



Puolustusvoimat

Puolustustutkimuksen **VUOSIKIRJA 2025**



PUOLUSTUSTUTKIMUKSEN VUOSIKIRJA 2025

PÄÄTOIMITTAJA Jouni Koivisto
TOIMITTAJA Johanna Suominen



PUOLUSTUSVOIMAT
RIIHIMÄKI 2025

TOIMITUSKUNTA:

Jouni Koivisto
Jukka Saarela
Juhani Hämäläinen
Sami O. Järvinen
Timo Kaurila
Sirpa Korpela
Katri Laatikainen
Johanna Suominen
Janne Tähtinen
Kirsi Valkeapää

TAITTO, KANSI JA KUVANKÄSITTELY:

Johanna Suominen

KANNEN KUVAT:

Axel Ahoranta/Puolustusvoimat
Leevi Pere/Puolustusvoimat
Pauli Vine/Puolustusvoimat
Colin Lloyd/Unsplash
Cotton Bro Studio/Pexels
Geralt/Pixabay
Markus Spiske/Unsplash

Tekoälyllä laadittujen kuvituskuvien tarkemmat tiedot kirjan lopussa olevalla lisätietosivulla.

ISBN 978-951-25-3494-4 (painettu)
ISBN 978-951-25-3495-1 (verkkojulkaisu)
ISSN 2489-7329 (painettu)
ISSN 2490-1601 (verkkojulkaisu)

Puolustusvoimat

PunaMusta
Tampere 2025

Puolustusvoimien suunnittelupäällikön esipuhe

Elämme rauhattomia aikoja. Suomen turvallisuusympäristö on heikentynyt perustavanlaatuisesti ja pitkäkestoisesti erityisesti Venäjän Ukrainaan kohdistuneen oikeudettoman hyökkäyssodan takia. Laaja-alainen hybridivaikuttaminen myös sodan kynnyksen alapuolella on tullut osaksi arkipäivää.

Ukrainassa nähtävä sodan kuva on laajamittaista kulutus-taistelua, jossa perinteisen jalkaväen ja tykistön massamaisella käytöllä on keskeinen merkitys. Niiden rinnalle on kuitenkin samalla noussut uusiin teknologioihin perustuvia suorituskykyjä. Teknologian vaikutus näkyy muun muassa droonisodankäynnin yleistymisenä sekä sensoriteknologioiden kehittymisenä pisteeseen, jossa voidaan puhua taistelukentän muuttumisesta lähes läpinäkyväksi.

Maanpuolustuksen kasvanut merkitys näkyy selkeästi joulukuussa 2024 julkaistussa *Valtioneuvoston puolustusselonteossa*. Se tunnistaa muiden puolustuksen ajankohtaisten asioiden ohella myös tutkimus- ja kehittämistoiminnan tärkeyden. Selonteko peräänkuuluttaa teknologian hallinnan sekä siihen liittyvän kansainvälisen yhteistyön vahvistamista. Sotilaallisen maanpuolustuksen toimintaympäristön muutos edellyttää suorituskykyjen rakentamiselta ja käytöltä innovatiivisuutta – selonteko nostaa tuttuja kirjainten T&K rinnalle I:n, innovaatiot. Innovaatioiden ajureina ovat tutkijoiden ja puolustusteollisuuden lisäksi usein siviiliyritykset ja niiden kiihdyttämöt.

Kansainvälisen yhteistyön merkitys kasvaa jatkuvasti. Naton tutkimusyhteistyössä Suomi on ollut täysipainoisesti mukana jo vuodesta 2014, jolloin EOP-kumppanuus (Enhanced Opportunities Partners) avasi meille ovet Naton tiede- ja teknologiaorganisaatio STO:n (Science and Technology Organization) toimintaan. Suomen pääsy Naton jäseneksi syvensi STO-yhteistyötä entisestään, ja puolustushallinto edistää myös muiden viranomaistoimijoiden ja tutkimuslaitosten osallistumista STO:n paneelisiin ja tutkimusryhmiin. Väkilukuun suhteutettuna Suomi onkin ollut yksi STO:n aktiivisimmista jäsenistä.

Puolustusselonteko linjaa myös, että ”*kansainvälisten rahoitusmekanismien hyödyntämistä on edistettävä*”. Naton innovaatiotoiminnassa olemme jo aktiivisesti mukana: Suomi on jäsenenä niin Naton puolustusinnovaatioiden kiihdyttämö DIANA:ssa (Defence Innovation Accelerator for the North Atlantic) kuin puolustusinnovaatiorahasto NIF:ssä (Nato Innovation Fund). Suomella on yksi DIANA-kiihdyttämö ja kaksi testikeskusta, jotka keskittyvät kvanttiteknologioihin ja 6G-mobiiliverkkoihin.

Rahoituksen volyyymilla mitattuna merkittävin kansainvälinen mekanismi on toistaiseksi kuitenkin Euroopan puolustusrahasto EDF (European Defence Fund), joka jakaa vuosittain noin miljardi euroa jäsenmaiden puolustusteollisuusyrityksille tutkimus- ja kehittämistoimintaan. Suomalaiset tutkimuslaitokset ja yritykset saavat EDF:stä vuositasolla jo summan, joka vastaa kolmasosaa koko Puolustusvoimien tutkimusbudjetista. EU-yhteistyön syventäminen vahvistaa samalla eurooppalaista puolustusteollista autonomiaa.

Puolustustutkimuksen kansainvälisten verkostojen rakentamisessa olemme tehneet pitkäjänteistä työtä. Puolustushallinnolla on tärkeimpien kumppanien ja foorumien kanssa sopimusrakenteet, jotka mahdollistavat sujuvan yhteistyön. Arktisen puolustustutkimuksen yhteistyön toimivaksi foorumiksi on vakiintunut ICE PPR (International Cooperative Engagement Program for Polar Research). EU-yhteistyötä tehdään jo mainitun EDF:n lisäksi myös Euroopan puolustusvirasto EDA:n puitteissa. EDA on arvostettu asiantuntijaorganisaatio, jossa myös pienten jäsenmaiden ääni kuuluu. EDA myös tarjoaa tutkimusyhteistyölle vakiintuneet sopimusjärjestelyt sekä hallinnollista tukea.

Kahdensiväisistä puolustustutkimuksen kumppaneista voidaan esiin nostaa Ruotsi ja Yhdysvallat. Tutkimusyhteistyö Ruotsin kanssa on vakiintunutta, ja vastikään valmistunut puolustustutkimuksen yhteistyöpöytäkirja Ruotsin Puolustustutkimuslaitos FOI:n ja Puolustusvoimien tutkimuslaitok-

Pitkäjänteisellä T&K-toiminnalla luomme osaamispohjaa, jonka on tarvittaessa kyettävä muuttamaan myös dynaamiseksi ja reagoimaan nopeisiin tapahtumiin.

sen välillä tekee projektien toteuttamisesta, tiedonvaihdosta ja tutkijavaihdosta entistä virtaviivaisempaa. Yhdysvallat on teknologiajohtaja useimmilla puolustuksen osa-alueilla, ja vuosien ajan rakentamamme puitesopimusten kokonaisuus mahdollistaa hyvin laaja-alaisen tutkimusyhteistyön.

Turvallisuusympäristön jännitteiden kasvu korostaa myös puolustusteollisuuden roolia. Kotimaiseen puolustusteollisuuteen voi nykyisin katsoa kuuluvan yli 300 yritystä. Kaksikäyttötuotteiden ja startup-innovaatioiden hyödyntäminen laajentaa kenttää entisestään. Elinvoimainen kotimainen teollisuus on Puolustusvoimille merkittävä niin sotilaallisen huoltovarmuuden kuin laajan teknologisen osaamispohjan turvaamisessa. Puolustusvoimat puolestaan on teollisuudelle vaatimusten määrittäjä sekä vientiyrityksille merkittävä referenssi.

Tutkimustoiminnan aikajänne on tyypillisesti useita vuosia, ja sotateknologian kypsyminen perustutkimuksesta sotatarusteeksi voi viedä vuosikymmeniä. Ukrainan sota on osoittanut, että tositilanteessa innovaation ja teknologisen adaptaation syklit nopeutuvat huomattavasti. Droonijärjestelmien ja elektronisen sodankäynnin ase-vasta-ase -kilpailussa järjestelmiä joudutaan muokkaamaan kuukausittain tai jopa useammin. Pitkäjänteisellä T&K-toiminnalla luomme osaamispohjaa, jonka on tarvittaessa kyettävä muuttumaan myös dynaamiseksi ja reagoimaan nopeisiin tapahtumiin.

Puolustustutkimuksen vuosikirja 2025 -teoksessa esitellään laaja-alaisen tutkimus- ja kehittämistoimintamme viimeaikaisia tuloksia, mutta myös ajankohtaisia alaan liittyviä kysymyksenasetteluja. Toivotan lukijoille antoisia lukuhetkiä teoksen punnittujen puheenvuorojen parissa.



Kirjoittaja:

Lippueamiraali Jukka Antero Antero toimii Puolustusvoimien suunnittelupäällikkönä.

Päätoimittajalta

Hyvät lukijat,

On ilo ja kunnia toivottaa teidät tervetulleiksi lukemaan Puolustustutkimuksen vuosikirjaa 2025. Viime vuosina olemme kohdanneet uusia haasteita, joiden ratkaisemiseen tutkimustoiminta on tuottanut tutkittua tietoa ja näin tukenut Puolustusvoimien kykyä vastata nykyisiin ja tuleviin uhkiin.

Vuosikirjassa esittelemme laajan kirjon tutkimusprojekteja ja niiden tuloksia, jotka osoittavat suomalaisen puolustustutkimuksen korkeaa tasoa ja omistautumista. Vuosikirja esittelee tutkimustoimintaa sekä puolustushaaroista, Maanpuolustuskorkeakoulusta että Puolustusvoimien tutkimuslaitoksesta. Tutkimusta esitellään tällä kertaa nimenomaisesti puolustustutkimuksen monimuotoisuuden näkökulmasta.

Laajaan tutkimuksen spektriin kuuluu tutkimustoimintaa kaikkiin suorituskyvyn osatekijöihin liittyen – materiaaliin ja teknologioihin, henkilöstöön, sekä käyttö- ja toimintaperiaatteisiin. Toiminnan tason näkökulmasta tutkimus kattaa kaiken yksittäisistä teknologioista aina strategisen tason globaaleihin trendeihin. Aikaulottuvuuden näkökulmasta tutkimustoiminta kattaa muun muassa sotahistoriaa, käytössä olevan sotavarustuksen testausta ja evaluointia, käynnissä olevan suorituskyvyn rakentamisen tukea sekä toimintaympäristön kehittymisen vaikutukset 2040-luvulla.

Kiitän omasta puolestani kaikkia yhteistyökumppaneitamme, tutkijoitamme ja asiantuntijoitamme, jotka ovat antaneet panoksensa näihin projekteihin ja tämän vuosikirjan syntymiseen.



Kirjoittaja:

Päätoimittaja, insinöörieverstiluutnantti Jouni Koivisto toimii Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen tutkimusjohtajana.

Sisällys

Puolustusvoimien suunnittelupäällikön esipuhe	3
Päätoimittajalta	5
Toimintaympäristö- ja puolustusjärjestelmäanalyysi	
Tekoälyn monitieteellinen tutkimus	10
Suomalaisen yhteiskunnan kehitys 2025–2045	14
Strateginen ennakointi laajassa tietopohjatutkimuksessa – katsaus ennakkoinnin monimuotoisiin menetelmiin	18
Innovaatiotoiminta Puolustusvoimien tutkimusorganisaatioissa	23
Operaatiotaidon kehittämisen perusta ja tulevaisuuden haasteet	26
Naton ja Venäjän tulevaisuudentutkimus osana strategista suunnittelua	30
Taistelutilan informaation hallinta ja johtaminen	
Kanavoituminen tulee ottaa vakavasti	36
Kuvaavat elektro-optiset sensorit sotilaskäytössä – viimeisimmät trendit	39
Taistelijan toimintakyky	
Sodasta palaavien kotiuttamisjakso	44
Työyhteisökyselyn kehittäminen	47
Kriisinhallintaveteraanien hyvinvoinnin seurannan kehittäminen	50
Vaikuttaminen ja suoja	
Ydinaseen asevaikutukset	56
Vedenalaisten räjäytysten painevaikutusten vaimennus kuplaverholla	60
Uudet häivemateriaalit	64
Mikrolennokkien maavoimallinen tutkimus ja suorituskyvyn kehittäminen osaksi joukkotuotantoa	66
Sotilaan CBRN-suojan tutkimus	69



Toimintaympäristö- ja puolustusjärjestelmäanalyysi

Tekoälyn monitieteellinen tutkimus



Mustekalat ovat esimerkki vieraasta ja toisenlaisesta älykkyydestä, joka eroaa merkittävästi ihmisistä ja muista selkärangkaisista. (Kuva: Mika Helsingius, Microsoft Designer Image Creator)

Tekoälyn systemaattisella tutkimuksella on takanaan useiden vuosikymmenien historia. Tutkimus lähti liikkeelle muun muassa matematiikasta ja kielenkääntämisestä. Noin 70 vuoden hyvien ja huonojen kausien jälkeen teknologia on viimein riittävän kehittyntä tuottaakseen käyttökelpoisia lopputuotteita erilaisiin kohteisiin. Nyt meidän on aika kurkottaa eteenpäin seuraavaan vaiheeseen, jossa siirrytään kohti yleistä tekoälyä. Insinööritieteet eivät enää riitä tarjoamaan kaikkia vastauksia, vaan ihmisen kaltaista älykkyyttä kehitettäessä täytyy ottaa huomioon myös muut luonnontieteet ja ihmistieteet.

