdistelmä, jossa oli niputettu aivotutkimus, kasvatustiede, kognitiotiede ja informaatioteknologia. Yhtenä yhteisenä

tavoitteena oli tieteenalojen rajoja ylittävä tekeminen ja toisilta oppiminen.

Mitä muuta sitten tavoittelimme yhdessä tällä verkostolla? Verkostoa kiinnosti erityisesti, miten neurofysiologiset mittausten tulokset ja oppijan oma oppimiskokemus voitaisiin luotettavasti yhdistää, ja miten tätä tietoa sitten voitaisiin tulevaisuudessa hyödyntää mahdollisimman optimaalisten oppimistilanteen luomiseksi kullekin oppijalle.

Miten ja miksi tätä tehtiin?

KoKemus-hankkeen verkostoitumistoimenpiteinä järjestettiin avoimia työpajoja ja seminaareja. Useat näistä toteutuivat verkossa erilaisilla alustoilla jo koronastakin johtuen, mutta toisaalta ne saavuttivat laajemminkin niin kansallisen kuin kansainvälisenkin kuulijakunnan. Merkittävä rooli oli hankkeen sisäisillä ja eri organisaatioiden kanssa erikseen pi-

detyillä työpajoilla, joihin liittyi yleensä myös pilotointi ko. organisaatiossa.

Teoreettisena taustana hankkeessa oli kokemuksellinen oppiminen (päävastuussa kasvatustieteen tohtori Anita Malinen), johon pureuduttiin mahdollisimman paljon todellisuutta jäljittelevän simulaatio-oppimisen (päävastuussa kognitiotieteen tohtori Minna Silvennoinen) kautta. Lisäksi tuotiin vahvasti mukaan aivojen ja kehon (neurofysiologisen) reaktioiden mittaaminen (päävastuussa aivotutkimuksen professori Tiina Parviainen). Kokonaisuudesta ja oppimisen teknologioista vastasi opetusteknologian dosentti Mikko Vesisenaho.

Kokemuksellista oppimista on paljolti tutkittu laadullisen menetelmien välityksellä, ja neurofysiologinen aivotutkimus taas tuottaa määrällistä dataa. Päätimme ennakkoluulottomasti yhdistellä näitä kahta hyvin erilaista tulokulmaa, mihin KoKemus-kehittämishanke tarjosi loistavan pohjan, ja tällaista oli tehty kansainvälisestikin hyvin vähän. (Lisää tietoa lähestymistavasta: Combining Physiological and Experiential Measures to Study the Adult Learning Experience. https://doi.org/10.1007/978-3-031-08518-5_7.)

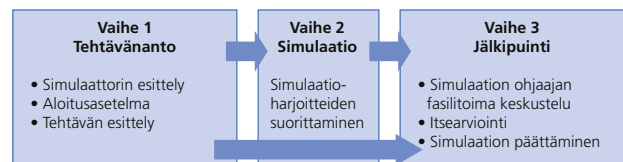
Toinen innovatiivinen elementti tutkimuksessa oli, että siirsimme aivomittaukset laboratoriosta sinne, missä tavallisestikin toimitaan (luonnolliseen toimintaympäristöön). Aivotutkimuksen kentällä on kansainvälisestikin käynnissä trendi, jossa mittareita sovelletaan laajemmin luonnollisiin ympäristöihin. Jyväskylän yliopiston monitieteisen aivotutkimuskeskuksen (Center for Interdisciplinary Brain Research, CIBR) EEG-laitteistot (Bittium NeurOne™) siirrettiin lentosimulaattorin yhteyteen Ilmasotakoululle. Lisäksi käytimme mittauksissa kevyempiä laitteistoja, johon FirstBeat Bodyguard II tarjosi hyvän mahdollisuuden tarkemmalla sykedatalla kuin laajasti yleistyneet rannesyke-mittarit. Näitä mittareita ei ole yleensä käytetty oppimisen tutkimiseen, ja mielenkiintoista oli havaita näidenkin kautta

kehollisia reaktioita ja linkittää niitä omiin kokemuksiin ja tarkempaan neurofysiologiseen dataan.

Tutkimushankkeesta tehtiin useita julkaisuita ja konferenssi-esitelmiä, joista lisää tietoa löytyy KoKemus-hankkeen esitekirjasesta (<http://urn.fi/URN:NBN:fi:juu-202206273630>).

Ilmasotakoulun lentokoulutus toimintaympäristönä

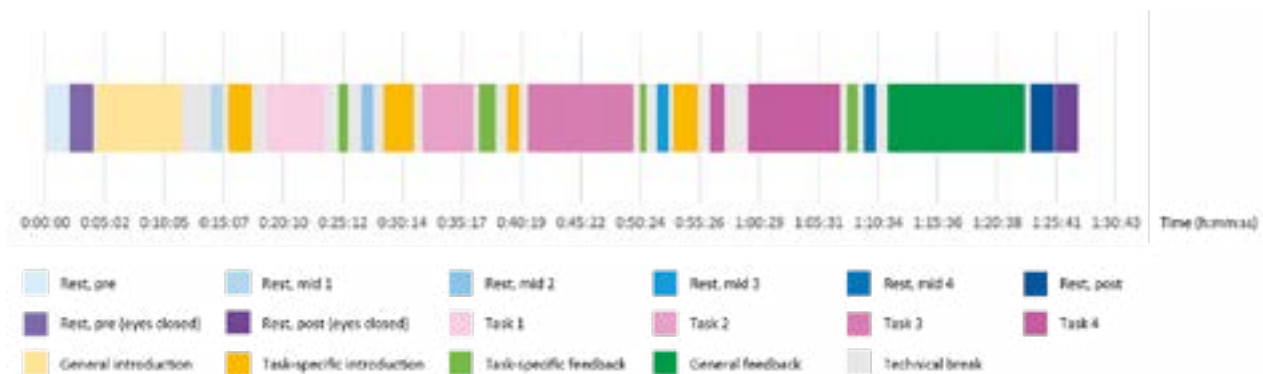
Ilmasotakoululla toteutimme ensimmäisenä pilotoinnin, jossa hyödynnettiin mahdollisimman tavanomainen oppimistilanne 1. vuoden lentokadettikoululaisten kanssa. Kuviossa 1 on kuvattuna tutkimuksen simulaatiopedagoginen rakenne.



Kuvio 1. Tutkimuksen simulaatiopohjaisen oppimisen pedagoginen rakenne. (Grafiikka: Johanna Suominen)

Simulaatio-oppimisen rakenteen mukaisesti harjoitus toteutettiin kolmessa vaiheessa, tehtävänanto, simulaatio ja jälkipuinti. Ennakkovalmistelut olivat kuitenkin hieman tavallista laajemmat jo muutamaa päivää aiemmin aloitettujen sykemittausten ja EEG-mittalaitteiden asennusten kautta.

Tutkimustapahtumaan sisältyi myös yllätyksellisiä lentotilanteen elementtejä, kuten säätilan vaihtoksia tai hallintalaitteistojen toimintahaasteita. Halusimme mitata samalla simulaatiotapahtumassa olevan kouluttajan reaktioita. Tavoitteena oli oppijan kouluttajan neuro-fysiologisen synkronian selvittäminen, millä tavoittelimme tietoa siitä ”ovatko



Kuvio 2. "Räsymatto"-prosessikuvio simulaatioharjoitteesta (metsäala) (Artikkelista: Methodology Development in Adult Learning Research: Combining Physiological Reactions and Learning Experiences in Simulation-Based Learning Environments. EDULEARN Proceedings. IATED. <https://doi.org/10.21125/edulearn.2020.1316>)

opiskelija ja kouluttaja samalla aallonpituudella”. Koko tilanne myös videoitiin.

Kouluttaja kirjasi harjoituksen aikana ylös omia havaintojaan suorituksesta ja sen aikaisesta toiminnasta. Sekä kouluttaja että opiskelija haastateltiin vielä erikseen. Opiskelija katsoi simulaatiolentotallenteen myöhemmin haastattelun aikana läpi ja merkitsi sinne merkityksellisiä hetkiä (esim. haaste, onnistuminen, epäonnistuminen) aikaleimoin. Mukana oli yhteensä 2 kouluttajaa ja 6 opiskelijaa.

Simulaatioharjoite prosessikuviona

Luonnollisena käyttäytymisvuorovaikutuksena etenevän mittaustilanteen analyysi on haastavaa. Tutkimusryhmämme kehitti tätä tarkoitusta varten ”Räsymatto” -analyysin, jossa simulaatioharjoitus pilkotaan toiminnallisiin vaiheisiin, kuvio 2. Kuvaajassa näkyvät eri värein eri vaiheet simulaatioharjoituksesta. Tällainen prosessin kuvaus loi pohjan sille, että pystyttiin yhdistämään erilaisia kokemuksia ja mitauksia toisiinsa.

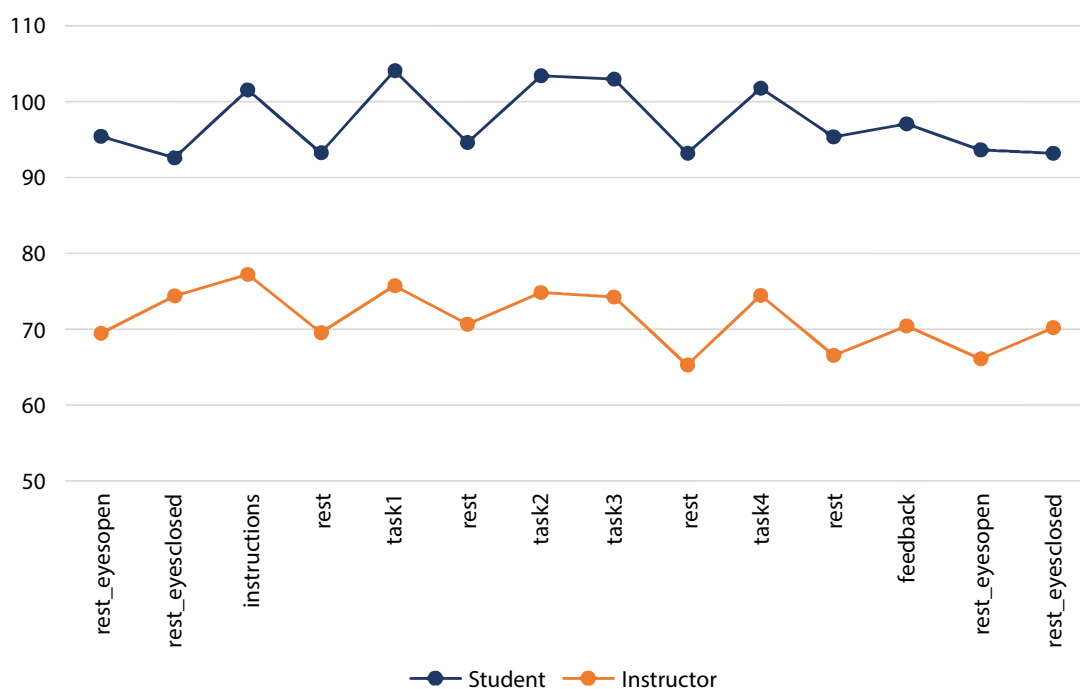
Aineistojen yhdistäminen, analyysit ja työpajat

Laadullisen ja määrällisen aineiston yhdistäminen on aikaa vievää ja haastavaa. Toisaalta tällä rintamalla puuttuu systemaattista selvitystyötä siinä, mikä on oikea tapa yhdistämi-

sen toteuttamiseksi. Pilotimme tarjosi siis mahdollisuuden urauurtavaan kehitystyöhön.

Tutkimuksessa selvitettiin myös tieteellisin menetelmin opiskelijan sekä kouluttajan kehosta ja aivoista mitattavat samanaikaiset biosignaalit. Kuviossa 3 on havainnollistettu, miten opiskelijan ja kouluttajan keskisyke vaihtelee simulaation eri vaiheissa. Neurofysiologisten ja fysiologisten mittausten integroinnista oppimiskokemuksen seuraamiseen vastasi Tiina Parviaisen johdolla toimiva työryhmä, jossa aineiston keruussa oli mukana Suvi Karjalainen, Tiina Kullberg ja Jarno Mikkonen, ja aineiston analyysia olivat toteuttamassa edellisten lisäksi Juha Leukkunen, Jari Korpela ja Pyry Heikkinen.

Tutkimuksen tuloksia purettiin yhdessä Ilmasotakoulun henkilökunnan kanssa työpajoissa. Erityisesti laadullisen analyysin kommentoinnissa käytettiin delfoi-tyyppistä lähestymistapaa, jossa kohderyhmä pääsi itse kommentoimaan ja arvioimaan tutkijoiden tekemiä tulkintoja. Samalla saatiin syvällisempiä keskusteltua tutkijoiden tekemistä grounded theory -pohjaisista havainnoista, ja rakennettiin ideoita kehittämistoimenpiteiksi. Tästä osasta on tulossa vielä erillinen julkaisu Anita Malisen ja Minna Silvennoisen toimesta myöhemmin. Laadullista aineiston käsittelyssä olivat mukana myös Mari Manu, Eeva Rantala ja Mikko Vesisenaho.



Kuvio 3. Opiskelijan ja kouluttajan sykevälivaihtelu yhteisessä simulaatio-oppimistilanteessa (Teoksesta: How can learning experiences be explored in simulation-based learning situations? https://www.eapril.org/sites/default/files/2022-04/proceedings_2021_0.pdf)

Tutkimushavaintoja ja jatkotutkimustarpeita

Tutkimuksessa todettiin ensinnäkin tällaisen ennakkoluvottoman tutkimuksen olevan mahdollista toteuttaa, mutta se vaatii paljon aikaa ja monialaista asiantuntemusta. Tutkimuksessa ei ollut tarkoituksena selvittää, miten hyvin yksilö oppii, vaan miten tutkimusdataa voitaisiin käyttää optimaalisemman oppimistilanteen rakentamiseen. Samalla todettiin tärkeäksi kehittää itsearviointijärjestelmiä ja erilaisten järjestelmien tukea siihen, että ne tukevat myös kouluttajan antamaa palautetta suorituksen aikana ja sen jälkeen. Tärkeäksi osa-alueeksi todettiin myös optimaalisen fysiologisen tilan määrittäminen erilaisiin harjoituksiin. Todettiin myös, että tällainen tutkimus kannattaa toteutetaan hyvin samanalaisena eri sektoreilla, kuten tässä teimme myös metsäkonealalla ja logistiikassa, jotta sektorirajat ylittävää dataa voidaan yhdistää isommaksi aineistokokonaisuudeksi.

Tutkimuksessa nousi esiin muun muassa kysymys siitä, voisiko koulutusjärjestelmä tukea myös mahdollisuutta kokeilla ja/tai tehdä myös virheitä turvallisessa oppimisympäristössä (merkityksellinen oppimiskokemus). Tämä on keskeinen osa muun muassa lentokoulutusta, jossa opiskelija

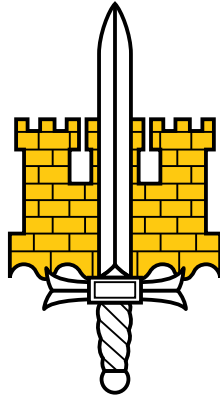
voi harjoitella ja harjoittaa itseään simulaatioympäristössä siten, että hän ei tee samoja virheitä todellisessa lentosuoritusvaiheessa. Lisäksi hänen on mahdollista oppia ratkaisemaan virheistä johtuvia korjaustoimenpiteitä turvallisessa simulaatioympäristössä. Opiskelijalle on tärkeää oppia ymmärtämään itseään ja oman toimintakykynsä erilaisia tiloja sekä hankkimaan kokemusta erilaisista harjoitustilanteista, joiden pohjalte rakentuu esimerkiksi todellisissa lentotilanteissa tapahtuva toiminta ja päätöksenteko.

Tutkimuksen kautta saatiin hankittua poikkitieteellistä informaatiota, joka osaltaan rohkaisee jatkossakin ylittämään erilaisia organisaatio-, oppiaine- ja tieteenalarajoja. Ilmavoimien kannalta on merkityksellistä liittyä jatkossakin osaksi siviilioppilaitosten ja tutkimusyhteisöiden tutkimuksia. Tämä palvelee Ilmavoimia tutkimusinformaation hankkimiseksi esimerkiksi lentokoulutuksen kehittämiseksi ja samalla se tarjoaa oivallisen tutkimusalan yliopistollisten yhteishankkeiden tutkimusdatan hankkimiseksi. Tämän tutkimuksen kautta havaittiin, että erilaisista käytännön ympäristöistä kerätyllä informaatiolla on paljon yhteisiä näkökulmia, jotka mahdollistavat laaja-alaisemman ilmiöiden tarkastelun jatkotutkimushankkeissa.

Kirjoittajat:

Opetusteknologian dosentti, FT Mikko Vesisenaho on KoKemus-hankkeen (2019–2022) vastuullinen johtaja, joka työskentelee Digivisio 2030 -muutoskoordinaattorina Jyväskylän yliopistossa.

Majuri, ST Hannu Rentola toimii Ilmavoimien tutkimusjohtajana.



Maanpuolustuskorkeakoulu

Sotateknologian muutos

– vaikutukset sotatekniikan tutkimukseen
MPKK:lla; case MULTICO



Kuva 1. MULTICO:ssa käytetty multikopteri talvisissa oloissa sensoreiden pudotuslaite kyydissään. (Kuva: Christian Andersson)

Maanpuolustuskorkeakoulun strategian mukaisesti myös sotatekniikan tutkimusta kohdennetaan toimintaympäristön muutoksen ja sen vaikutuksien arviointiin tulevaisuuden taistelukentällä. Kuten Ukrainan sodasta voimme todeta, droonit ovat olleet sielläkin merkittävässä roolissa tiedustelussa, valvonnassa ja tuhoamistehtävissä. Sotatekniikan laitoksella aihetta on lähestytty osallistumalla siviilikonsortion tekemään MULTICO-projektiin, johon Puolustusvoimat on tuottanut asiantuntijaosaamista skenaarioiden luontiin ja kenttätestien suorittamiseen.

MULTICO-projektissa kehitetään Aalto-yliopiston, VTT:n ja useiden kotimaisten yritysten yhteistyönä ekosysteemiä, joka käyttää pienoissatelliitteihin ja multikoptereihin liitettyjä sekä multikoptereilla levitettäviä sensorijärjestelmiä reaaliaikaisen tilannekuvan tuottamiseen havainnoitavasta ympäristöstä. MULTICO:n kokonaisbudjetti on ollut 8,2 miljoonaa euroa, josta osa on tullut Business Finlandin kautta ja loput ovat olleet yritysten omia investointeja.

Skenaariot

Skenaarioiden pohjana käytettiin siirtyvän ja kiinteän taistelutukikohdan harjoituksissa saatuja kokemuksia, joiden pohjalta muodostettiin seuraavat multikoptereihin liitettävät skenaariot:

- SAR-tutkan tuottaman datan käyttö tukikohdassa
- radiotomografia
- GNSS-vapaa navigointi
- pudotettavat sensorinodit ja sensorifuusio
- tukiasematoiminta.