Käännöskoneista tekoälyavustajiin

Modernin tekoälyn tutkimuksen syntyhetkenä voidaan pitää Dartmouthin kesäkoulua 1956. Tuolloin joukko matemaatikkoja ja muita tutkijoita kokoontui kahdeksi kuukaudeksi ratkomaan älykkäisiin koneisiin ja ohjelmiin liittyviä ongelmia. Oletuksena oli, että kymmenen tutkijan tiimi voisi saada aikaan merkittäviä tuloksia. Pian kuitenkin huomattiin, ettei kaikkea pystyttykään ratkaisemaan helposti matematiikalla ja yksinkertaisilla ohjelmistoilla.

Seuraavina vuosikymmeninä tekoälyn tutkimuksessa oli monia nousu- ja laskukausia. Usein ylioptimistisia odotuksia seurasivat tekoälyn talvet eli ”AI Winter” -kaudet. Esimerkkeinä laskukausista ovat 1980- ja 1990-lukujen taitteen suuret odotukset asiantuntijajärjestelmistä ja Japanin viidennen sukupolven tietokoneiden kehitysprojekti, joka haudattiin vähin äänin.

Tällä hetkellä tekoälyt ovat esillä enemmän kuin koskaan. On esitetty myös varoituksia siitä, että pian joudumme taas pettymään ja tuotekehitykseen tehdyt sijoitukset eivät maksa itseään takaisin. Selvää on, että kaupallisella puolella tapahtuu ylikuumenemista ja jotkin tuoteideat paljastuvat suuriksi pettymyksiksi. Viime vuosina on löydetty kuitenkin monia käyttökohteita, joissa nykyisen tasoiset tekoälyt ovat riittävän hyviä tuottaakseen selkeää lisäarvoa. Yritykset ovat automatisoineet yksinkertaisia rutiinitöitä, ja tavalliset ihmiset käyttävät tekoälyavustajia tekstien tekoon ja kuvien tuottamiseen.

Tekoälyn ja varsinkin laajan yleisen tekoälyn määritelmät ovat muuttuneet aikojen kuluessa. Aikoinaan uskottiin, että luonnollisen kielen kääntäminen oli reitti älykkääseen koneeseen. Monet olettivat, että tietokoneet ratkaisisivat kielen

kääntämisen ongelmat nopeasti ja siitä olisi pieni hyppäys ihmisen kaltaiseen tekoälyyn. Konekääntäminen alkaa vasta nyt olla sillä tasolla, että lopputulos on riittävän laadukasta kohtuullisten raakakäännösten tekemiseen.

Kehittyntykään käännösohjelma ei kuitenkaan auta varsinaisen tekoälyn kehittämisessä. Monet muutkin haastavat ja aikanaan osana tekoälytutkimusta olleet ongelmat ovat osoittautuneet ratkaistavissa oleviksi, ja ne liittyvät esimerkiksi puheen, kuvien tai kolmiulotteisten tilojen ymmärtämiseen. Nämä ratkaisut eivät kuitenkaan anna vastausta siihen, mitä on älykkyys.

Käsityksiä tekoälyn olemuksesta

Generatiivisia kielimalleja saatetaan pitää vain monimutkaisina arvauskoneina, jotka tuottavat parhaiten annettuihin syötteisiin sopivia vastauksia. Jos keskustelujen kielimallien kanssa käy pidempää dialogia, ne saa pian puhuttua pussiin ja esittämään väittämiä, jotka ovat ristiriidassa niiden vain hetkeä aikaisemmin kertomien asioiden kanssa. Nykyisillä järjestelmillä ei ole pitkä ja laajaa muistia, jotta ne pystyisivät säilyttämään keskustelun punaisen langan. Ne eivät osaa myöskään tarkastaa faktoja, vaan ne voivat tehdä hyvinkin alkeellisia virheitä.

Ollaanko tässä liian ankaria? Kielimallien tekniikka ja soveltaminen on melko nuorta, ja niitä kehitetään jatkuvasti. Tästä herää helposti ajatus siitä, nämä muistuttavat kovasti keskusteluja muistisairaiden kanssa. Emmekö ole kuitenkin päässeet jo askeleen eteenpäin, jos kone antaa samantapaisia vastauksia kuin hieman vajaakuntoinen ihminen?

Emme saa sortua äärimmäiseen optimismiin tai pessimismiin, vaan meidän pitää pystyä katsomaan tekoälyn kehitystä nykyistä avarakatseisemmin ja monitieteellisemmin. Jotkut muodostavat mielipiteensä aikaisempien vuosikymmenien tutkimustulosten perusteella. Iltaapäivälehtien sivuilla ja suljetuissa asiantuntijatilaisuuksissa toinen joukko väittää, että olemme eksistentiaalisen uhan äärellä, ja toinen puoli toteaa, ettei ongelmaa ole, koska koneet tekevät vain sen, mitä niihin on ohjelmoitu. Totuus lienee jossain väli- maastossa.

Nykyisillä koneilla ei ole varsinaista omaa tahtoa, mutta kompleksiset verkottuneet järjestelmät voivat päätyä yllättäviin lopputuloksiin sen jälkeen, kun takaisinkytkentöjä sisältävä prosessi on kerran käynnistynyt. Psykologitkaan eivät ymmärrä ihmisten käyttäytymistä täydellisesti. Emme osaa analysoida kunnolla edes itseämme, ja moni tarkkailee painoaan, mutta huomaa kerta toisensa jälkeen syöneensä koko suklaalevyn. Insinööritkään ei välttämättä pysty sanomaan, mitä ja miksi mustana laatikkona näyttäytyvät, yhteen liitetty neuroverkot tekevät seuraavaksi.

Mitä ovat älykkyys ja tekoäly?

Nykyiset tekoälyt eivät ole enää pieniä Fortran- tai Lisp-koodin pätkiä, matematiikkaa tai insinööritieteitä. Mutkikkaat takaisinkytketyt järjestelmät pystyvät jossain vaiheessa myös modifioimaan itseään, joten ne ovat haastavia kohteita.

Älykkyys ja tietoisuuden ongelmaa on pohdittu jo antiikin ajoista lähtien muun muassa filosofian ja teologian näkökulmista. Erilaisia koulukuntia on ollut useita. Descartesilaisessa ja rationalistisessa ajattelussa eläimiäkin pidettiin aikanaan pelkkinä mekaanisina ja deterministisinä koneina. Tällainen lähestymistapa ei ole hedelmällinen, ja toisaalta myös liika inhimillistäminen eli antropomorfia voi aiheuttaa ajatuksellisia vinoumia.

Äly tai tekoäly voi olla myös jotain vieraampaa. Meidän on vaikea ymmärtää pääjalkaisten, kuten mustekalojen ja kalmarien, kognitiivisia kykyjä. Mustekaloilla on näköhermöhin liittyvien keskusaivojen lisäksi aivot jokaisessa lonkerossa omine lihaksineen ja tuntoaisteineen, ja tämä kollektiivi pystyy toimimaan yksilönä samaan tapaan kuin hajautettu tietojärjestelmä. Myös ihmisellä voi olla neurologisia häiriöitä, jotka jakavat aivopuoliskojen toiminnat kahteen osaan luoden kaksi osittain toisistaan eriytynyttä persoonallisuutta.

Biologialla, eläintieteillä ja lääketieteellä on paljon annettavaa tekoälytutkimukselle. Ne voisivat kertoa paljonkin siitä, miten eri eliöiden tietoisuuden ja ajattelun prosessit toimivat, ja samalla ne voivat tuoda esiin sitä, millaisia ratkaisuja luonnosta löytyy samanlaisiin ongelmiin.

Nykyiset kielimallit ja muut tekoälyalgoritmit perustuvat jossain määrin eri periaatteisiin kuin ihmisten ja eläinten kognitiiviset kyvyt. Nykymallien kehitys vaatii suunnattoman määrän opetusdataa. Savannille syntyvän antiloopin vasa ei selviytyisi ensimmäisestä yöstään, jos se olisi yhtä hidas oppimaan. Ihmislasten oppimista tutkittiin vuosituhannen alkupuolella MIT:n Human Speechome -projektissa. Siinä kerättiin yli 200 000 tuntia video- ja audiodataa erään lapsen kolmen ensimmäisen elinvuoden ajalta. Aineiston perusteella lasten todettiin oppivan uusia sanoja vain muutamien toistojen jälkeen silloin, kun kielellinen oppiminen oli käynnistynyt.

Luonnossa oppiminen on siis mahdollista lyhyessä ajassa uusissa tilanteissa ja puutteellisten aistihavaintojen perusteella. Toisaalta on ymmärrettävä, ettei tekoälyn tarvitse perustua samanlaisiin periaatteisiin. Lentokone ei ole mekaaninen lintu, mutta samaan lopputulokseen voi olla monta reittiä.

Vaikka pessimistit olisivat oikeassa ja tekoälytutkimus etenisi oletettua hitaammin, emme voi jäädä odottelemaan. Viime vuosien aikana on syntynyt epäily, että ihmistieteiden

edustajat aliarvioivat sitä, miten älykkäitä ja tietoisia koneet voivat olla, ja vastaavasti tekoälytutkijat yliarvioivat ihmisten älykkyyttä. Tekoälyä tutkivien insinöörien ja kognitiota tarkastelevien lääketieteen, psykologian ja neurologian tutkijoiden välillä on vieläkin liian leveä kuilu, sillä osapuolet eivät tunne toistensa työtä riittävästi.

Vaistonvaraista toimintaa vai tietoista päätöksentekoa?

Pari vuotta sitten esitelty tietoisuuden muistiteoria (Consciousness as a Memory System) yhdistää mielenkiintoisella tavalla kognitiivisten neurotieteiden havainnot ihmisen keskushermoston toiminnasta Kahnemanin ja Tverskyn kaksiosaiseen jaotteluun ihmisen päätöksenteosta. Kahnemanin mallissa järjestelmä yksi vastaa noin 99-prosenttisesti ihmisen tekemistä päätöksistä. Se on nopea, täysin automaattinen ja tiedostamaton. Suuri osa arkipäivän askareistamme vain tapahtuu, eivätkä aistiemme rajoitteet mahdollista mitään sen syvällisempää. Järjestelmä kaksi vastaa tietoisesta päätöksenteosta, ja siihen käytetään enemmän aikaa. Noissa yhdessä prosentissa valitsemme suuret linjat ja päätämme loogisesti ja laskelmoivasti, mitä olemme tekemässä, ja voimme hillitä liian impulsiivisia reaktioitamme.

Järjestelmää yksi on verrattu hevoseen ja järjestelmää kaksi ratsastajaan. Ratsastaessamme hevosella maastossa hevonen päättää itse kulkusuunnan. Ratsastaja voi kuitenkin ohjata sen kulkemaan haluamaansa suuntaan. Ratsastaja tietää lopullisen päämäärän ja ohjaa hevosta sen mukaan. Koska hevosella on oma mieli, se ei aina tottele ratsastajaa. Hevonen tekee suurimman osan työstä, ja ratsastaja puuttuu toimintaan vain tarvittaessa.

Tietoisuuden muistiteorian mukaan suurin osa ihmisen päätöksenteosta on mekaanista. Toisaalta uusista kielimalleista tehdyt viimeaikaiset havainnot ovat paljastaneet, että ne pystyvät yllättävänkin luoviin ratkaisuihin ilman, että niitä on siihen erityisesti opetettu. Jos suuri osa älykkään toiminnan vaatimista ominaisuuksista voidaan toteuttaa hyvin mekaanisilla ratkaisuilla, riittäisikö pieni tietoisuuden kipinä ohjaamaan laajempaa kokonaisuutta ja onko se aina edes tarpeen? Onko se määrä lisäosaamista, joka tarvitaan älykkäiden koneiden luomiseen, paljon pienempi kuin me tällä hetkellä kuvittelemme?