SAR-tutkaa eli synteettisen apertuurin tutkaa osana multikoptereiden suorituskykyä on osaltaan tutkittukin, mutta aiheesta löytyy vielä runsaasti osa-alueita, jotka nähtiin tarpeen selvittää. Radiotomografia uutena suorituskykenä multikoptereissa puolestaan lisää merkittävästi tilannetietoa ja sen luotettavuutta esimerkiksi tukikohdan joukkojen tilasta rakennusten sisällä. Tätä tietoa multikopterit pystyvät tulevaisuudessa hankkimaan autonomisesti. Satelliitivapaa navigoinnin teknologia nousee poikkeusoloissa merkittävään asemaan, kuten olemme jo normaalioloissa

huomanneet satelliitteihin perustuvien teknologioiden häirinnästä. Kriittisen infrastruktuurin, kuten tietoverkkojen, kriisinsietokyky on oleellista tiedon siirtämisen kannalta, ja sen vuoksi multikopteriin liitettävä tukiasema tuo lisää vaihtoehtoja tiedon välittämiseen. Sensoreiden tuottaman tiedon datafuusio ”arjen välineissä”, joilla tarkoitetaan tässä kontekstissa mobiilipäätelaitteita, ja reaaliaikaisen tilannekuvan tuottaminen nousi myös yhdeksi skenaarioksi.

MULTICO-hankkeen yleinen toteutus

MULTICO-hankkeessa päätavoitteena on tuottaa kaupallisille markkinoille soveltuvaa tuotetta, joka mahdollistaa uudentyyppisiä markkinoita suomalaisille tietoliikennejärjestelmille, vahvistaa kotimaista avaruusteknologiasektoria ja synnyttää uutta liiketoimintaa erilaisia paikkatietoaineistoja (GIS) hyödyntäville teknologiayrityksille. Samalla luodaan yhteistyöverkostoja yritysten ja tutkimusyhteisöjen, kuten yliopistot, korkeakoulut ja tutkimuslaitokset, välille. Puolustusvoimien rooli oli toimia asiantuntijana, mikä sopi hyvin toimintatavaksi. Puolustusvoimista hankkeeseen ovat osallistuneet allekirjoittanut Puolustusvoimien yhdyshenkilönä ja insinööri majuri Tapio Haapamäki Ilmasotakoulusta Sotatekniikan laitoksen jatko-opiskelijana sekä Ilmavoimien yhdyshenkilönä. Puolustusvoimien ja konsortion välillä ei ole tapahtunut minkäänlaista taloudellista interaktiota. Hanke suunniteltiin alun perin kaksivuotiseksi 1.4.2020–31.3.2022, mutta COVID-19-epidemia häiritsi hankkeen toteutumista alkuperäisen aikataulun mukaisesti, joten hanketta pidennettiin muutamalla kuukaudella.

Projektille muodostettiin ohjausryhmä, jossa Puolustusvoimat toimi asiantuntijaroolissa, ja samalla ohjausryhmätyöskentelyyn varattiin turvaselvitetuille jäsenille lyhyt ohjaustuokio. Yritykset etenivät ohjauksen mukaisesti pääasiassa aikataulussa pysyen, mitä testattiin yhteisesti kahdella testikokonaisuudella. Projektiin osallistuneet yritykset ja heidän roolinsa:

- Saab Finland Oy: tutka- ja sensorisysteemit, parvitekniologia, ELTI-kyky (Sirius Compact)
- DA-Group: miniatyyrikkokoluokan SAR-sensori drooniin
- Iceye Oy: satelliittikuvaus yhdessä SAR:n kanssa
- Nsion Oy: NSC3-tilannekuvusovellus arjen välineeseen
- Small Data Garden Oy: pudotettavat langattomat sensorinodit ja pudotuslaite
- Aalto-yliopisto: hankkeen johto, GNSS-vapaa navigointi, radiotomografia, parvitekniologia
- VTT: kuvantava tutka ja data-analyysi
- Maanpuolustuskorkeakoulun sotatekniikan laitos: asiantuntijarooli ja puolustusvoimallinen vastuu
- Ilmasotakoulu: ilmavoimallinen vastuu
- Missing link: radiolähetteen havaitseminen tukikohdanympäristössä



Kuva 2. MULTICO-testaukset yhdessä LAYKKA:n kanssa Pudasjärvellä. (Kuva: Christian Andersson ja Tapio Haapamäki)

Välitestit toteutettiin Pudasjärven lentopaikalla viikolla 50 vuonna 2021, jolloin osa sotatieteen maisterikurssi 10:stä osallistui testien toteutukseen. Lopputestit toteutettiin Kauhavan lentopaikalla viikoilla 37 ja 38 vuonna 2022, jolloin vuorostaan osa Ilmavoimien kadeteista osallistui testien toteutukseen omien opintojensa puitteissa. Kummassakin testirupeamassa testeihin osallistui myös autonominen maa-ajoneuvo LAYKKA.

MULTICO- hankkeen yhteiset kenttätestit

MULTICO-projektin tavoitteena on tuottaa markkinoille tuote, joka soveltuu moneen käyttötarkoitukseen. Tuotetta testattiin kuitenkin sotilaallisessa ympäristössä tekemiemme skenaarioiden pohjalta paremman soveltuvuuden takia. Ensimmäinen konsortion yhteinen testi järjestettiin vaativissa olosuhteissa Pudasjärvellä joulukuussa 2021, jolloin olosuhteet vaihtelivat kovasta pakkasesta suoja- ja jäätäviin olosuhteisiin. Testit saatiin tehtyä suunnitelmien mukaan, ja väliaikainen tukiasema, tilannekuva, pudotettavat nodit ja pudotuslaite (kuva 1) osoittivat toimivuutensa alustana käytetty multikopteri mukaan luettuna. Testauksessa olivat mukana sotatieteiden maisterikurssi 10:n opiskelijoita omaan suorituskäytännön rakentamiseen -opintojaksoonsa liittyen. He saivat käytännön kokemusta testiympäristön rakentamisesta sekä teknisten asiantuntijoiden kanssa työskentelystä.

MULTICO-hankkeen lopputestit toteutettiin Kauhavan lentopaikalla viikoilla 37 ja 38 vuonna 2022, ja testit onnistuivat pääasiassa erittäin hyvin. Lopputesteihin osallistuivat viikolla 38 Ilmavoimien kadettikurssi 107:n johtamisjärjestelmä- ja johtokeskuskadetteja, jotka toimivat maaliosastona ja tukivat tutkimuksen toteutuksessa. Kohtuullisen valmiiksi teknologioiksi osoittautuivat multikopterissa oleva jatkuvalla virransyötöllä oleva 5G-tukiasema sekä akkukäyttöinen multikopterissa kiinni ollut WLAN-tukiasema, minkä osoituksena testien aikana siirrettiin videokuvaa, ääntä ja valokuvaa päätelaitteiden, tukiasemien ja sensoreiden



Kuva 3. Multikopteri radioläheteiden havaitsemis-laite mukanaan. (Kuva: Tapio Haapamäki)



Kuva 4. Multikopteri WLAN-tukiasema kyydissään. (Kuva: Mika Nieminen)



Kuva 5. 5G-tukiasema multikopterin kyydissä. (Kuva: Mika Nieminen)

välillä. Multikopterissa kiinni ollut radiotaajuisia lähteitä havaitseva laite toimi hyvin, niin kuin pudotettavat radiotaajuiset sensorinodit. Kuvantava tutka, radiotomografia ja puheentunnistusteknologia toimivat myös kohtuullisen hyvin, ja niiden käyttöä saatiin mallinnettua halutulla tavalla, minkä lisäksi kaikkien laitteiden tuottama tieto saatiin muuttettua tilannekuvaksi arjenvälineeseen suunnitellulla tavalla. Sotatekniikan laitoksella keskeisenä tutkimuskohteena oleva maatoimisen autonomisen tutkimusalueen LAYKKA:n ja multikopterin yhteistoiminnasta saatiin lisää tuloksia, mistä testeihin osallistuneet ilmavoimien kadetit saivat näkemyksiä.

Yhteenveto

MULTICO-hanke on ollut erinomainen tapa osallistua uuden teknologian kehittämiseen. Hankkeen aikana on saatu osaamista Maanpuolustuskorkeakoulun opiskelijoille sekä Puolustusvoimien henkilökunnalle, mikä osoittaa verkottumisen tärkeyden nykyaikaisessa ja nopeasti kehittyvään teknologian muutoksen aiheuttaman muuttuvan taistelukentän ympäristössä. Jotta pysymme muutoksen rattailla mukana, meidän tulee tutkia itse ja siirtää osaaminen verkostojen avulla eteenpäin.

Tutkijat opettavat – opettajat tutkivat.

Kirjoittaja:

Insinööri majuri (FT, DI) Mika Nieminen toimii tutkimusryhmän johtajana Maanpuolustuskorkeakoulun Sotatekniikan laitoksella.

Autonomisten järjestelmien kyberturvallisuus



Autonomisten järjestelmien tietoturvan tulee olla merkittävässä osassa niiden kehittämistä. Mitä hyötyä on itsenäisesti toimivasta järjestelmästä, jos sen käyttäjä ei voi olla varma siitä, kenen komentoja järjestelmä noudattaa?

Mikäli mahdollinen vihollinen käyttää autonomisia asejärjestelmiä, on merkittävää hyötyä voida nopealla aikataululla löytää niistä tietoturva-avoittuvuuksia. Parhaassa tapauksessa näitä voidaan käyttää järjestelmien lamaannuttamiseen tai kaappaamiseen omaan käyttöön.

Maanpuolustuskorkeakoulussa käynnistetään uusi tutkimusprojekti autonomisten järjestelmien tietoturvan tutkimiseksi osana laajempaa LAYKKA-projektia.

Taustaa

Erinäköiset autonomiset järjestelmät ovat tällä hetkellä kii-vaan kehitystyön alla. Vaikka sotilaallisten autonomisten, erityisesti kuolettavien, asejärjestelmien kehittämistä rajoittavat erilaiset eettiset ja lainsäädännölliset kysymykset, jää silti merkittävästi tilaa sekä sotilaallisten että siviilijärjestelmien kehittämiseen. Esimerkiksi autonomisten järjestelmien käyttö teollisuuden logistiikkaprosesseissa ja kaivosteollisuuden vaarallisten alueiden toiminnassa ovat kasvavia alueita, joihin investoidaan voimakkaasti. Lisäksi useat autonvalmistajat kilpailevat siitä, kuka pystyy toimittamaan ensimmäisen täysin autonomisen auton käyttöön julkisilla teillä. Sotilaskäyttöön taas kehitetään järjestelmiä, jotka pystyvät tukemaan sotilaita kentällä, ja esimerkiksi evakuoimaan haavoittuneita omatoimisesti vapauttaen näin sotilaita toimimaan taistelutehtävissä.

Autonomiset järjestelmät pohjaavat pääasiassa erilaisiin tekoäly- ja koneoppimisalgoritmeihin, jotka koulutetaan opetusmateriaaleilla antamaan toivotun kaltaisia vasteita tosielämän tilanteissa. Näitä algoritmeja käytetään niin yksittäisen anturisyötteen tulkitsemiseen, useamman anturin nk. anturifuusion luomiseen kuin kokonaisjärjestelmän päätöksenteon pohjana. Kuitenkin yleisimmin näissä tehtävissä käytetyt neuroverkkoalgoritmit ovat tunnettuja siitä, että niiden päätöksentekoprosessi on erittäin läpinäkyvä, eikä niiden toimintaa ole mahdollista tarkastella muuten kuin yksittäisen vasteen antamalla palautteella.

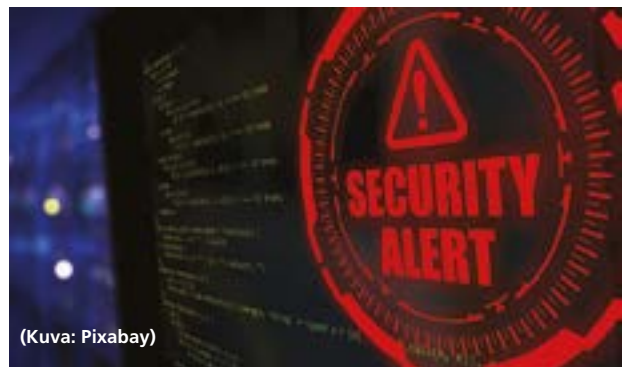
Autonomisten järjestelmien käytössä, joissa ihminen on poistettu päätöksentekosilmukasta, on erityisen tärkeää varmistaa, että järjestelmä toimii, kuten sen on suunniteltu toimivan. Muuten on riskinä, että aiheutetaan merkittävästi isompia ongelmia kuin mitä järjestelmän käytöllä yritetään ratkaista. Tämä vaatimus lisää näiden järjestelmien tietoturva-vaatimusten tasoa huomattavasti, sillä ihmisen hallitsema järjestelmä voidaan saada pois pelistä, mutta autonominen järjestelmä voidaan pahimmassa tapauksessa kääntää alkuperäistä omistajaansa vastaan.

Autonomisten järjestelmien tietoturvaan liittyen on tehty tutkimusta, mutta se on vielä toistaiseksi ollut hajanaisena, eikä tällä hetkellä ole esimerkiksi olemassa yleisesti käytössä olevaa haavoittuvuusviitekehystä, jonka avulla olisi mahdollista määritellä ja listata tiedossa olevat autonomisten järjestelmien haavoittuvuudet. Yksittäisiä tiettyyn järjestelmään liittyviä tutkimuksia on toteutettu. Näissä on käyty läpi useita kyseiseen järjestelmään kohdistuvia tietoturvauhkia tai mahdollisia hyökkäyksiä. Kuitenkaan kunnollista viitekehystä edes autonomisille ajoneuvoille ei ole olemassa, puhumattakaan yleisistä autonomisista järjestelmistä.

Autonomisten järjestelmien tietoturva-asteet

Autonomiset järjestelmät monimutkaisina kokonaisuuksina perivät kaikki niihin käytettyjen alijärjestelmien haavoittuvuudet, mutta luovat myös monia uusia haavoittuvuusluokkia, joita voidaan hyödyntää kokonaisuuden tietoturvallisuuden murtamiseen. Merkittävä osa autonomisista järjestelmistä tarvitsee toimintansa osana jonkinlaisia kyvykkyksiä ulkopuolisten järjestelmien kanssa kommunikointiin, mikä luo mahdollisen reitin niiden tietoturvapanssarin lävitse. Tämän lisäksi käytettyjen laitteistojen ja ohjelmistojen olemassa olevia haavoittuvuuksia voidaan hyödyntää kuten muissakin järjestelmissä.

Kuitenkin suurimman haavoittuvan kokonaisuuden autonomisissa järjestelmissä muodostavat niissä käytetyt tekoäly- ja koneoppimisalgoritmit, joiden päätöksentekoprosessit ovat harvoin selitettävissä ihmisten ymmärtämällä tavalla, ja täten ne muodostavat läpinäkyvättömän mustan laatikon



(Kuva: Pixabay)

järjestelmien keskeisimpien toiminnallisuuksien ympärille. Tämä läpinäkyvättömyys vaikeuttaa huomattavasti normaaleja tapoja varmistaa tuotettujen ohjelmistojen tietoturvallisuus ja oikeellinen toiminta kaikissa tilanteissa. Manuaalinen testaus muuttuu mahdottomaksi, jos testaus on pakko suorittaa käyden läpi kaikki mahdolliset syötekombinaatiot, joita algoritmeille voitaisiin antaa. Lisäksi on osoitettu, että on mahdollista esimerkiksi manipuloida käytettyjä opetusjoukkoja siten, että tietyillä epätavallisilla syötteillä algoritmit toimivat vastoin niiden alkuperäistä tarkoitusta.

Lisäksi automatisoidun testauksen suorittaminen olemassa olevilla työkaluilla on haastavaa, sillä automatisoituja työkaluja erilaisten anturisyötteiden tutkimiseen ja testaamiseen ei ole yleisesti saatavilla. Yksi tapa automatisoida tämän kaltaisten syötteiden testausta on käyttää niin kutsuttuja GAN-menetelmiä (Generative Adversarial Neuralnet), joissa toisiaan vastaan kamppailevat neuroverkot pyrkivät luomaan uusia tapoja huijata syötteentunnistusalgoritmeja ja vastaavasti kehittämään parempia kuvantunnistusalgoritmeja, joita on entistä vaikeampi huijata. Pentagon onkin alkanut vaatia kaikkien uusien sotilaskäyttöön tulevien koneoppimisalgoritmien testaamista käyttäen GAN-menetelmiä.

Muita tapoja vaikuttaa algoritmien tekemisiin päätöksiin on muun muassa heikentää niiden käyttämien anturien toimintakykyä. Tämä voi aiheuttaa sen, että algoritmit eivät enää saa riittävän tarkkoja tuloksia ja näin päätyvät pysyvään epätietoisuuden tilaan. Kuitenkin näiden menetelmien tehokkuus riippuu täysin kohteena olevan autonomisen järjestelmän suunnittelusta ja rakenteesta. Tämän vuoksi on tärkeää testata erilaisia menetelmiä eri järjestelmille, mikäli näitä vaikutuskeinoja pyritään käyttämään niitä vastaan.

Autonomisista järjestelmistä on tärkeää varmistaa, etteivät oman puolen käyttöön tulevat järjestelmät sisällä virheitä, joilla ne voidaan kääntää itseä vastaan. On myös tarpeen löytää keinoja tutkia mahdollisesti kentältä kaapattuja vastustajan autonomisia järjestelmiä ja pyrkiä joko etsimään tapoja lamaannuttaa ne, tai jopa kääntää ne toimimaan vastustajaa vastaan. Tämä vaatii alusta-agnostisen testausjärjestelmän kehittämistä, jolla voidaan testata helposti mahdol-



(Kuva: Christian Andersson)

lisimman heterogeenisiä järjestelmiä ilman tarkempaa tietoa siitä, miten kyseiset järjestelmät on rakennettu.

Tietoturva osana LAYKKA-projektia

Maanpuolustuskorkeakoululla on ollut käynnissä vuodesta 2021 LAYKKA-projekti, jossa tutkitaan, miten autonomisia järjestelmiä voidaan käyttää tulevaisuuden taistelukentällä ja integroida olemassa oleviin Puolustusvoimien kyvykkyyksiin. Osana tätä projektia pyritään myös varmistamaan, että näiden autonomisten järjestelmäalustojen tietoturva on riittävällä tasolla, jotta niiden toimintaan voidaan luottaa.

Nyt käynnistettävässä tietoturvaosuudessa tuetaan laajemman LAYKKA-projektin tavoitteita ja käytetään LAYKKA-alustaa esimerkkinä autonomisesta järjestelmästä, jonka tietoturvaa tutkitaan. Tarkoituksena on kuitenkin luoda testausalusta, jolla minkä tahansa autonomisen järjestelmän tietoturvallisuutta olisi mahdollista mahdollisimman vähäisillä muutoksilla testata laboratorio-olosuhteissa. Näin on tarkoitus mahdollistaa tulevaisuudessa kentältä löydettyjen autonomisten järjestelmien haavoittuvuuksien selvittäminen nopeutetussa aikataulussa.