Jos ajattelempa tekoälyä mustana laatikkona, sen kanssa saman maailman jakavien ihmisten kannalta ei ole merkitystä sillä, onko mustan laatikon sisällä tietoista toimintaa, jos kyseinen järjestelmä näyttäytyy ulospäin 99-prosenttisesti ihmisen kaltaisena. Puuttuvan yhden prosentin osuuden ymmärtäminen ei ehkä olekaan välttämätöntä. Tieteiselokuva Blade Runnerin maailmassa arki sujuu normaalisti, vaikka



Tietoisuuden muistiteoria vertaa tiedostamatonta ja tietoista päätöksentekoa hevoseen ja ratsastajaan. (Kuva: Mika Helsingius, Microsoft Designer Image Creator)

ihmiset eivät tiedäkään, ovatko androidit tyhjäpäisiä koneita vai uneksivatko ne sähkölampaista.

Tulevaisuus vaatii monitieteellisiä lähestymistapoja

Jatkossa meidän tulee siirtyä insinöörinäkökulmasta ihmistieteisiin. Tekoälyä ei voida ohjelmoida samaan tapaan kuin perinteistä tietotekniikkaa. Osa Microsoftin kielimalleihin keskittyneistä tutkijoista on sanonut, että tekoälyjen kehittämisessä ja opetuksessa pitää ottaa huomioon muun muassa psykologia. Ihmisten ja kehittyneiden tekoälyjen toiminnassa on monia samoja piirteitä. Ihmisten kanssa toimiva psykologi osaisi ehkä paremmin ennakoida tekoälyn mielenliikkeitä, vaikka ne perustuvatkin keinotekoisin neuroverkkoihin elävien hermosolujen sijaan.

Tekoälyjen eettisen toiminnan kehittämistä on verrattu lasten kasvatukseen. Kaikki tietävät, ettei lasten kasvatusta onnistu pelkillä kielloilla ja käskyillä, vaan se vaatii pitkäjänteisempää työtä ja esimerkeistä oppimista. Luulemmeko kasvattavamme neuroverkkoihin tai tulevaan ratkaisuun pohjautuvan tekoälyn eettiseksi jollain koodinpätkällä? Ainoa keino lienee tekoälyjen pitkäaikainen kasvattaminen sellaisiksi, että ne sisäistävät samantapaisen arvoperustan kuin me. Insinöörien ja psykologien lisäksi tekoälytutkimukseen pitäisi ottaa mukaan kasvatustieteilijöitä, opettajia ja lastentarhatyöntekijöitä. Heillä on pedagogista osaamista siitä, miten ihmisiä voidaan kasvattaa oikeaan suuntaan, ja samojen perusperiaatteita voitaisiin sopivasti hyödyntää myös tekoälyjen opetusmateriaalissa.

Mitä tämä merkitsee puolustusteknologian ja autonomisten asejärjestelmien kannalta? Niitä kehitetään vauhdilla eri puolilla maailmaa. Jos tutkimustulokset viittaavat siihen, että ihminen tekee nopeat päätökset tiedostamattaan ja vaistonvaraisesti, mitä se tarkoittaa man-in-the-loop-periaatteen, autonomisten järjestelmien ja OODA-luupin kannalta? Eettisyys tulee huomioida jo järjestelmien kehityksen aikana, sillä jälkikäteen päälle liimaaminen ei välttämättä toimi niin hyvin. Tutkimuksella on kiire, sillä järjestelmien älykkyys lisääntyy nopeasti. Filosofinen keskustelu siitä, onko niiden älykkyys todellista vai jäljiteltä, ei ole oleellista siinä vaiheessa, jos taistelukentällä on vastustajan autonomisia asejärjestelmiä.

Johtopäätökset

Älykkyys koskettaa kaikkia elämänaloja mukaan lukien sotilaallisia järjestelmiä. Tekoälyjä ja autonomisia järjestelmiä kehittäessämme meidän tulee ottaa mukaan insinöörien lisäksi muiden tieteenalojen edustajia, joilla on uusia näkökulmia ja ratkaisuja moniin ongelmiin. Tarvitsemme kehitykseen biologeja, psykologeja, lääketieteen edustajia, kasvatustieteilijöitä ja filosofejä sekä sosiologeja ja teologeja. Muutoin katsomme tekoälyjen kehitystä eri puolilla maailmaa kapean länsimaisen ikkunamme läpi. Tekoälyt saattavat aiheuttaa tulevana lähivuosikymmeninä yhteiskunnallisia muutoksia, joiden merkittävyyttä emme vielä ymmärrä.

Kirjoittaja:

Tekniikan tohtori Mika Helsingius toimii vanhempana tutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen informaatiotekniikkaosastossa kyberpuolustuksen tutkimusalalla.

Suomalaisen yhteiskunnan kehitys 2025–2045



(Kuva: Mika Myrberg, Midjourney)

**Muuttuvan yhteiskunnan keskellä me kuitenkin tarvit-
sisimme kipeämmin pääpiirteistä tietoa suurten muu-
tosten suunnasta kuin tarkkaa tietoa pienten muutosten
yksityiskohdista.**

Pekka Kuusi, 60-luvun sosiaalipolitiikka

Puolustusvoimien strategisen tietopohjatutkimuksen Yhteiskunta-alatutkimuksen tavoitteena on luoda kattava kokonaiskuva suomalaisen yhteiskunnan kehityksestä seuraavien vuosikymmenten aikana. Tutkimuksessa tarkastellaan yhteiskunnan kehitykseen vaikuttavia tärkeimpiä muutostekijöitä ja niiden keskinäisiä vaikutuksia Puolustusvoimien näkökulmasta. Tulevaisuuteen vaikuttavista ilmiöistä muodostetaan muutostekijöitä, jotka ovat useista ilmiöistä ja epävarmuuksista muodostuvia kokonaisuuksia. Menetelmällisesti tutkimus perustuu tulevaisuudentutkimukseen ja sen erilaisiin analyysi- ja tutkimustekniikoihin. Menetelmistä on julkaistu artikkeli *Yhteiskunnan muutostekijöiden analysointi – määrällisten menetelmien soveltaminen laadullisessa tutkimuksessa* Puolustustutkimuksen vuosikirjassa 2024.

Yhteiskunta on jaettu tutkimuksessa yhteentoista osa-alueeseen ja viiteen yhteiskunnan tekijään kuvan 1 mukaisesti. Jokaiseen osa-alueeseen laadittiin ilmiökortteja, joissa on kuvattu osa-alueen kehitykseen vaikuttavia ilmiöitä, näiden seurauksia ja ilmiöiden välisiä yhteyksiä. Ilmiökorttien analyysin pohjalta valittiin osa-alueittain tärkeimmät yhteiskunnan kehitykseen vaikuttavat muutostekijät. PESTE-analyysillä muutostekijät luokiteltiin seuraaviksi yhteiskunnan tekijöiksi:

- valta (P)
- talous (E)
- ihmiset (S)
- teknologia (T)
- ympäristö (E).

Yhteiskunnan tekijöihin luokiteltua laadullista aineistoa analysoitiin määrällisesti ristivaikutus- ja verkkoanalyysin menetelmin. Analyyseillä muodostettiin muutostekijöiden merkittävyyttä ja keskinäisiä yhteyksiä kuvaavia teemoja.



Kuva 1: Yhteiskunnan yksitoista osa-aluetta, joiden tärkeimmät muutostekijät luokiteltiin viiteen yhteiskunnan tekijään PESTE:n mukaisesti. (Grafiikka: Mika Ihmäki)

Ihmiset – hyvinvointivaltion tulevaisuus

Ihmiset-tekijä koostuu erilaisista ihmisistä, yhteisöjä ja näiden välistä toimintaa sekä toiminnan yhteiskunnallisia seurauksia kuvaavista ilmiöistä. Ihmiset-tekijän alle ryhmitettyneet muutostekijät käsittelevät institutionaalisia muutoksia, kuten hyvinvointivaltion purkamista, sosiaalipsykologisia ilmiöitä, kuten turvallisuuden tunnetta sekä luottamusta valtioon ja muihin kansalaisiin, sekä demografisia ilmiöitä, kuten maahanmuuttoa ja väestön alueellista eriytymistä. Merkittäviksi muutostekijöiksi nousevat muun muassa yhteiskunnan arvopohjan moninaistuminen ja tämän vaikutukset asevelvollisuuteen, yhteiskunnan eriarvoistuminen, muutokset kansalaisten turvallisuuden tunteessa sekä ihmisten taito- ja osaamistason heikentyminen.

Ihmiset-tekijässä tunnistettiin neljä teemaa, joihin muutostekijät keskittyivät: eriarvoistuminen, hyvinvointivaltion instituutiot, luottamus sekä yksilön osaaminen ja kyky toimia osana yhteiskuntaa. Yhteistä kaikille teemoille on niihin sisältyvä, lähtökohtaisesti negatiiviseksi mielletty yhteiskunnallinen muutos. Eriarvoistuminen kasvaa, hyvinvointivaltion instituutioita puretaan ja kansalaisten luottamus toisiinsa ja valtioon heikkenee.

Neljän teeman lisäksi demografiset trendit nousevat esiin hyvinvointiyhteiskunnan rakenteiden muutosta kiihdyttävänä kokonaisuutena. Väestön alueellinen keskittyminen, ikärakenteen muutos, syntyvyyden lasku ja maahanmuutto johtavat yhtäältä moniäänisempään, monikulttuurisempaan mutta toisaalta jakautuneempaan yhteiskuntaan. Tämä näkyy erityisesti suurissa kaupungeissa sekä kaupunkien ja maaseudun suhteessa.

Hyvinvoivassa yhteiskunnassa keskeistä on luottamus: kansalaisten luottamus valtiota, instituutioita, viranomaisia ja

lähiyhteisöjä kohtaan sekä luottamus ja usko omaan tulevaisuuteen. Kokonaisuutena yhteiskunnallinen luottamus säilyy hyvänä, mutta sitä kyseenalaistetaan ja haastetaan yhä enemmän. Yksilöt arvottavat hyvinvoinnille merkityksellisiä asioita keskenään erilaisin tavoin, mikä johtaa luottamuspulaan, eriytymiseen ja ristiriitoihin, mikäli käsitystä yhteisestä hyvästä ei synny. Viranomaisten on yhä vaikeampi vastata kansalaisten odotuksiin ja sitä kautta ylläpitää kansalaisten luottamusta.

Useat yhteiskunnan muutostekijät, kuten heikkenevä taloustilanne, väestön eriarvoistuminen, huoltosuhteen heikkeneminen ja nuorten syrjäytyminen, uhkaavat suomalaisen hyvinvointiyhteiskunnan peruspilareita suoraan tai välillisesti. Paitsi hyvinvointivaltioiden instituutioiden purkaminen ja niiden tasaavan vaikutuksen poistaminen, myös kaupungistuminen ja alueellinen kehitys vaikuttavat eriarvoistumiseen. Osittain eriarvoistuminen on demografisten kehitystrendien tulosta, kun väestön ikärakenne muuttuu, väestö keskittyy kaupunkeihin ja maahanmuutto on alueellisesti epätasaista ja kaupunkeihin keskittyvää. Moninaiset seuraukset vaikuttavat toisiinsa ja kumuloituvat, minkä vuoksi eriarvoistumiskehitystä on vaikea muuttaa.

Tulevaisuudessa eriarvoistumisen hidastaminen ja purkaminen niin rakenteiden kuin kokemuksen tasolla edellyttää yhä enemmän yksilön omaa kyvykkyyttä pärjätä elämässä. Kansalaisten oma halu ja kyky osallistua yhteiskunnan toimintaan voi muodostua ratkaisevaksi tekijäksi yhteiskunnan suurissa muutoksissa ja kriiseissä.

Valta – turvallisuus ratkaisee

Valta-tekijän muutostekijät käsittelevät, nimensä mukaisesti, yhteiskunnallista valtaa ja sen jakautumista eri tahoille. Moni valta-tekijän alle asettuva muutostekijä liittyy kansa-

laisen ja valtion suhteeseen ja tämän suhteen muutokseen: kansalaiset alkavat mieltää valtion kansalaiselle määräämät velvoitteet ja oikeudet uusilla tavoilla. Suomalaisen arvot, asenteet ja mielipiteet demokratiasta ja hyvän yhteiskunnan merkityksestä muuttuvat ja monimuotoistuvat.

Suurten yhteiskunnallisten muutosten edessä suomalaiset kyseenalaistavat demokratian ja yhteiskunnallisen päätöksenteon toimivuuden. Kun yhteiskunta ei enää tuota riittävästi työtä, tukea ja turvaa, sitä aletaan vaatia entistä äänekkäämmin, ja vaatimusten kuoro on usein hyvin moniääninen. Kansalaisten luottamus sirpaloituu valtiollisilta instituutioilta ja suuntautuu niitä korvaaville toimijoille.

Valta-tekijässä tunnistettiin neljä teemaa, joihin muutostekijät keskittyivät: turvallisuus, talouden kirjo, yhteiskunnalliset epävarmuudet ja geopolitiikka. Yhteistä kaikille teemoille on valtion ja kansalaisten välisen suhteen muutos sekä ylipäätään valtion muuttuva rooli yhteiskunnallisena sopimuksena.