Odotetut tulokset

Tutkimusprojektimme tavoitteena on löytää toimiva viitekehys autonomisten järjestelmien haavoittuvuuksien luette-

lointiin ja arviointiin. Lisäksi luomme pohjan testausalustalle, jolla voidaan testata erilaisten autonomisten järjestelmien tietoturvallisuutta laboratorio-olosuhteissa.

Haavoittuvuusviitekehys on tarpeellinen, sillä tällä hetkellä ei ole olemassa yleisesti tunnettua viitekehystä, joka sopisi autonomisten järjestelmien tuomien uusien ongelma-alueiden haavoittuvuuksien yksiselitteiseen määrittelyyn. Tutkimusprojektin lähtökohtana on laajentaa jotain olemassa olevaa viitekehystä siten, että saataisiin aikaiseksi myös autonomisille järjestelmille toimiva lopputulos. Tarpeen vaatiessa voidaan luoda uusi viitekehys pelkästään autonomisten järjestelmien haavoittuvuuksille.

Testausalustan rakentaminen tullaan perustamaan Kali Linux -käyttöjärjestelmään, jossa on jo nykyään kattava joukko työkaluja kyberturvallisuustestausta varten. Projektissa rakennetaan uusia moduuleja autonomisten järjestelmien käyttämien algoritmien testaamiseksi tälle alustalle. Tämä mahdollistaa menetelmien käytön monissa eri ympäristöissä ja lisäksi valmiiksi tunnetussa ympäristössä. Näin helpotetaan uusien työkalujen käyttöönottoa.

Testausalusta mahdollistaa järjestelmän analysoinnin sekä virtualisoidulle että fyysiselle järjestelmälle, johon voidaan kiinnittyä suoraan tarpeellisilla kytköksillä. Virtuaalinen testaus voidaan toteuttaa ns. konttitekniologian avulla. Tällöin testattavaa järjestelmää ajetaan virtualisoidussa ympä-

ristössä, jolloin tutkittavien ominaisuuksien vakiointi yms. on helpompaa. Testausalustan rakentamisessa on tarkoitus hyödyntää laajalti jo olemassa olevaa tutkimusta ja kehitystä autonomisten järjestelmien algoritmien häirintään. Tällaista tutkimusta edustaa esimerkiksi Adversarial Robustness Toolkit, joka on kokoelma testaustyökaluja, joilla pyritään häiritsemään autonomisten järjestelmien käyttämien algoritmien oikeellista toimintaa.

Yhteenveto

Autonomisia piirteitä omaavat sotilaalliset järjestelmät ovat osoittaneet kyvykkyytensä viime aikojen konflikteissa mm. Ukrainassa. Lisääntyvä autonomia sotilaallisissa järjestelmissä tuo mahdollisuuksien lisäksi mukanaan uusia erityisesti kyberturvallisuuteen. On tärkeää mahdollistaa tällaisten järjestelmien turvallisuuden tutkiminen sekä yksittäisten komponenttien, ohjelmistojen ja algoritmien osalta että järjestelmän kokonaisuuden näkökulmasta. Tätä varten tarvitsemme uudenlaisia menetelmiä ja työkaluja sekä uuden viitekehyksen haavoittuvuuksien hallintaan. Yhtenä osana laajaa LAYKKA-tutkimusprojektia luomme näitä sekä puolustusteollisuuden että muun yhteiskunnan käyttöön.

Kirjoittajat:

TkT, FL Kimmo Halunen toimii Oulun yliopiston ja Maanpuolustuskorkeakoulun yhteisenä kyberturvallisuuden professorina Sotatekniikan laitoksella.

DI Arttu Pispala toimii jatko-opiskelijana ja tutkimusprojektin johtajana Maanpuolustuskorkeakoulun Sotatekniikan laitoksella sekä tietoturvakonsulttina Deloitte Oy:llä.

Maanpuolustus, sukupuoli ja moninaisuus:

GESELA-tutkimusprojektin tuloksia



Maanpuolustuskorkeakoulussa vuonna 2022 toteutetussa GESELA-tutkimusprojektissa tutkittiin sukupuoli- ja sukupolvieroja puolustuspoliittisissa mielipiteissä 2000–2020 ja kartoitettiin Maanpuolustuskorkeakoulun opiskelijoiden näkemyksiä tasa-arvo- ja yhdenvertaisuusvelvoitteiden toteuttamisesta. Maanpuolustustahto on pysynyt korkealla tasolla erityisesti miehillä, nuoremmat sukupolvet haastavat asevelvollisuuden nykymallia hiukan ja moninaisuusosaaminen on yksi tulevaisuuden sotilaskouluttajien osaamisalue, jonka opetusta kannattaa kehittää.

Kansalaisten mielipiteet esimerkiksi asevelvollisten ja vapaaehtoisesti asepalvelukseen osallistuvien kohtelusta kannattelevat vallanpitäjien tekemiä puolustuspoliittisia valintoja. Tulevaisuuden sotilaskouluttajien näkemyksillä ja valmiuksilla on väliä yhdenvertaisen kohtelun edistämässä sekä häirinnän ja kiusaamisen estämisessä muun muassa varusmiespalveluksessa. Maanpuolustuksen kannatussäätiön rahoituksella toteutetussa GESELA-tutkimusprojektissamme vuonna 2022 analysoitiin kansalaisten puolustuspoliittisia mielipiteitä Maanpuolustus-tiedotuksen suunnittelukunnan vuosiksi 2000–2020 keräämällä kyselyaineistolla ja kerättiin uutta tietoa Maanpuolustuskorkeakoulun kadeteilta ja maisteriopiskelijoilta.

Projektin suunnittelussa, rahoituksen hankkimisessa ja projektin toteutuksessa työskentelivät tutkija Linda Hart, apulaissotilasprofessori Antti-Tuomas Pulkka, tutkija Suvi Kouri ja harjoittelija Erasmus Häggblom. Koko väestöä hyvin edustavalla kyselyaineistolla haluttiin selvittää, mitkä sukupuolten ja sukupolvien väliset mielipide-erot ovat tilastollisesti merkitseviä keskeisissä puolustuspoliittisissa kysymyksissä: yleinen maanpuolustustahto, nykyinen asevelvollisuusmalli ja sen vaihtoehdot, puolustusmenot ja sotilaallinen liittoutuminen. Opiskelijajärjestöillä oli mahdollista tarkastella, millaisia käsityksiä opiskelijoilla on tasa-arvo- ja yhdenvertaisuusvelvoitteiden täyttämistä ja millaisia tieto- ja koulutustarpeita tähän liittyy.

Naisten vapaaehtoiseen asepalvelukseen hakeutuvien määrä on kasvanut viime vuosina. Hakijoiden määrä oli vuosina 1995–2016 noin 400–800 naista vuodessa, mutta vuonna 2017 ja myöhemmin hakijoita oli yli tuhat, vuosina 2018 ja 2021 yli 1500 kumpanakin. Suorittaneiden määrä on alhaisempi: vuosina 2019–21 määrä oli 800–900 naista vuodessa. Naisten määrä upseereista ja erikoisupseereista on 2–3 %, mutta aliupseereista 8 %. Lähivuodet näyttävät, lisääkö maailmanpoliittinen tilanne kiinnostusta varusmiespalvelukseen tai ammattisotilaan uraan myös suomalaisten naisten keskuudessa.

Moninaisuus ja sen näkyvyys ovat lisääntyneet myös muiden syrjintäperusteiden kuin sukupuolen osalta. Rekisteritietoa on olemassa varusmieskoulutettavien äidinkielestä ja uskontokunnasta, mutta sitä ei juurikaan ole hyödynnetty tutkimuksessa. Seksuaalisen suuntautumisen ja sukupuoli-identiteetin osalta tietoa ei saa yksityisyyden suojan vuoksi kerätä muutoin kuin erikseen suunnitelluissa ja toteutetuissa anonyymeissä kyselytutkimuksissa. Näiden aiheiden näkyvyys julkisessa keskustelussa ja osana moninaisuuden hallintaa työelämässä ja koulutustoiminnassa on kuitenkin lisääntynyt viime vuosina ja voi nousta esiin arkipäivän kohtaamisissa siinä missä sukupuoli, äidinkieli ja uskonnollinen vakaumus.

Sukupuoli- ja sukupolvierot puolustuspoliittisissa mielipiteissä

Suomessa on monen vuosikymmenen ajan ollut korkea kannatus aseelliselle puolustautumiselle sotilaallisissa kriiseissä ja miesten pakolliselle asevelvollisuudelle, joka sai rinnalleen naisten vapaaehtoisesta asepalveluksesta 1995. Maanpuolustustiedotuksen suunnittelukunnan viime vuosina toteutetut kyselyt antavat viitteitä siitä, että siirtyminen sekä miehiä että naisia velvoittavaan tai ylipäänsä nykyisestä eroavaan puolustusjärjestelmään on kasvattanut suosiotaan nuorten aikuisten keskuudessa. Juridinen asevelvollisuus on vain yksi asevelvollisuuden ulottuvuus. Asevelvollisuuden tarkempi sisältö ja velvoittavuuden aste vaihtelevat valtiosta toiseen. Esimerkiksi Norjassa ja Ruotsissa on muodollisesti sukupuolineutraali asevelvollisuus, mutta asevelvollisuutta ei ole sovellettu pakottavasti. Asevelvollisten koulutusmäärät ovat huomatta-

vasti pienemmät kuin Suomessa, jossa noin kaksi kolmasosaa miesikäluokasta ja noin 40 prosenttia koko ikäluokasta eli yli 20 000 nuorta vuodessa suorittaa varusmiespalveluksen.

Maanpuolustustiedotuksen suunnittelukunta teettää vuosittain turvallisuus- ja puolustuspoliittisia mielipiteitä kartoittavan kyselytutkimuksen, jonka aineistot ja tekniset raportit tallennetaan Tampereen yliopistossa toimivaan Yhteiskuntatieteelliseen tietovarastoon (www.fsd.tuni.fi), josta ne ovat saatavissa tutkimuskäyttöön. Aineistot ovat toistaiseksi olleet alihyödynnettyjä suomalaisessa sekä yhteiskuntatieteellisessä että sotatieteellisessä tutkimuksessa. Olemassa olevien aikasarjojen kautta on mahdollista tarkastella yhteiskunnallisia ja poliittisia trendejä mm. sukupuolen ja iän mukaan.

Linda Hartin, Antti-Tuomas Pulkan ja Erasmus Häggblomin artikkelissa *Willing to Fight, Challenging Male Conscription? Gender and Generation Differences in Defence Policy Opinions in Finland 2000–2020* kysyttiin, millaisia sukupuolten ja ikäryhmien välisiä mielipide-eroja suomalaisilla on maanpuolustustahdosta, asevelvollisuuden muodosta, puolustusmenoista ja sotilaallisesta liittoutumisesta. Tutkimuksessa selvitettiin, onko erityisesti nais- ja miesvastaajien sekä eri ikäryhmien välillä huomattavia mielipide-eroja, millaista yhteiskuntatieteellistä muutosta mielipiteissä on viime vuosina tapahtunut ja mihin suuntaan mielipiteiden voidaan arvioida kehittyvän.

Tilastollisesti merkittävät erot olivat miesten ja naisten yleisessä maanpuolustustahdossa ja vanhempien sukupolvien ja nuorempien sukupolvien suhtautumisessa nykyiseen asevelvollisuusmalliin. Vuosina 2000–2020 miellettiin useammin sitä mieltä, että Suomea kuuluu puolustaa kaikissa tilanteissa, ja vanhemmat sukupolvet olivat asevelvollisuuden nykykannalla useammin kuin nuoremmat. Miehet olivat useammin myös sitä mieltä, että puolustusmenoja voi korottaa, ja vanhemmat sukupolvet olivat tällä kannalla 2010-luvun jälkipuoliskolla. Sotilaallisen liittoutumisen osalta merkittäviä eroja ei esiintynyt. Suhtautuminen sotilaalliseen liittoutumiseen muuttui voimakkaasti tarkastelujakson jälkeen vuoden 2022 aikana. Tästä on toistaiseksi olemassa Maanpuolustuksen suunnittelukunnan keuhällä 2022 teettämän erilliskyselyn tulokset. Mielenkiintoinen jatkotutkimuksen aihe onkin, millä tavalla maanpuolustustahto ja muut puolustuspoliittiset mielipiteet reagoivat maailmanpoliittisiin tapahtumiin. Esimerkiksi 2014–15 Krimin valloituksen jälkeen maanpuolustustahdossa oli MTS-kyselyissä pieni nousu, joka tasoittui hitaaseen laskuun. Kevään 2022 tapahtumien vaikutusta on mahdollista arvioida tulevien kyselyjen tuloksilla.

Maanpuolustuskorkeakoulun opiskelijoiden valmiudet tasa-arvo- ja yhdenvertaisuuskysymyksissä

Suvi Kouri tarkastelee artikkelissaan *Diversity Competence as Military Professional Expertise? Conceptions of Finnish*

National Defence University Students, miten Maanpuolustuskorkeakoulun opiskelijat kokevat valmiutensa kohdata asepalvelustaan suorittavien muun muassa sukupuolen ja etnisen taustan osalta monimuotoistuva joukko sekä millaisia erityiskysymyksiä monimuotoisuuden kasvu aiheuttaa ja miten se tulisi huomioida upseerikoulutuksessa. Suomessa tasa-arvoon ja yhdenvertaisuuteen liittyviä kysymyksiä sekä varusmiesten ja palkatun henkilöstön kokemuksia esimerkiksi eriarvoisuudesta, syrjinnästä tai seksuaalisesta häirinnästä Puolustusvoimissa on tutkittu runsaasti. Tutkimuksille yhteistä on, että niissä on tunnistettu selkeitä kehittämistarpeita tasa-arvon ja yhdenvertaisuuden edistämiseksi.

Osatutkimuksessa käytiin myös läpi Maanpuolustuskorkeakoulun virallisia asiakirjoja ja opetuksen sisältöä tasa-arvo- ja yhdenvertaisuuskysymyksiin liittyen. Aineistonkeruuta varten suunniteltiin kyselylomake, jolla aineisto kerättiin Maanpuolustuskorkeakoulun opiskelijoilta oppituntitilanteissa kevään 2022 aikana. Kyselyyn vastasi yhteensä 168 kadetti- ja maisteriopiskelijaa. Aineisto on hyödynnettävissä vielä GESELA-projektin ulkopuolisiin julkaisuihin.

Tuloksia tarkasteltiin moninaisuusosaamisen (diversity competence) käsitteen avulla. Opiskelijat, jotka näkivät tasa-arvon olevan keskeinen puolustusvoimien arvo, pitivät moninaisuusosaamista olennaisena osana asiantuntemustaan ja johtamisaamistaan. Opiskelijat, jotka eivät pitäneet tasa-arvoa keskeisenä organisaation arvona olivat sitä mieltä, että moninaisuuden kohtaamisessa tarvitaan tavallisia sosiaalisia taitoja.

Riippumatta siitä, millä tavalla moninaisuuden kohtaaminen ja hallinta nimitään, tasa-arvo- ja yhdenvertaisuuslain säädännön veloitteiden tunteminen ja toteuttaminen on olennainen osa kouluttajan ja johtajan osaamista. Tähän liittyvän osaamisen kehittäminen on keskeinen johtamisaamisaamisen teema-alue, jonka merkitys ei todennäköisesti tule vähenemään. Aihealueen käsittely voi herättää myös negatiivisia tunteita, joten veloitteiden purkaminen selkeiksi ja konkreettisiksi ohjeiksi sekä ennakko- ja stereotyyppioita haastaviksi opetussisällöiksi on olennaista erilaisuutta huomioivan organisaation kehittämiseksi.

Tulevaisuuden näkymiä

Ukrainan sota todennäköisimmin vaikuttaa niin, että yleinen maanpuolustustahto pysyy Maanpuolustustiedotuksen suunnittelukunnan ja muissa kyselytutkimuksissa korkealla tasolla. Vaikka eroja sukupuolten ja ikäryhmien välillä on, erot eivät ole dramaattisia, ja muihin maihin verrattuna maanpuolustustahto on yleisesti tarkastellen ollut korkealla pitkään. Kyseessä ei ole siis vain henkilökohtainen halu ja valmius osallistua maanpuolustuksen tehtäviin vaan myös poliittinen tuki Suomen puolustamiselle kaikissa tilanteissa. Asevelvollisuuden nykymalliin ei ole vuoden 2021 lopulla valmistuneen

parlamentaarisen asevelvollisuuskomitean mietinnön pohjalta ehdotettu suuria muutoksia. Komitean suosituksen saattavat johtaa pieniin muutoksiin, kuten asevelvollisuusikäisiin naisiin kohdistetun kutsuntoihin verrattavan menettelyn säätäminen ja toteuttaminen. Tämä menettely ei kuitenkaan velvoittaisi naisia suorittamaan varusmiespalvelusta.

On haastavaa arvioida, millainen painoarvo tulevaisuudessa annetaan sotatyön jakautumiselle miesten ja naisten kesken tasa-arvoisesti ja millä tavalla tasa-arvo määritellään asevelvollisuuden yhteydessä. Yhteiskunnallisina ryhminä miehet ja naiset eivät ole fyysisiltä ominaisuuksiltaan ja elämäntilanteiltaan identtissä asemassa. Erot tunnustamalla ja niitä punnitsemalla on mahdollista tavoitella kontekstuaalista tasa-arvoa ja esimerkiksi asettaa tavoitteita naisten määrästä ja osuudesta sekä reservissä että ammattisotilaina. Realistinen tavoite voisi olla esimerkiksi 10, 15 tai 20 prosenttia tietyllä aikavälillä.

Asevelvollisuuskysymyksessä muodollinen tasa-arvo on mahdollista saavuttaa lakia muuttamalla. Jotta kontekstuaalista tasa-arvoa voi tavoitella, on asetettava realistiset ja tarkoitukseenmukaiset tavoitteet. Asevelvollisuuden vähintään osittaisesta pakottavuudesta voi olla hankala tinkiä turvallisuuspoliittisten realiteettien vuoksi. Kansalaismielipiteen suunta ja osuus kokonaisratkaisussa jää nähtäväksi, muutospaineisiin vaikuttavat sekä turvallisuuspoliittinen tilanne että muu yhteiskunnallinen muutos. Puolustusmenoissa ja sotilaallisessa liittoutumisessa on puolestaan nähty, että muutos voi tapahtua nopeastikin turvallisuuspoliittisen tilanteen muuttuessa.



(Kuva: Arto Nygård/Puolustusvoimat)

Kirjoittaja:

VTT Linda Hart työskenteli vuonna 2022 GESELA-tutkimushankkeen vastuullisena johtajana ja 2018-2021 sotilas sosiologian tutkimushankkeissa Maanpuolustuskorkeakoulussa johtamisen ja sotilaspedagogiikan laitoksessa.