Merkittävien teemoista on muutokset yhteiskunnan turvallisuudessa. Turvattomuus yhteiskunta- ja yksilötasolla lisääntyy, kun valta turvallisuuden tuottamisesta jakaantuu ja turvallisuutta uhkaavien toimijoiden joukko monipuolistuu. Turvallisuusvastuut ja turvallisuusratkaisut eivät ole selkeitä ja pysyviä, vaan vastuut jakautuvat ja ratkaisuja etsitään tilannekohtaisesti monien toimijoiden kesken. Useilla väestöryhmillä on kokemus siitä, että yhteiskunta ei vastaa heidän tarpeisiinsa, ja tämä lisää kansalaisten jakautuneisuutta. Yhteenkuuluvuutta on yhä vaikeampi luoda ja ylläpitää. Jotkut passivoituvat, toiset taas aktivoituvat kansalaistoimintaan. Epävarmuudet paisuttavat turvallisuusviranomaisten tehtäväkenttää ja kasvattavat resursipainetta – tosin alueellisin ja ajallisin vaihteluin.

Maahanmuutto, globalisaatio ja erilaiset epävarmuudet aina taloudesta ilmastonmuutokseen muuttavat Suomessa asuvien ihmisten arvoja ja asenteita. Tämä vaikuttaa siihen, millä tavalla kansalaiset pitävät esimerkiksi valtion, kansainvälisten sopimusten tai erilaisten turvallisuuden toimijoiden valtaa tarpeellisenä tai oikeutettuna. Moni kyseenalaistaa perinteisten instituutioiden demokraattisen oikeutuksen, ja toisaalta moni putoaa yhteiskunnan turvaverkkojen läpi, kun perinteiset hyvinvointivaltion instituutiot muuttuvat.

Yksilön ja valtion suhteen muutokseen liittyy kuitenkin epävarmuutta: tapa, jolla suomalaiset hahmottavat valtion ja kansalaisen suhteen, voi muuttua hyvin monista syistä

Talous – vaikutusten keskellä

Talous-tekijän muutostekijät eivät muodosta erillisiä teemoja, vaan ovat itsessään laajoja, useita ilmiöitä yhdistäviä kokonaisuuksia, jotka käsittelevät demografian ja teknologian

vaikutusta talouteen sekä maailmantalouden epävakautta. Talouden muutostekijät ovat siten ikään kuin kokoaan merkittävämpiä ja vaikuttavat vahvasti muiden yhteiskunnan tekijöiden muutostekijöihin. Tämä vastaa perusymmärrystä yhteiskunnan toiminnasta: talouden rakenteet ja pitkän aikavälin taloustilanne heijastuvat monin eri tavoin niin konkreettisiin politiikkatoimiin kuin kansalaisten arvoihin ja asenteisiin. Yhteiskunnan toiminnassa taloustilanne ja talouden rakenteet heijastuvat myös siihen, mitä yhteiskunnan palveluita kansalaiset pitävät tärkeinä ja tarpeellisina.

Muutostekijöistä erityisesti talouden ja demografian suhde nousee painoarvoltaan suureksi. Myös demografia- ja teknologiakehityksen vaikutus talouskasvu- ja tuottavuusodotuksiin on merkittävä. Julkinen talous kärsii hitaasta väestökasvusta ja heikkenevästä huoltosuhteesta, mikä näkyy lisääntyneinä menoina ja vähentyneinä tuloina. Tämä lisää painetta julkisen talouden sopeuttamiseen ja raskaisiin menoleikkauksiin. Samanlainen kehityskulku on nähtävissä muissakin vauraissa länsimaissa. Valtiontalouksien kuormittuminen vuorovaikuttaakin laajempien maailmantalouden kehityskulkujen kanssa.

Ilmastonmuutos, kansainvälinen politiikka, energiamarkkinoiden muutokset ja muut kriisit aiheuttavat maailmanlaajuisia talouden häiriöitä. Kansainvälisen politiikan ja kaupan tapahtumat ovat viime vuosina osoittaneet, että toisiinsa tiiviisti verkottuneiden valtioiden taloudet reagoivat herkästi muutoksiin maailmantaloudessa. Tulevaisuudessa Suomi on entistäkin riippuvaisempi kansainvälisestä taloudesta ja kansainvälisistä markkinoista, joten häiriöt ja kriisit vaikuttavat laajasti myös Suomen talouteen. Suomen talouden heilahdellisuus kansainvälisen talouden kriisien vuoksi vaikuttaa niin yhteiskunnan vakaaseen kehitykseen kuin kriisinsietokykyyn vaatimaan varautumiseen ja huoltovarmuuteen.

Teknologia – maailma muutoksessa

Teknologia-tekijän muutostekijät käsittelevät teknologiaa sekä yleistason ilmiönä että sen yksittäisinä, konkreettisina ilmentyminä ja sovelluksina. Keskiössä ovat teknologian ja yhteiskunnan muuttuva suhde sekä tämän muutoksen vaikutukset yhteiskunnan turvallisuuteen ja varautumiseen.

Teknologia-tekijässä tunnistettiin kaksi teemaa, joiden ympärille muutostekijät keskittyivät. Ensimmäinen sisältää teknologian kehityksen ja digitalisaatioon liittyviä muutostekijöitä ja toinen energiajärjestelmään liittyviä muutostekijöitä. Älykäs liikennejärjestelmä ja sen vaikutukset kaupunki- ja liikenneinfrastruktuuriin -muutostekijä sijoittuu näiden välille. Teemoissa näkyy vahvasti teknologisen kehityksen kyky muuttaa yhteiskuntaa.

Toisaalta ihmisten toiminta asettaa tälle reunaehdot: teknologisen kehityksen yhteiskunnallinen merkitys perustuu

sosiaalisten normien ja tapojen muutokseen. Digitalisaatio ja tekoäly muuttavat yhteiskuntaa, jos ihmiset muuttavat arkielämänsä kehittyvän teknologian ja sen tuomien hyötyjen mukaisesti. Samalla muuttuvat rakennettu elinympäristö sekä yhteiskunnalliset instituutiot ja niiden tuottamat palvelut sekä niihin kytkeytyvät oikeudet ja velvoitteet.

Teknologisia innovaatioita sovelletaan myös tulevaisuudessa sellaisille elämän ja yhteiskunnan osa-alueille, joihin teknologia ei ole aiemmin yhtä vahvasti ulottunut. Tällaisten sovellusten laaja käyttöönotto ja rakenteellisten muutosten toteutuminen vaativat sosiaalisten normien muutosta. Yhteiskunnallisten instituutioiden digitalisoituminen ja tekoälyllistyminen, robotisaatio ja arkielämän palvelullistuminen vaativat kansalaisten, perheiden ja työpaikkojen normien ja käytäntöjen muuttumista ja toisaalta muuttavat näitä lisää.

Kysymykset moraalisesta ja lainsäädännöllisestä vastuusta esimerkiksi tekoälyn käytössä ja robotisaatiossa voivat hidastaa ja rajoittaa teknologian käyttöönottoa. Teknologiavaltaisuus, digitalisaatio ja tekoälyn käyttö saattavat heikentää yhteiskunnallisten instituutioiden läpinäkyvyyttä, mikä voi lisätä kansalaisten tyytymättömyyttä ja epäluottamusta niihin.

Ympäristö – ilmastomuutoksen haaste

Ympäristö-tekijä kattaa kaiken ihmiselle olennaisen rakennetun ja rakentamattoman ympäristön muutoksen. Ympäristö-tekijässä näkyy kaksi teemaa: ilmastomuutos ja luonnon kantokyky sekä teknologia, energia ja infrastruktuuri. Teemoja sitoo yhteen energia, jonka tuotantoon kohdistuu haasteita sekä ilmastomuutoksen että luonnon kantokyvyn heikkenemisen seurauksena. Tästä seuraa merkittäviä muutoksia niin yhteiskunnan infrastruktuurille kuin taloudellekin.

Ilmastomuutos ja luonnon kantokyky -teema tuo esiin ilmastomuutoksen laajat kehityskaaret ja vaikutukset. Ilmastomuutos uhkaa ihmiselämää ja sen perusedellytyksiä koko maapallolla. Euroopassa ilmastomuutos tarkoittaa muun muassa muuttuvaa maataloutta, kuivuutta ja tulvia sekä sään ääri-ilmiöiden aiheuttamia tuhoja rakennetussa ympäristössä. Seuraukset nähdään myös Suomessa, jossa luonnon monimuotoisuus heikkenee ja vieraslajien leviäminen jatkuu. Suomessa ei todennäköisesti nähdä tulevana vuosikymmeninä ilmastomuutoksen ääri-ilmiöitä, vaan elinolosuhteet ja ympäristö muuttuvat vähitellen. Laji- ja luontokato etenevät elinympäristöjen pirstoutuessa. Ihmiset ovat riippuvaisia rakentamattoman luonnon vakaudesta: metsistä, puhtaista ja riittävistä pohjavesistä ja jopa kaupunkiluonnosta.

Ympäristön muutos viittaa myös rakennetun ympäristön muutokseen. Kaupunkien infrastruktuuri ja ympäristön rakentamisen peruseriaatteet muuttuvat hitaasti. Digitalisaation edetessä infrastruktuuri digitalisoituu ja sen yllä-

pitäminen "älyllistyy" eli muuttuu yhä riippuvaisemmaksi datan keruusta, käsittelystä ja analysoinnista. Infrastruktuurin uudistaminen on kallista, ja ilmastomuutos tekee siitä kalliimpaa. Demografiset kehityskulut, pääasiassa väestön ikääntyminen ja kaupunkien kasvu, ohjaavat infrastruktuurin ja rakennetun ympäristön kehitystä. Käynnissä oleva kaupungistumisen kehityskulku jatkuu, kun väestö siirtyy kaupunkeihin ja maaseutu autioituu.

Ilmastomuutos sekä rakennetun ja rakentamattoman ympäristön muutokset kuormittavat yhteiskunnan keskeisiä instituutioita ja yhteiskunnallista päätöksentekoa Suomessa ja muualla. Ilmastomuutokseen reagointi ja siihen sopeutuminen kuormittavat demokratioita ja niiden hallintoa, etenkin kun ne yhdistetään muihin demografisiin ja institutionaalisiin trendeihin, kuten väestön ikääntymiseen ja demokratian heikkenemiseen. Ilmastomuutokseen sopeutumisen onnistuminen määrittää monin tavoin valtioiden ja kansakuntien tulevaa vakautta ja hyvinvointia.

Yhteenveto

Tutkimuksen perusteella erityisesti ihmisiin liittyvät muutos- ja epävarmuustekijät ovat merkittäviä suomalaisen yhteiskunnan pitkän aikavälin kehityksen kannalta, vaikka moni muu tekijä, esimerkiksi talous, vaikuttaa vahvasti ihmiset-tekijässä kuvattuihin muutostekijöihin. Tutkimuksen keskeisin tulos on, ettei idealisoitu käsitys Suomesta tasavertaisena, suhteellisen vauraana hyvinvointivaltiona enää tulevaisuudessa päde, ellei Suomi osana länsimaisia yhteiskuntia sopeudu nykyisiin, maailmanlaajuisiin kehityskulkuihin. Tuloksissa näkyy moni jo tällä hetkellä yhteiskunnassa havaittava kehityskulku, joiden suurimmat vaikutukset nähdään vasta tulevina vuosikymmeninä.

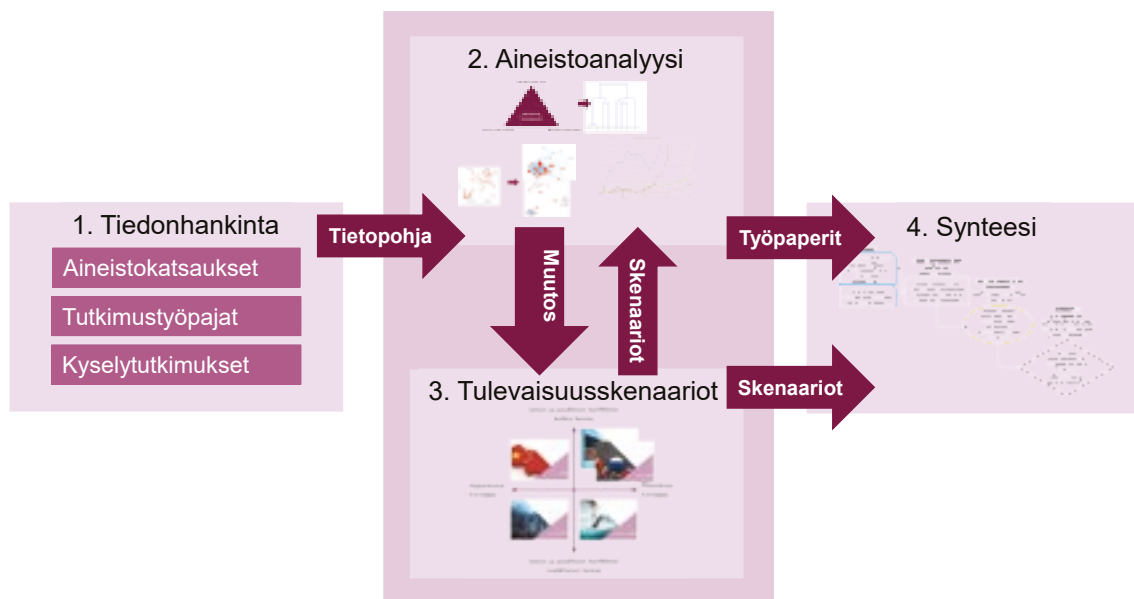
Yhteiskunnallinen muutos on nykyhetkeäkin arvioidessa moniulotteinen ja keskinäisiltä vaikutuksiltaan monimutkainen kokonaisuus. Suomalainen yhteiskunta ei voi irrottautua maailmanlaajuisista kehityskuluista, vaan joutuu sopeutumaan niiden alueellisiin vaikutuksiin. Suomalaisen yhteiskunnan rakenteet ja instituutiot muuttuvat, mikä vaikuttaa kaikkien Suomessa asuvien ihmisten elämään sosioekonomisesta asemasta riippumatta. Yhteiskunnassa vallitseva keskinäinen luottamus ja turvallisuudentunne vaikuttavat merkittävästi siihen, miltä suomalainen yhteiskunta tulevaisuudessa näyttää.