Sotarikokset ja sotarikostutkinta Ukrainan ja Venäjän välisessä aseellisessa selkkauksessa

Valtion hyökätessä asevoimillaan toiseen valtioon sytty kansainvälinen aseellinen valtioidenvälinen selkkaus, jolloin tulevat välittömästi sovellettaviksi ns. aseellisessa selkkauksessa sovellettavat sodan oikeussäännöt. Niiden soveltaminen ei riipu siitä, kuka aloitti sodan eli toimi hyökkääjänä, oliko sotatoimien aloittamiselle oikeutusta, tai miksi osapuolet kutsuvat tilannetta (kuten erikoisoperaatioksi). Aseellinen selkkaus syntyy myös silloin, kun valtio asevoimiensa avulla miehittää toisen valtion osan, vaikka sen toiminta ei kohtaisikaan aseellista vastarintaa tai tämä jäisi vähäiseksi vastustukseksi.

Sodan oikeussäännöt järjestävät osapuolivaltioiden sodankäyntitoimia hyvinkin yksityiskohtaisesti, ja sotatoimien yhteydessä tapahtuu myös näiden vastaisia toimia. Vain vakavimmat näistä loukkauksista voivat olla myös sekä sodan oikeussääntöjen että kansainvälisen rikosoikeuden tarkoittamia *sotarikoksia*, joista vain kaikkein vakavimmat teot tai tekosarjat voivat ylittää rikoksien ihmisyyttä vastaan tai joukkotuhonnan soveltamiskynnykset.

Aseellisten selkkausten aikana voidaan syyllistyä tavallisiin rikoslakirikoksiin (kuten henkirikoksiin), jos tehdyllä rikollisella teolla ei ole yhteyttä sotatoimiin. Sodan oikeussäännöt on myös saatettu voimaan valtioiden sisäisin eri tavoin. Esimerkiksi Ukrainassa kaikkien sotarikosten tarkastelu kanavoituu tällä hetkellä lähinnä yhteen rikoslain pykälään, jossa säädetään sodan oikeussääntöjen vastaiset teot rangaistaviksi ja asetetaan näille rikoksille rangaistusasteikko.

Kansainvälisen rikostuomioistuimen perussääntöön kootut sotarikokset ovat varsin kattava koonnos nykyisistä vakavista sotarikoksista, vaikka nämä luettelot on kuitenkin laadittu ensisijaisesti sotarikostuomioistuimen toimivaltaa varten. Siksi joitakin sotarikoksia on jäänyt perussäännön laajojen sotarikosluetteloiden ulkopuolelle, koska niiden sisällyttämisestä ei päästy tuomioistuimen perustana olevan valtiosopimuksen laadintakonferenssissa (tai myöhemmissä täydentävissä neuvotteluissa) yksimielisyyteen. Lisäksi ne monin osin saavat sisältönsä joko sodan oikeussääntöjä koskevien valtiosopimuksien määräyksistä ja/tai niitä koskevien kansainvälisen tapaoikeuden oikeussäännöistä.

Lähtökohtana on, että tapahtumavaltion tai sen valtion, johon epäilty sotarikos on kohdistunut, viranomaiset (tai asevoimien

vastaavat tahot) tutkisivat sotarikosepäilyasian. Toisena lähtökohtana on, että tällaisesta teosta epäillyn henkilön kotivaltion, tai jos kyse on vastapuolen sotilaasta, hänet haltuunsa saaneen valtion viranomaiset tai asevoimien vastaavat tahot tutkivat asian. Kummassakin tapauksessa valmistuneen selvityksen perusteella viranomaiset päättävät asian siirtämisestä mahdolliseen syyteharkintaan joko normaalissa rikosoikeudessa tai asevoimien sisällä toimivassa sotatuomioistuinjärjestelmässä, jossa tällaiset edellytykset ovat olemassa. Ukrainassa aiemmin olleet asevoimien sotarikostuomioistuimet on lakkautettu, ja toimivalta syyteasioissa on normaaleilla tuomioistuimilla.

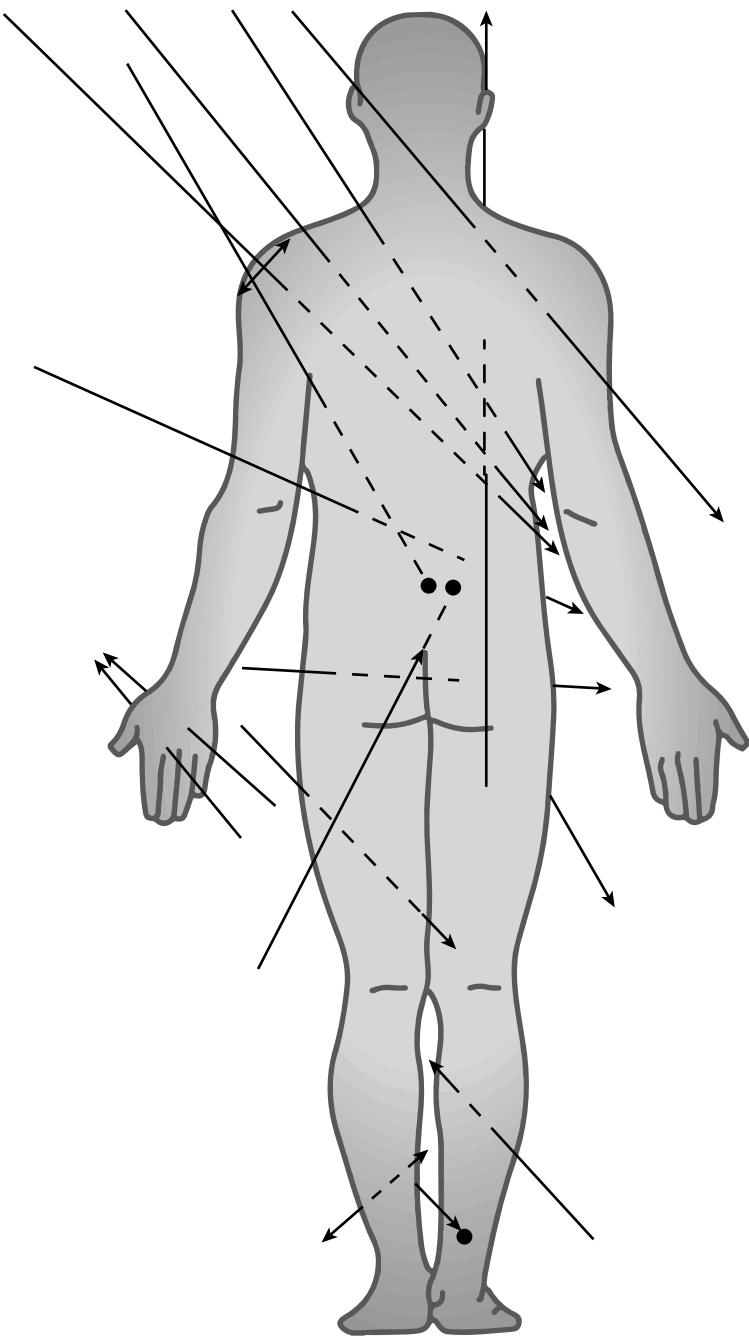
Perinteisesti kansainvälinen oikeus on ensisijaisesti korostanut valtioiden tuomioistuinten *ensisijaista toimivaltaa*, koska sillä on parhaat mahdollisuudet tapahtumien selvittämiseen ja tutkimiseen. Siksi useimmiten erilaisten kansainvälisten sotarikostuomioistuinten toimivalta on yleensä *toissijainen ja täydentävä* kansallisiin tuomioistuihin nähden, ellei perustavissa valtiosopimuksissa toisin ole sovittu tai jäsenvaltioita sitovassa muodossa hyväksytyissä Yhdistyneiden kansakuntien turvallisuusneuvoston päätöslauselmissa ole näin määrätty.

Kansainvälisen rikostuomioistuimen jäseniä ovat ne valtiot, jotka ovat liittyneet ja ratifioineet sen perussäännön sisältävän valtiosopimuksen, ja tuomioistuin on vain toimivaltainen näihin valtioihin nähden. Koska Ukraina ja Venäjä eivät ole liittyneet Kansainvälisen rikostuomioistuimen perussäännön jäseniksi, Ukraina ei olisi voinut tästä syystä esittää perussäännön *osapuolivaltion tutkintapyyntöä* tuomioistuimelle.

Tällaisessa tilanteessa normaali tie tutkimusten aloittamiselle olisi *asiaa koskeva YK:n turvallisuusneuvoston päätöslauselma*. Koska Venäjä on turvallisuusneuvoston veto-oikeuden käyttämiseen oikeutettu valtio, tarvittavan päätöslauselman syntyminen on kuitenkin käytännössä mahdotonta erityisesti, kun Venäjän asevoimien toiminta olisi tutkimusten kohteena. Tällöin oikeusperustaa on haettava muista mahdollisista toimivaltaperusteista.

Sotarikosten tutkinnan käynnistyminen Ukrainassa

Vaikka valtio ei olisi Kansainvälisen rikostuomioistuimen jäsen, se voi kuitenkin alistua tämän tuomioistuimen toi-



Sotarikosuhrin ampumavammat. (Grafiiikka: Johanna Suominen)

mivaltaan antamalla tätä edellyttävän selityksiakirjan. Siksi Ukraina on antanut kahdesti rikostuomioistuimen perussäännön 12(3) artiklan mukaisen julistuksen, mikä on mahdollistanut epäiltyjen rikosten laajan tutkinnan aloittamisen. Julistusten johdosta Kansainvälinen rikostuomioistuin on toimivaltainen tutkimaan vuodesta 2013 alkaen Ukrainan alueella mahdollisesti tapahtuneita tuomioistuimen toimivaltaan kuuluvia tapahtumia. Lisäksi 42 valtiota on pyytänyt Kansainvälistä rikostuomioistuinta tutkimaan Ukrainan alueella tapahtuneita sotarikoksia.