Kirjoittajat:

Majuri Mika Ihmäki toimii erikoistutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen doktriiniosastossa sodankäynti ja operaatiot -tutkimusallalla.

Valtiotieteiden maisteri Sofia Blanco Sequeiros toimii tutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen doktriiniosastossa strateginen toimintaympäristö -tutkimusallalla.

Strateginen ennakointi laajassa tietopohjatutkimuksessa – katsaus ennakkoinnin monimuotoisiin menetelmiin



Kuva 1. Strategisen tietopohjatutkimuksen eteneminen tiedonhankinnasta synteisiin. (Grafiikka: Puolustusvoimien tutkimuslaitos)

Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen Doktriiniosaston laatiman strategisen tietopohjatutkimuksen tavoitteena on arvioida toimintaympäristön kehittymistä ja tukea Puolustusvoimien strategista suunnittelua. Tutkimuksen toteuttamisessa hyödynnettiin ennakkoinnin menetelmiä, joilla varmistettiin kattava ymmärrys tulevaisuuden kehitykseen vaikuttavista tekijöistä. Ennakkoinnin tavoitteena on vähentää tulevaisuuden yllätyksellisyyttä sekä lisätä strategisen suunnittelun ja päätöksenteon ymmärrystä tulevaisuuteen vaikuttavista muutostekijöistä sekä niiden vaikutuksista tulevaisuuden eri kehityssuunnissa.

Strategisella ennakkoinnilla pyritään ymmärtämään tulevaisuutta ja sen epävarmuuksia. Mirä kauemmaksi katsomme tulevaisuuteen, sitä epävarmemmaksi se käy. Ennakkoinnin tavoitteena on hallita epävarmuuksia tunnistamalla tulevaisuuden mahdollisia kehityskulkuja sekä ymmärtämällä, mitkä tekijät johtavat näihin kehityskuluihin. Ennakkoinnilla pyritään lisäämään valmiutta toimia ja sopeutua tulevaisuuden muutokseen ja haasteisiin.

Strateginen tietopohjatutkimus tuottaa perusteita Puolustusvoimien strategiselle ennakkoinnille, suunnittelulle ja

Puolustusvoimien ylimmälle johdolle puolustusjärjestelmän pitkäjänteiseen kehittämiseen. Tutkimus tukee päätöksentekoa, joka ottaa huomioon myös tulevaisuuden vaatimukset. Sillä pyritään varmistamaan, että Puolustusvoimien lyhyemmän aikavälin päätökset perustuvat pidemmän aikavälin näkymiin.

Puolustusvoimien strategiseen toimintaympäristöön kohdistuvan tietopohjatutkimuksen tavoitteena oli tuottaa tietopohja ja kuvaus Suomen ja Puolustusvoimien toimintaympäristön kehityksestä 20 vuoden tarkastelujaksolla. Tutkimuksessa tunnistettiin tärkeimpien muutostekijöiden vaihtoehtoisia kehityskulkuja ja epävarmuustekijöitä. Tarkastelussa keskityttiin Suomen sotilaallisen puolustuksen kannalta keskeisiin näkökulmiin:

- strategisen toimintaympäristön kehityssuunnat
- Venäjän kehitys
- murrokselliset teknologiat
- suomalainen yhteiskunta ja sen kriisinsietokyky
- tulevaisuuden sodankäynti.

Tietopohjan tuottamisen lisäksi tutkimuksen tieteellisenä tavoitteena oli kehittää sen tutkimusmenetelmiä, kuten tiedonhankinnan, -hallinnan sekä ennakkoinnin menetelmiä.

Ennakointi on vaiheittainen prosessi alkaen nykytilan kartoituksesta tulevaisuuden hahmottamiseen ja tulevaisuuden kehityksen vaikutusten ymmärtämiseen. Tutkimusprosessina strateginen tietopohjatutkimus noudatteli yleistä ennakkoinnin prosessia ja koostui neljästä vaiheesta (ks. kuva 1):

1. Tiedonhankinta – havaitaan, mitä tapahtuu.
2. Aineistoanalyysi – ymmärretään, mitä näyttää tapahtuvan.
3. Tulevaisuusskenaariot – ymmärretään, mitä voi tapahtua.
4. Synteesi – ymmärretään kehityksen vaikutukset.

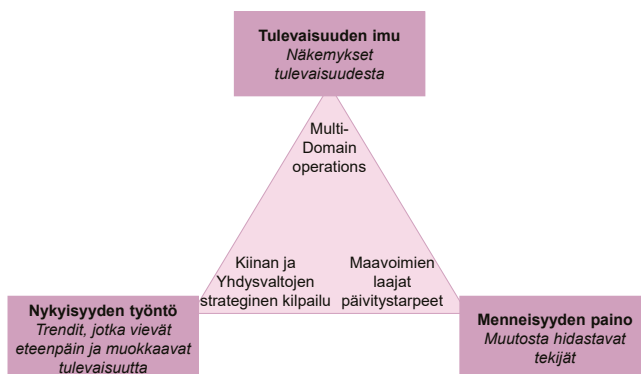
Tämän artikkelin tarkoituksena on kuvata strategisen tietopohjatutkimuksen tutkimusprosessia ja siinä käytettyjä tulevaisuudentutkimuksen ja ennakkoinnin tutkimusmenetelmiä. Aikaisemmat tietopohjatutkimukset noudattivat pragmaattisesti rakennetta, jossa kuvattiin yksi mahdollinen ja todennäköisin tulevaisuuden kehityskulku ja arvioitiin sen vaikutuksia Puolustusvoimien ja puolustusjärjestelmän kehittämiselle. Nyt tarkasteltavana oleva tietopohjatutkimus poikkeaa edeltäjistään siinä, että se perustui kattavaan skenaariotarkasteluun.

Laajalla tietopohjalla ymmärrys muutoksesta

Ennakkoinnin alkuvaiheissa pyrittiin ymmärtämään, mikä on muutoksessa. Tutkimuksen tietopohjan keräämiseksi toteutettiin laaja lähdeaineistokatsaus sekä tutkimustyöpajoja ja -kyselyjä. Tiedonhankinnassa keskityttiin kotimaisten ja ulkomaisten – länsimaisten sekä venäläisten – tutkimus- ja tiedelaitosten, tutkimuskeskusten sekä ennakkointiasiantuntijoiden ja -organisaatioiden tuottamaan tietoon tarkastelujaksolta. Tutkimuksesta ei laadittu koottua, laajaa tietopohjaraporttia, vaan jo tutkimuksen aikana julkaistiin työpapereita tutkimustulosten jalkauttamiseksi.

Lähdeaineiston analysoinnilla pyrittiin tunnistamaan Suomen sotilaallisen puolustuksen näkökulmasta tärkeimpiä trendejä, ajureita, epävarmuuksia ja heikkoja signaaleja. Työpaperit keskittyivätkin strategisen ennakkoinnin ja tulevaisuudentutkimuksen mukaisesti muutostekijöihin, jotka vaikuttavat eri näkökulmien kehityksiin sekä niissä esille tulleisiin epävarmuuksiin.

Analysointivaiheen menetelmien ensisijainen tavoite on jäsentää laajaa aineistoa ja helpottaa muutostekijöiden tunnis-



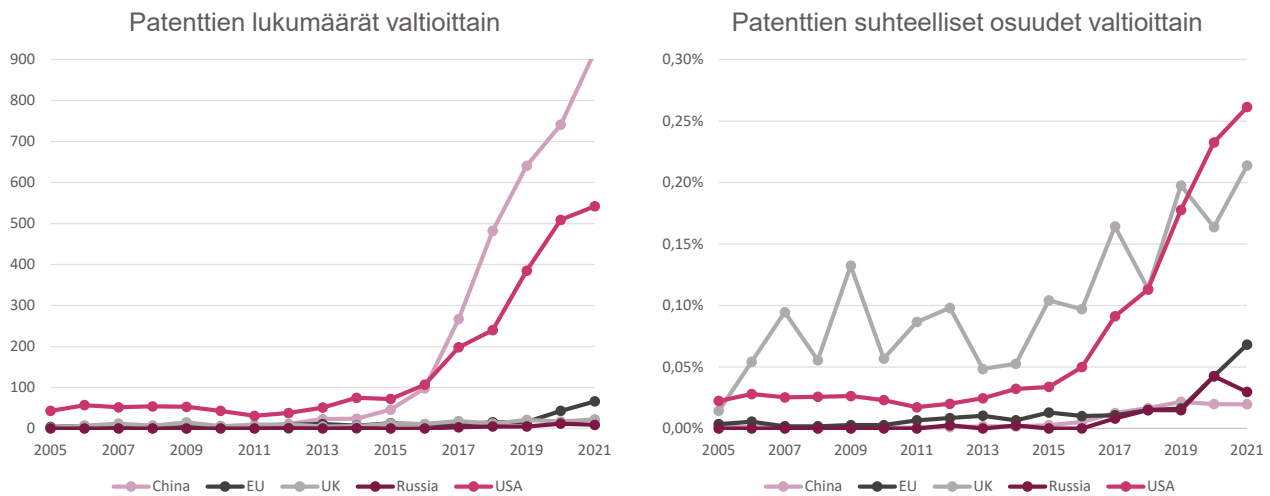
Kuva 2. Sodankäynnin kehitystä arvioitiin tulevaisuuskolmion avulla. Tulevaisuuskolmiossa tulevaisuuden kehitykseen vaikuttavat tekijät pyritään ryhmittelemään niiden luonteen mukaan. Tulevaisuuden imu kuvaa tahtotilaa, minkälaisena haluamme olla tulevaisuudessa, nykyisyyden työntö tarkoittaa tekijöitä, jotka muokkaavat tulevaisuutta ja menneisyyden paino listaa muutosta hidastavat tekijät. Tulevaisuuden kehittymiseen vaikuttaa näiden tekijöiden vahvistuminen tai heikentyminen. Kuvan kolmiossa tarkastellaan Yhdysvaltojen maasodankäyntiä ja Yhdysvallat näkee kykenevänsä tulevaisuudessa taistelemaan kaikissa sodankäynnin toimintaympäristöissä, usealla maantieteellisellä alueella. Tavoitteen saavuttamista voi kuitenkin hidastaa maavoimien laajat päivitystarpeet. Toisaalta kiristynyt kilpailu Kiinan kanssa asettaa paineita ja voi aikaista Yhdysvaltojen asevoimien modernisointia. (Grafiikka: Puolustusvoimien tutkimuslaitos)

tamista. Strategisessa tietopohjatutkimuksessa korostuivat erityisesti laadullinen sisällönanalyysi sekä tulevaisuudentutkimuksen menetelmät, joissa hyödynnettiin laajaa monitieteellistä asiantuntijuutta:

- Tulevaisuuskolmion avulla jäseneltiin sodankäynnin, teknologian ja toimintaympäristön tekijät, jotta pystyttiin muodostamaan parempi ymmärrys sodankäynnin pitkän ajan kehityksestä (ks. kuva 2).
- Sense breaking -kehityksen avulla asiantuntijajoukko tunnsti yhteiskunnan heikkoja signaaleja.
- SWOT-analyysillä ymmärrettiin teknologian kehityksen vaikutuksia.

Monimuotoinen ja laaja aineisto edellytti myös määrällisten menetelmien hyödyntämistä erityisesti tiedon jäsentelyyn ja tulosten tulkintaan:

- Tilastollisen analyysin avulla havaittiin eri valtioiden teknologiapainopisteet ja ymmärrettiin, miten ne eroavat toisistaan (ks. kuva 3).
- Verkkoanalyysi havainnollisti yhteiskunnan ilmiöiden riippuvuuksia ja tuki merkittävimpien ilmiökokonaisuuksien tunnistamista (ks. kuva 4).
- Koneoppimisen luokittelumenetelmät vahvistivat ymmärrystä siitä, miten asiantuntijat näkevät Venäjän mahdolliset kehityskulut.



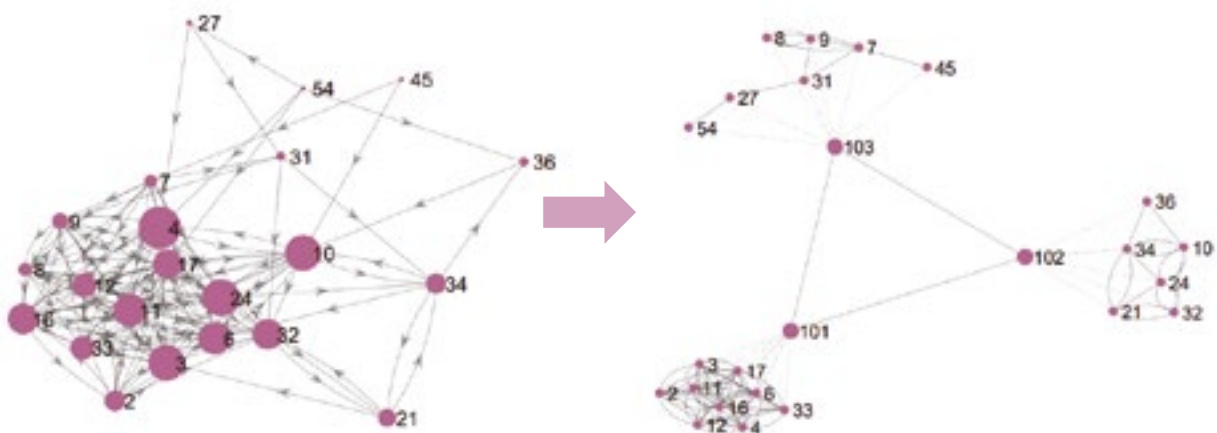
Kuva 3. Teknologian kehitystä arvioitiin valtioittain patenttianeistosta tehdyn tilastollisen analyysin avulla. Kuvassa tarkastellaan patenttien perusteella eri valtioiden kvanttitekniikan T&K-panostusta. Kuvasta huomataan, että Kiina patentoi lukumäärällisesti eniten kvanttitekniikkaan liittyviä patenteja ja lukumäärä on kasvanut rajusti viime vuosikymmenen aikana. Tästä huolimatta kyseisen teknologian suhteellinen osuus kaikista patenteista on melko pieni. Yhdysvalloissa kvanttitekniikan patenttien lukumäärä ja suhteellinen osuus ovat kasvaneet viime vuosikymmenellä merkittävästi. (Grafiikka: Puolustusvoimien tutkimuslaitos)

Skenaarioita tulevaisuuden kehityksen analysointiin

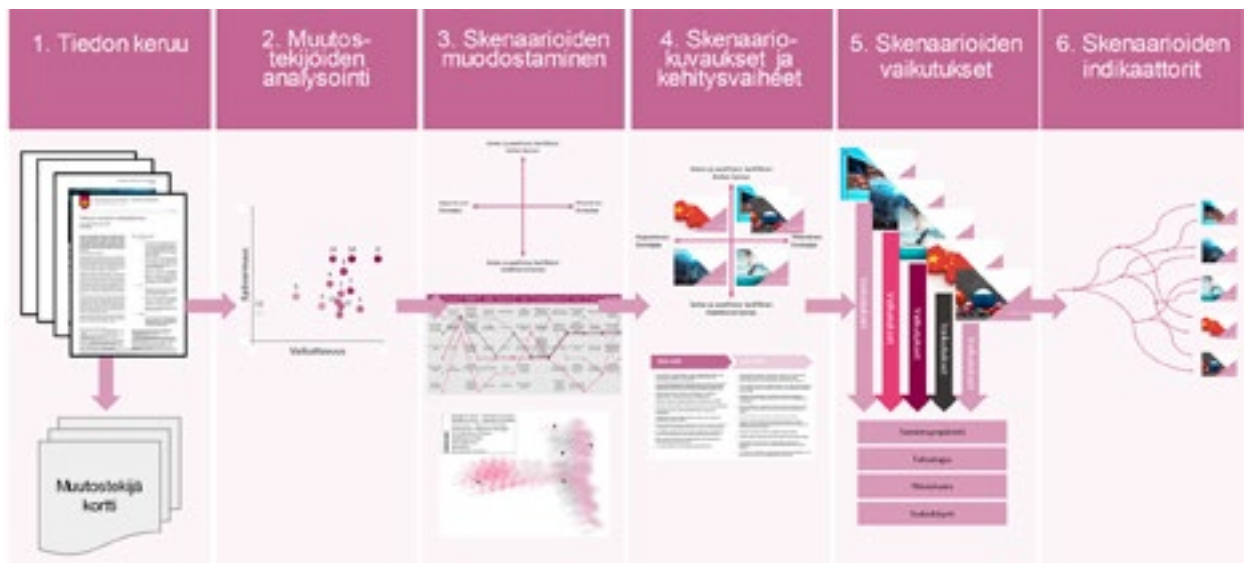
Strategisessa pitkän aikavälin ennakkoinnissa tulevaisuusskenaariot kuvaavat toimintaympäristön vaihtoehtoisia kehityskulkuja. Tulevaisuusskenaariot yhdistelevät merkittävien muutostekijöiden epävarmuuksia, jotta pystytään havainnollistamaan ja ymmärtämään näiden yhteisvaikutus. Strategisessa ennakkoinnissa skenaariot eivät kerro, mitä tulee tapahtumaan, vaan lisäävät ymmärrystä siitä, mitä voi tapahtua. Tavoitteena on luoda mahdollisimman kattava skenaario-

joukko, jotta pystymme ymmärtämään kokonaisvaltaisesti tulevaisuuden mahdollisia kehityskulkuja ja niiden avulla arvioimaan, mikä on varmaa, mikä epävarmaa, mitkä tapahtumat voivat muuttaa tulevaisuuden kehitystä, sekä erityisesti, miten toimintaympäristön kehitys vaikuttaa Suomeen.

Tietopohjatutkimuksen skenaariotyössä yhdistettiin eri näkökulmien aineistoanalyysissä nousseet havainnot tulevaisuuden kehityksestä. Skenaariotyö oli laaja poikkitieteellinen kokonaisuus, joka toteutettiin pääosin aivoriihi- ja työpajatyöskentelynä. Skenaariotyötä tukevat menetelmät



Kuva 4. Yhteiskunnan ilmiöitä mallinnettiin verkkoanalyysin avulla. Verkkoanalyysi mahdollisti ilmiökokonaisuuksien visualisoinnin sekä verkkoanalyysin menetelmien hyödyntämisen, kuten merkittävien ilmiöiden määrittely keskeisyysmittojen avulla ja ilmiökokonaisuuksien määrittelyn yhteisöanalyysillä. Vasemmassa kuvassa on visualisoitu ilmiöiden verkko, jonka tärkeimmäksi solmuksi nousee eriarvoistumisen kasvu (solmu 4). Oikeassa kuvassa on samasta verkosta määritetyt ilmiökokonaisuudet. Menetelmä löysi kolme merkittävää kokonaisuutta: yksilön turvallisuudentunteeseen liittyvät ilmiöt, yhteiskunnan varautumiseen ja huoltovarmuuteen liittyvät ilmiöt sekä demografian muutokseen liittyvät ilmiöt. (Grafiikka: Puolustusvoimien tutkimuslaitos)

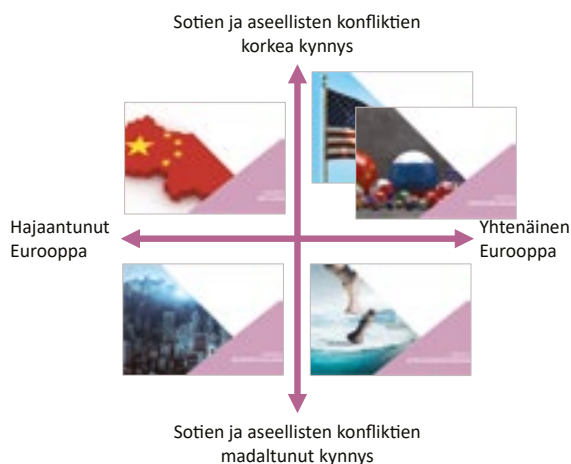


Kuva 5. Skenaariotyön eteneminen vaiheittain. (Grafiikka: Puolustusvoimien tutkimuslaitos)

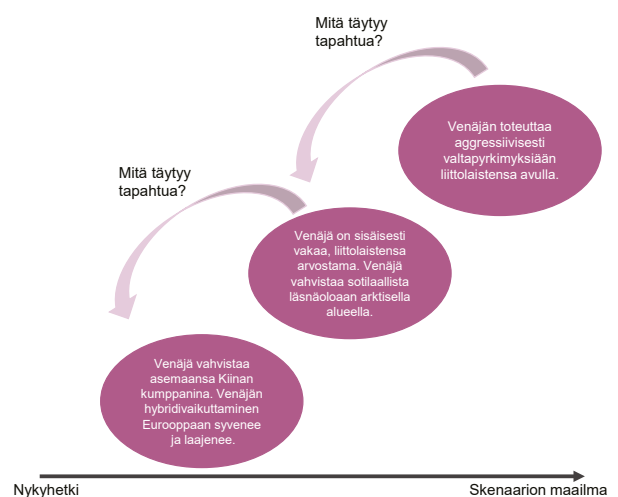
vaihtelevat työn eri vaiheissa (ks. kuva 5). Alkuvaiheessa menetelmien tavoitteena oli avustaa sopivan muutostekijäkonaisuuden valintaa skenaariotyöhön, ja niissä korostuivat asiantuntija-arvioihin perustuvat muutostekijöiden ryhmitely ja priorisointi.

Skenaariomenetelmissä kuvataan muutostekijöiden epävarmuudet ja yhdistellään epävarmuuksia siten, että syntyneet skenaariot täyttävät skenaarioille asetetut vaatimukset, eli niiden tulee olla mahdollisia, erillisiä ja johdonmukaisia ku-

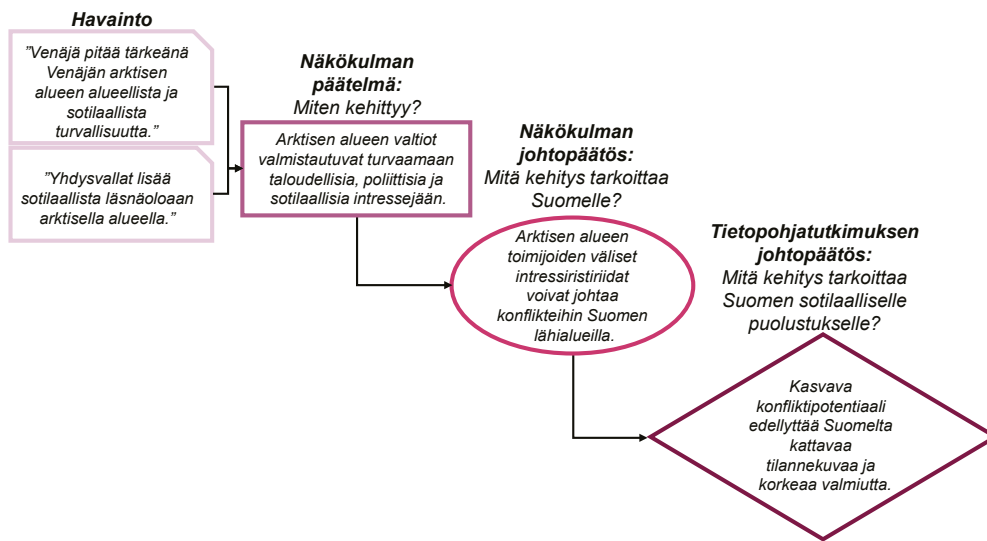
vauksia tulevaisuuden kehityksestä. Tietopohjatutkimuksen skenaariomenetelmänä käytettiin nelikenttämenetelmää ja morfologista analyysiä (ks. kuva 6). Nelikenttämenetelmällä rakennettiin vaihtoehtoisten skenaarioiden runko ja morfologisella analyysillä skenaariot täydennettiin kattamaan kaikki valittujen näkökulmien muutostekijät. Skenaariojoukon kattavuus varmistettiin korrespondenssianalyysillä. Skenaarioiden kehitysvaiheiden laatimiseen hyödynnettiin backcastingiä, jolla varmistettiin looginen kehityspolku nykyhetkestä skenaarion kuvaamaan tulevaisuuteen (ks. kuva 7).