Näiden aloitteiden takia Kansainvälisen rikostuomioistuimen pääsyyttäjä on päättänyt, että on riittäviä perusteita käynnistää väitettyjen sotarikosten ja ihmisyyttä vastaan tehtyjen rikosten tutkinta, koska esiin on noussut riittäviä perusteita epäillä, että tällaisia rikoksia on saattanut tapahtua Ukrainan alueella ainakin Krimin miehitysvuodesta 2014 alkaen. Päätelmää on tukenut myös tuomioistuimen aiemmin tekemä oma esiselvitys Ukrainan alueen tapahtumista vuodelta 2020.

Ukraina aloitti omien viranomaistensa toimesta forensiset tutkimukset Kievin alueella sijaitseissa Buchan ja Borodiankan kaupungeissa 8.4.2022 saatuaan ne takaisin haltuunsa. Alueelle lähetetty tutkimusryhmä aloitti tutkimuksensa välittömästi Buchan kirkon alueella sijainneesta joukkohaudasta, jonne oli haudattu miehityksen aikana surmattuja siviilihenkilöitä. Valtiollinen tuki Ukrainalle käynnistyi myös nopeasti tämän jälkeen. Ranska lähetti oman 18-henkisen forensisen tutkimusryhmän Ukrainaan tehtävään tutkia Buchan vainajia ja tehdä näistä kuolinsyymäärityksiä. Ryhmä aloitti toimintansa jo 14.5.2022. Nopeasti muutkin valtiot, kuten Espanja ja Alankomaat, reagoivat tilanteeseen vastaavin tavoin. Myös Suomessa selvitetiin edellytyksiä oman tutkimusryhmän lähettämiseksi.

Nämä ja muut kansalliset forensiset tutkimusryhmät on sittemmin pääosin alistettu Kansainvälisen rikostuomioistuimen tutkimusryhmälle, joka perustettiin toukokuussa 2022 ja joka toimii Ukrainan alueella. Ryhmä on suurin Kansainvälisen rikostuomioistuimen syyttäväviraston koskaan asettamista kenttätutkimusryhmistä. Se toimii yhteistyössä Ukrainan viranomaisten ja koordinoitusti alueella jo toimivien tutkimusryhmien kanssa. Asiasta on tehty myös yhteistyösopimus EUROJUST:n kautta alueella toimivien kansallisten tutkimusryhmien kanssa, jotka muodostavat koordinoitusti myös EU:n yhteisen tutkimusryhmän (*EU Joint Investigative Team*).

Forensisella tutkimuksella on monta päämäärää

Forensisten tutkimusten tarkoituksena on *selvittää tutkittavien vainajien kuolinsyy* ja *kartoittaa* samalla sotatoimista ja muista väkivaltaisuuksista näille mahdollisesti aiheutuneet elinaikaiset (*ante mortem*) vammat. Havaintojen avulla pyritään muun kerättävän aineiston tuella hankkimaan informaatiota mahdollisista sotarikoksista ja rikoksista ihmisyyttä vastaan, jotta näiden pohjalta olisi aikanaan mahdollista suorittaa esitutkinta ja valmistella mahdollinen syyteharkinta tekoihin syyllistyneiksi epäiltyjen henkilöiden asettamiseksi teoista syytteeseen oikeudellisen vastuunalaisuuden toteuttamiseksi.

Nykyään kuolinsyytutkinnan yhteydessä pyritään myös suorittamaan vainajien *tunnistaminen*, milloin tämä on mahdollista. Ellei tämä ole mahdollista, kerätyt tiedot ja näytteet talletetaan mahdollista myöhempää tunnistamista varten. Sotarikostutkinnassa tutkittavien vainajien henkilöllisyyden

tunnistaminen ei ole edellytys sotarikostodisteiden hankinnassa, mutta vahvat kokemukset mm. Argentiinan forensisen ryhmän toiminnasta sekä erityisesti Jugoslavian hajoamishityksen forensisten ryhmien toiminnasta ovat vahvistaneet uhrien ja heidän omaistensa ihmisoikeuksien kunnioittamispyrkimysien tulon myös sotarikostutkintojen osaksi.

Valtioiden lähettämien tutkimusryhmien ohella alueella toimii myös muita forensisia toimijoita. Näistä merkittävin on uhrien tunnistamisessa ansioitunut *International Commission for Missing Persons (ICMP)*, joka on lähettänyt Ukrainan huhtikuussa 2022 tekemän apupyynnön perusteella 18-henkisen tutkimusryhmänsä avustamaan tutkimuksia Buchan alueella. Ryhmä on keskittynyt ottamaan vainajista ja oletetuista sukulaisista DNA-näytteitä ja pyrkii näiden avulla tunnistamaan löytyneitä vainajia.

Ukraina ja sen viranomaiset saavat sotarikostutkinnassa sekä sotarikossyytteiden valmistelussa myös tukea erilaisilta kansainvälisiltä asiantuntijoista koostuvilta neuvoa antavilta asiantuntijaryhmiltä.

Pitkä tie oikeudenkäynteihin

Forensisista tutkimuksista on kuitenkin vielä pitkä matka sotarikosoikeudenkäynteihin.

Jos kertynyt näyttö tapahtumista ja epäilyistä tekijöistä riittää syytteiden nostamiseen, epäiltyjä tekijöitä vastaan voitaisiin kansallisella tai kansainvälisellä tasolla nostaa syyte (*indictment*) ja asettaa heistä julkinen tai salainen kansainvälinen etsintäkuulutus.

Kun tutkittavana on yli 25 000 rekisteröityä sotarikostapausta, on Ukrainan syyttäjäjärjestelmän ja tuomiosituinlaitoksen tehtävä valtaisa, vaikka sen tuomioistuimet pääsääntöisesti toimivat normaalisti sotaa käyvässä maassa.

Esitutkittavat rikokset valmistuvat hitaasti syytteiden nostamisvaiheeseen, joten niiden lukumäärien kasvaessa suureksi on myös harkittavissa, että sotarikossyytteitä nostettaisiin ns. kolmansissa (ei-sodankävijäosapuolina olevissa) valtiois-

sa, joiden rikoslaki tunnustaa ns. *universaaliperiaatteen* syyteoikeuden perustana. Käytännön rajoitteena tälle ovat kuitenkin tällöin vaadittavat laajat kääntäjäresurssit sekä näihin liittyvät mahdolliset oikeusturvakysymykset, mikä puoltaisi kansainvälisiä järjestelyjä.

Tällä hetkellä on olemassa vain yksi kansainvälinen rikosoikeudellisesti toimivaltainen tuomioistuin, Kansainvälinen rikostuomioistuin (ICC), jonka toimivalta on toissijaista, koska yksittäisten valtioiden omat kansalliset tuomioistuimet ovat tässä suhteessa ensisijaisia oikeuspaikkoja. Vain merkittävimmät *vakavat sotarikokset*, *rikokset ihmisyyttä vastaan* sekä *joukkotuhontarikokset* ovat tällaisia rikoksia hyökkäysriikoksen, johon tuomioistuimella ei ole toimivaltaa Venäjään nähden, ohella.

Tuomiovallan saaminen, todisteaineiston kerääminen ja syytteiden nostaminen eivät vielä riitä, vaan kaiken tämän esityön jälkeen on saatava syyteeseen asetettu epäilty henkilö vastaamaan teoistaan rikostuomioistuimen oikeusistuntoon. Kansainvälisen rikostuomioistuimen osalta tämä edellyttäisi syyteeseen asetetun ja etsintäkuulutetun henkilön luovuttamista tai saamista Kansainvälisen rikostuomioistuimen tutkintavankilaan oikeusprosessia varten.

Ukrainassa on tällä hetkellä valmistelussa n. 70 sotarikosoikeudenkäyntiä, ja siellä on käyty ainakin kolme sotarikosoikeudenkäyntiä, joista ensimmäisen tuomiosta on jo annettu valitusasteesta lopulliseksi jäänyt tuomio ja kahdessa muussa alemman oikeusasteen ratkaisuksi jäänyt tuomio. Ainakin yhdessä oikeusjutussa on myös käyty alustava käsittelyvaihe kesäkuussa.

Oikeudenkäyntejä voidaan tosin järjestää, vaikka epäiltyjä ei niihin saataisikaan (*trial in absentia*), mutta tällöin korostuvat vielä entisestään reilun oikeudenkäynnin oikeusvaatimukset. Ukrainassa on vireillä muutama tällainen oikeudenkäynti, joissa epäiltyä ei ole saatu toistaiseksi kiinni, mutta hänen henkilöllisyytensä on tiedossa. Yleensä kuitenkin pyritään jo oikeusturvasyistä käynnistämään varsinainen oikeudenkäyntivaihe vasta, kun epäilty tai epäillyt henkilöt ovat syytteen nostaneen valtion viranomaisten hallussa.

Kirjoittajat:

OTL Kari T. Takamaa toimii johtavana sotilaslakimiehenä Maanpuolustuskorkeakoulussa Johtamisen ja sotilaspedagogiikan laitoksella. Takamaa on toiminut luennoitsijana ja tutkijana sekä mm. Finnish Forensic Expert Team -ryhmien johtajan oikeudellisenä neuvonantajana.

Oikeushammaslääkäri, professori, HLT Helena Ranta on toiminut mm. lukuisten Finnish Forensic Expert Team -tutkimusryhmien johtajana sekä luennoitsijana ja antanut merkittävän panoksen ihmisoikeuksien puolestapuhujana ja yhteiskunnallisena vaikuttajana.

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

Ilmavoimien esikunta

Komentotie 250
PL 30
41161 Tikkakoski

Puolustusvoimien logistiikkalaitos

Hatanpäänvaltatie 30
PL 69
33100 Tampere

Maanpuolustuskorkeakoulu

Santahamina
PL 7
00861 Helsinki