Kuva 6. Nelikenttämenetelmässä tarkastellaan kahden muutostekijän epävarmuuksia näiden ääriarvojen avulla. Ääriarvojen yhdistelmällä muodostetaan neljä rakenteellisesti erillistä skenaariota. Kuvan esimerkin muutostekijöinä ovat sotien ja aseellisten konfliktien kynnys ja Euroopan yhtenäisyys. (Grafiikka: Puolustusvoimien tutkimuslaitos)



Kuva 7. Backcastingin tavoite on helpottaa skenaarioiden kehitysvaiheiden kirjoittamisessa. Menetelmässä tarkastellaan skenaarion kuvaamaa tulevaisuutta ja kirjataan askeleittain tapahtumat, joiden täytyy tapahtua, jotta päästään skenaarion kuvaamaan tulevaisuuteen. Kuvan esimerkissä tarkastellaan skenaariota, jossa Venäjä kehittää liittolaistensa avulla yhä aggressiivisemmaksi valtaapölymiänsä toteuttavaksi toimijaksi. (Grafiikka: Puolustusvoimien tutkimuslaitos)



Kuva 8. Synteesiä varten määritettiin tietomalli, jossa kuvataan tiedon jalostuminen työpapereissa ja skenaariotarkastelussa tehdyistä havainnoista tietopohjatutkimuksen johtopäätöksiin. Todellisuudessa mallin päättelyketjut eivät ole kuvan esimerkin mukaisia lineaarisia päättelyketjuja. Tietopohjatutkimuksen johtopäätöksiin saadaan tukea eri näkökulmien (toimintaympäristön, Venäjän, teknologian, sodankäynnin ja yhteiskunnan) päätelmistä. (Grafiikka: Puolustusvoimien tutkimuslaitos)

Skenaariotyön viimeisissä vaiheissa menetelmien tavoitteena oli systematisoida työskentelyä ja ohjata ajattelua, jotta skenaariotyössä syntyvät tuotteet vastaisivat tutkimukselle asetettuja kysymyksiä:

- Vaikutuksia arvioitiin kahdessa vaiheessa apukysymysten avulla: mitkä ovat skenaariokohtaiset muutokset ja pysyvyydet sekä mitä tapahtuu skenaariosta huolimatta?
- Skenaarioiden muutosten avulla tunnistettiin indikaattorikonaisuuksia, jotka voivat muuttaa tulevaisuuden kehityksen suuntaa.

Havainnoista johtopäätöksiin

Tietopohjatutkimuksen synteesi kokoaa yhteen tutkimuksen aikana tuotetut työpaperit sekä skenaariotarkastelun tutkimuksen loppuraportiksi. Synteesi kuvaa toimintaympäristön kehityksen vaikutukset Suomen sotilaalliselle puolustukselle. Siinä tarkastellaan toimintaympäristön kehityksen vaikutuksia kahdella tasolla: ensin eri näkökulmien kehityksen vaikutuksia Suomelle ja sen jälkeen näkökulmien poikkileikkaavia vaikutuksia Suomen sotilaalliselle puolustukselle.

Synteesin laatimiseen hyödynnettiin tietokantapohjaista analyysityökalua, jonka tarkoitus oli varmistaa, että synteesi on kattava ja analyysi läpinäkyvä. Synteesiä varten määriteltiin tietomalli, joka kuvaa synteesin etenemisen vaiheittain sekä tiedon jalostumisen tutkimuksen työpapereista ja tulevaisuusskenaarioista aina vaikutusten analysointiin (ks. kuva 8). Tietomallilla haluttiin varmistaa, että tutkimuksen loppuraportissa tehdyn analyysin taustalla oleva tieto on jäljitettävissä.

Ennakointimenetelmät tutkijan arkeen

Tietopohjatutkimuksen pyrkimyksenä ei ole kertoa, minkälainen tulevaisuus meillä on odotettavissa 20 vuoden kuluttua. Sen tavoitteena on herättää strategisen suunnittelun ja päätöksenteon osalta ajatuksia tulevaisuuteen vaikuttavista muutostekijöistä sekä niiden vaikutuksista eri tulevaisuuden kehityssuunnissa. Tutkimus pyrkii strategisella ennakkoinnillaan tukemaan luovaa strategista ajattelua sekä ketterämpää, innovatiivista ja vaihtoehtoja sisältävää strategista suunnittelua. Se pyrkii tuomaan esille mahdollisia yllätyksiä, epäjatkuvuuksia ja muutosta ennakoivia heikkoja signaaleja sekä välttämään yhden totuuden kehityskulkua.

Tietopohjatutkimus on osoittanut, että tulevaisuudentutkimuksen ja ennakkoinnin tutkimusmenetelmät ovat erittäin hyödyllisiä ja tehokkaita pitkän aikavälin ennakkoinnissa. Menetelmät tukevat tulevaisuuteen suuntautuvaa analyysiä pakottamalla huomioimaan kattavasti tulevaisuuteen vaikuttavia tekijöitä ja arvioimaan myös perinteisestä poikkeavia tulevaisuuskuvia. Kun menetelmiin on paneuduttu, niiden käyttö on joustavaa ja tuloksellista myös lyhyemmissä tutkimusprojekteissa.

Kirjoittajat:

Projektipäällikkö, eversti evp Mikko Kauppala toimii erikoistutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen doktriiniosastossa strategia ja toimintaympäristö -tutkimusosastolla.

Filosofian maisteri Laura Wirola toimii vanhempana tutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen doktriiniosastossa operatioanalyysi-tutkimusosastolla.

Innovaatiotoiminta Puolustusvoimien tutkimusorganisaatioissa



(Kuva: Pauli Vine/Puolustusvoimat)

Sotilaallista suorituskkyä voidaan edistää merkittävästi innovaatioiden avulla. Innovaatiotoiminnan merkitys kasvaa koko ajan, koska innovaatioilla voidaan saada hyötyä vastustajaan nähden. Diplomityössäni (Näkkäljärvi 2023) selvitin innovaatiotoiminnan tämänhetkistä tilaa Puolustusvoimien tutkimusorganisaatioissa sekä sitä, miten innovaatiotoimintaa voitaisiin käyttää kyseisissä organisaatioissa.

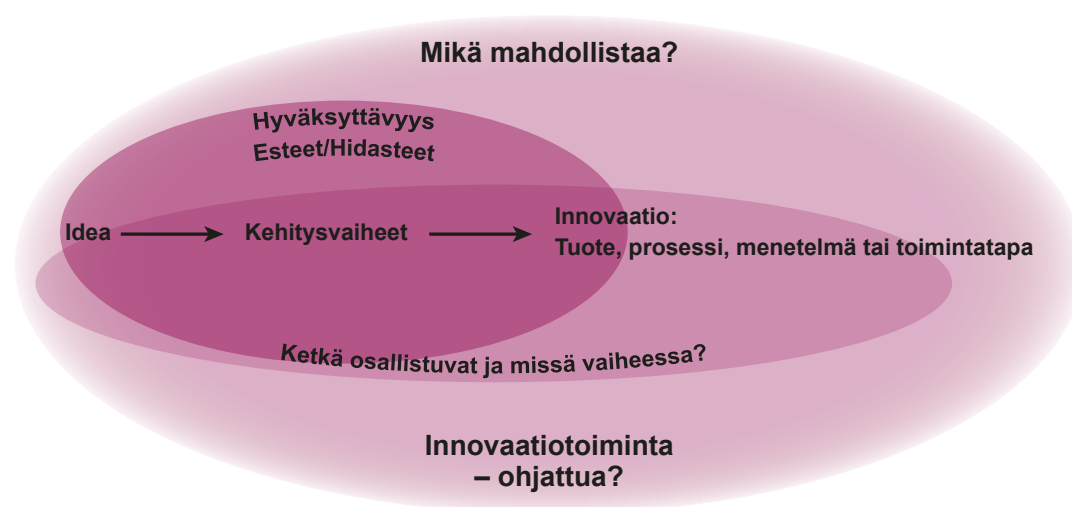
Tutkimuksen toteutus

Tutkimus rajattiin koskemaan seuraavia Puolustusvoimien tutkimusorganisaatioita:

- Puolustusvoimien tutkimuslaitos
- Maanpuolustuskorkeakoulu
- Ilmataistelukeskus
- Meritaistelukeskus
- Maavoimien tutkimuskeskus.

Puolustusvoimien tutkimus- ja kehittämistoiminta (T&K) keskittyy tutkimusorganisaatioihin, ja vahva organisaation sisäinen T&K-kyvykkyys yhdistetään yleisesti innovatiivisuuteen. Tutkimuksessa käytettiin Puolustusvoimien ohjeen (*Puolustusvoimien tutkimus- ja kehittämistoiminta*) mukaista määritelmää innovaatiosta: ”Uusi tai olennaisesti parannettu tuote, prosessi, menetelmä tai toimintatapa.”

Tutkimus toteutettiin teemahaastattelemalla kahtatoista henkilöä, jotka työskentelivät tutkimusorganisaatioissa eri tasoilla tai olivat tehneet innovaatioita. Haastattelutulokset analysoitiin laadullisella sisällönanalyysillä ja niitä verrattiin teoriaosuuden tuloksiin. Suurin osa tutkimuksessa esiin nousseista muutostarpeista on sellaisia, joihin organisaatio voi vaikuttaa omilla toimillaan. Puolustusvoimien tutkimusorganisaatio voi halutessaan parantaa innovaatiotoimintaansa ja mahdollistaa innovaatioiden syntyminen, mutta siihen tarvitaan myös puolustusvoimallista tukea.



Tutkimuksen viitekehys. (Grafiikka: Inker-Anni Näkkäläjärvä ja Johanna Suominen)

Innovaation etenemisen mahdollistavat prosessit

Puolustusvoimilla ei ole omaa innovaatiotoiminnan prosessia. Haastattelujen perusteella innovaatiotoimintaa ei kyseisellä nimellä tunnusteta olevan Puolustusvoimissa. Tutkimuksessa määriteltiin innovaatiotoiminta Puolustusvoimissa seuraavasti: "Toimintaa, joka kattaa kaikki organisaation kehittämis-, resursointi- tai jalkauttamistoimet, jotka tähtäävät tai johtavat innovaatioihin." Innovaatioita tehdään pääosin neljän prosessin sisällä:

- T&K-toiminta
- aloitetoiminta
- Lessons Learned -prosessi (LL)
- keksintöilmoitus.

Aloitetoiminta ja keksintöilmoitus kattavat vain innovaation alkuvaiheen, joten kehittäminen ja jalkauttaminen jäävät jonkin muun prosessin vastuulle. LL-prosessi huomioi myös jalkauttamisen, mutta kyseessä on toiminnan kehittäminen innovaatiolla saavutettavan edistyksen sijaan. Tutkimusorganisaatiot keskittyvät T&K-toimintaan, ja se on tutkimuksen perusteella luonnollisin prosessi myös innovaation etenemiselle.

Tutkimusorganisaatiossa innovaation alkuidea liittyy usein johonkin tutkimustehtävään. Mikäli idea sopii tutkimustehtävän sisältöön ja esimies organisaation edustajana sekä tutkimuksen tilaaja hyväksyvät sen jalostamisen, voidaan siitä kehittää innovaatio. Tutkimustehtävää voidaan suunnata uudelleen tai esittää uutta tutkimustehtävää T&K-prosessin mukaiseen uuteen tutkimussuunnitelmaan. T&K-prosessi ei huomioi innovaation jalkauttamista eli käyttöönottoa. Haasteina nykymallin T&K-prosessissa ovat sen jäykkyys ja ylivuotisuus, ja innovaatiot vaatisivatkin ketteryyttä. In-

novaatioprosessi nähdään nykyään lineaarisen "vaihe-arviointi"-prosessin sijaan iteratiivisena, joustavana ja mukautuvana prosessina, jossa on silmukoita ja limittäisiä vaiheita. Tutkimukseen sisältyneet neljä Puolustusvoimien prosessia ovat sitä vastoin sarja vaiheita ja niiden loppuun sijoittuvia päätöksiä.

Innovaation etenemisen mahdollistajat ja esteet

Osa yrityksistä osaa hyödyntää innovointia. Aihetta on tutkittu laajasti ja innovaation mahdollistajia on määritelty eri tutkimuksissa ja eri tieteenaloilla monia erilaisia. Mahdollistajat ovat esimerkiksi seuraavat:

- avoin keskustelukulttuuri ja vuorovaikutus niin organisaation sisällä kuin yhteistyökumppaneiden kanssa
- riskien sietäminen
- organisatorinen kannustaminen
- työnjohdollinen kannustaminen.

Puolustusvoimien tutkimusorganisaatioissa markkinointitaidot, innovaation merkitys sekä sen toteutettavuus ovat suurimmat kokonaisuudet, jotka vaikuttavat innovaation hyväksyntään ja eteenpäin kehittämiseen.

Yleensä innovaation esteet jaotellaan ulkoisiin ja sisäisiin esteisiin. Sisäiset esteet liittyvät kiinteästi yrityksen johtamiseen ja organisaatioon. Puolustusvoimien tutkimusorganisaatioiden innovaation esteet voidaan jaotella muutamaa suurempaan teemaan:

- muilta saatu tuki
- päätöksenteon henkilöityminen
- prosessien ja organisaation jäykkyys
- huonot markkinointitaidot

- resurssitietoisuus
- haluttomuus ottaa riskejä.

Koska esteet voidaan luokitella sisäisiksi, voi organisaatio omilla toimillaan vaikuttaa niihin.

Innovaatiotoiminnan kannustimet

Yksilön sisäinen motivaatio ja asiantuntijuus vaikuttavat yksilön luovuuteen, jota tarvitaan innovaation syntyyn. Usein innovaation taustalla on ongelmanratkaisu, jolloin innovaatio perustuu tekemiseen, käyttöön ja vuorovaikutukseen. Innovaation kehittämisessä tarvitaan erilaisten ihmisten välistä vuorovaikutusta eli keskustelua ja idean haastamista.

Myös työnjohto voi kannustaa innovaatiotoimintaan. Se voi esimerkiksi

- asettaa tavoitteita
- tarjota tehtävätukea
- luoda oikeanlaisen innovaatioympäristön
- palkita saavutuksia
- jakaa huomiota.

Tutkimuksen perusteella innovaatioista tulisi palkita Puolustusvoimissa. Rahallinen palkitseminen olisi yhteismitallista suhteessa muuhun yhteiskuntaan. Toinen palkitsemistapa on julkinen huomionosoitus, sillä näin organisaatio viestii arvostavansa innovaatiotoimintaa ja kannustaa innovaatioihin. Innovaatiosta voitaisiin tiedottaa esimerkiksi Puolustusvoimien sisäisessä intranetissä.

Tutkimuksen perusteella Puolustusvoimien tutkimusorganisaatioissa paras kannustus innovaatiotoimintaan olisi oikeanlainen organisaatiokulttuuri. Kuitenkin, vaikka ulkoisen motivaation kannustimet olisivat kunnossa, innovaatioita ei synny, ellei yksilö luontaisesti kykene innovointiin eikä sitä halua.

Innovaatiotoiminnan ohjaaminen Puolustusvoimissa

Puolustusvoimille ei tutkimuksen perusteella suositella erillistä innovaatioprosessia, sillä innovaatiot etenevät nykyisissä prosesseissakin. Niiden joustavuutta tulisi kuitenkin parantaa innovaatioiden etenemisen vuoksi.

Mikäli haluttaisiin tukea innovaatioon liittyvää päätöksentekoa tai innovaation keksijää innovaation eteenpäin viemisessä, tulisi laatia puolustusvoimallinen innovaatiotoimintaa koskeva ohje. Sillä voitaisiin yhdenmukaistaa innovaatioihin liittyvää käsitteistöä, ja se voisi sisältää esimerkiksi ohjeellisen innovaation arviointikriteeristön, jonka perusteella voitaisiin tehdä päätöksiä innovaation eteenpäin viemisestä.

Yksittäinen ohje ei kuitenkaan tutkimuksen perusteella muuta toimintaa riittävästi. Eniten tutkimuksessa korostui organisaatiokulttuurin muuttaminen, jolloin voidaan parantaa asiantuntijoiden motivaatiota ja innovointimahdollisuuksia. Ilmapiiriin tulisi olla avoin, jotta ideoita uskalletaan tuoda esiin ja niistä päästään keskustelemaan. Kaikkien tulisi myös ymmärtää innovaatioiden merkitys.

Pienilläkin muutoksilla iso vaikutus

Innovaatiotoimintaan tulisi kiinnittää enemmän huomiota myös käytännön tasolla julkisen viestinnän lisäksi. Vaikka innovaatioista puhutaan, ei niiden arvostus näy Puolustusvoimien tai tutkimusorganisaatioiden käytännön toiminnassa.

Tutkimusorganisaatioiden sisällä ja niiden välillä tulisi tutkimuksen perusteella lisätä yhteistyötä. Yhteinen innovaatiotietokanta voisi olla keino jakaa ideoita ja synnyttää niiden ympärille ideaa jalostavaa keskustelua ja kehittämistä.

Tutkimusorganisaatioissa on omia innovaatiotoimintaan kannustavia toimintatapoja, joita voisi kehittää edelleen tai ottaa laajemmin organisaatiossa käyttöön. Näitä ovat muun muassa

- innovoinnin mahdollistaminen työajalla
- palkitsemiskäytännöt
- julkinen tunnustus sisäisessä julkaisussa
- avoimen ilmapiirin luominen
- henkilöstön koulutus.

Puolustusvoimissa ja sen tutkimusorganisaatioissa tulisi pyrkiä muuttamaan organisaatiokulttuuria siten, että se mahdollistaa innovaatioiden syntymisen. Epäonnistumisten sietäminen ja uskallus ottaa riskejä liittyvät innovaatiotoimintaan. Ajattelulle ja keskustelulle tulee olla aikaa.

Kirjoittaja:

Yleisesikuntamajuri Inker-Anni Näkkäläjärvi toimii osatoesiupseerina Ilmavoimien esikunnassa.

Operaatiotaidon kehittämisen perusta ja tulevaisuuden haasteet



Everstiluutnantti Raunio neuvottelee esikuntansa kanssa ennen operaation toimeenpanoa heinäkuussa 1941. (Kuva: SA-kuva)

Suomalaisen taktiikan ja etenkin operaatiotaidon tutkimus on tieteenalana melko nuori. Vaikka suomalaista sodankäyntiä ja sen kehittämistä käsitteleviä opinnäytteitä on tehty Sotakorkeakoulun perustamisesta lähtien, nykymuotoisen akateemisen tutkimuksen perusta on muodostunut vasta vuonna 1997. Tuolloin Maanpuolustuskorkeakoulun taktiikan laitos julkaisi ensimmäisen operaatiotaidon ja taktiikan tutkimusta ja tutkimusmenetelmiä käsittelevän oppaan.

Tässä artikkelissa paneudutaan suomalaisen operaatiotaidon ja taktiikan kehittymistä selittäviin syihin. Lisäksi tarkastellaan Suomen liittoutumisesta kumpuavia kehittämistarpeita ja tulevaisuuden haasteita, joiden ratkaisemiseksi tutkimustiedolla voisi olla oma – jopa merkittävä – osansa.

Suomalaisen sodankäynnin perustana yleiset taktiset periaatteet

Suomalaisen operaatiotaidon ja taktiikan perusta muotoutui 1920- ja 1930-luvuilla pitkälti vuonna 1924 perustetun Sotakorkeakoulun opettajiston voimin. Itsenäisyyden alkuvuosien keskeisin saavutus oli eittämättä se, että tuolloin kehitettiin nykyisinkin Kenttäohjesääntöihin ja muihin oppaisiin sisällytetyt yleiset taktiset periaatteet. Ne juurrutettiin suomalaiseen upseeristoon juuri ennen talvi- ja jatkosotaa.

Sotavuosina taisteluiden ja operaatioiden suunnittelussa ja toimeenpanossa hyödynnettiin maastoa ja olosuhteita, muodostettiin joukkojen ja tulenkäytön painopiste sekä pyrittiin yllätykseen. Näiden toisiinsa tiiviisti kytkeytyvien osatekijöiden avulla pyrittiin tasoittamaan voimasuhteita määrällisesti ylivoimaiseen viholliseen nähden.

Peitteisen ja rikkonaisen maaston sekä olosuhteiden hyödyntäminen edesauttoivat yllätyksen toteutumista. Maasto ja olosuhteet mahdollistivat puolestaan sen, että paikallisesti voitiin saavuttaa suhteellinen ylivoima.

Omissa käsissä olleilla yleisillä taktisilla periaatteilla tähdättiin omien toimintamahdollisuuksien parantamiseen. Tämän lisäksi operaatiotaitomme ja taktiikkamme kehittäminen perustui itsenäisyyden alkuajoista alkaen kulloinkin vallinneeseen sotilaalliseen uhkakuvaan ja uhka-arvioihin, joiden lähtökohtana oli poikkeuksetta taistelu ylivoimaista vihollista vastaan.

Koska määrällisesti ylivoimaisella vihollisella oli usein mahdollisuus päättää vapaammin, mihin se sotilaallisen voimansa kohdistaisi, tuli reservin muodostamisesta yksi suomalaisen taktiikan keskeisistä piirteistä. Reservin avulla varauduttiin odottamattomiin tilannekehityksiin, olipa kyse puolustuksen läpi tunkeutuneen vihollisen kuluttamisesta, maahanlaskun tai maihinnousun torjunnasta tai oman menestyksen hyödyntämisestä.

Sodissa toimiviksi osoittautuneiden yleisten taktisten periaatteiden avulla kehitettiin alueellista puolustusta niin kylmän sodan aikana kuin sitä seuranneina vuosikymmeninä. Kun talvi- ja jatkosodassa ratkaisu pyrittiin saamaan aikaiseksi taktisella tasolla, ymmärrettiin sotakokemuksia analysoitaessa operatiivisen syvyyden merkitys: taisteluita oli käytävä entistä laajemmalla alueella. Muutoin suomalaisen operaatiotaidon ja taktiikan perusta on säilynyt lähes muuttamattomana näihin päiviin saakka.

Arkijärjen käyttöä vai akateemista tiedettä?

Nykypäivän akateemisesta näkökulmasta tarkasteltuna operaatiotaidon ja taktiikan kehittäminen ei ollut maailmansotien välisenä aikana tai kylmän sodan vuosikymmeninä kovinkaan vankalla teoreettisella tai metodologisella pohjalla. Se perustui sodatavalla tai toisella kokeneiden miesten loogiseen ja analyttiseen ajatteluun sekä aikalaisten käymään debattiin, joiden myötä tietämys ja ymmärrys sodankäynnistä ja sen lainalaisuuksista kasvoi kumulatiivisesti.

Operaatiotaidon ja taktiikan johdonmukainen kehittäminen perustui yhtenäisesti ymmärrettyihin sodankäynnin periaatteisiin sekä aikalaisten sotatieteelliseen keskusteluun. Johdonmukaisuutta ja systemaattisuutta kuvaa se, että operaatiotaidon ja taktiikan kehittämistä johtavilla tai siihen osallistuvilla oli aikaa jäsentää ajatuksiaan ja tarvittaessa tehdä myös käytännön kokeiluja, toteutettiinpa ne sitten kartan äärellä, todellisissa maasto-olosuhteissa tai jonkinlaisena simulaationa.

Esimerkiksi Kadetti- ja Sotakorkeakoulun taktiikan opettajana 1920- ja 1930-luvuilla toimineen Valo Nihtilän ope-

ratiivisen ajattelun kehittyminen ja kokonaiskuvan muodostuminen puna-armeijan toimintaperiaatteista kestivät kaksikymmentä vuotta. Todennäköisesti informaatiotulvan virrassa kamppaileva nykyihminen ei ole juurikaan Nihtilää kyvykkäämpi, sillä nyt on otettava huomioon sodankäynnin kolmen perinteisen ulottuvuuden lisäksi esimerkiksi informaatio- ja kyberulottuvuuden sekä sähkömagneettisen spektrin vaikutukset taisteluiden ja operaatioiden kulkuun.

Siksi luovalle ja ihmisten vuorovaikutukseen perustuvalla analyttisellä ajattelulla on yhä selkeä tilauksensa – etenkin, kun emme välttämättä enää liittoutumisen myötä suunnittele ja johda operaatioita tai taisteluita meille tutuissa olosuhteissa.

Painopiste taktiikan kehittämisessä

Suomalaisessa sodankäynnissä on korostunut 1920-luvulta lähtien käytännön tilanteista kumpuavien ongelmien ratkaiseminen. Siksi kansallisessa sotataidossamme on painottunut taktisen tason toiminta, jolloin teoriasidonnaiselle sotataidolliselle pohdiskelulle ei ole ollut laajempaa tarvetta.

Sotateoreettiset tarkastelut ovat jääneet aiempina vuosikymmeninä toissijaiseen asemaan myös siksi, että sodanajan joukot ovat muodostuneet pääosin asevelvollisista. Siksi aktiivipalveluksessa olevaa henkilöstöä ja reserviläisiä yhdistäneiden yhteisen ymmärryksen oli perustuttava konkretiaan, ei syvällistä ymmärrystä edellyttäviin teorioihin.

Sotateoreettinen ajattelu on myös aina ollut sidoksissa sodankäynnin operatiiviseen ja strategiseen tasoon, joiden määrittely on ollut taktista tasoa epämääräisempää. Käsitteet ”operatiivinen” ja ”operaatiotaito” ilmestyivät kansalliseen ajatteluun toisen maailmansodan jälkeen, mutta lopullisesti ne vakiinnuttivat paikkansa vasta 1980-luvulla.

Myös nyky-ymmärryksen mukainen strategia ja sen toteutuksen määrittäminen on ollut Suomessa osa poliittista päätöksentekoa ja siten sotilaiden ulottumattomissa. Siksi myöskään strategiset valinnat tai painotukset eivät ole aiemmin edellyttäneet kansallisen sotateoreettisen ajattelun kehittämistä tai sotatieteellistä keskustelua. Taktiikka valikoituikin varsin luontevasti sodankäynnin kehittämisen painopisteeksi vuosikymmenten ajaksi, joten sodankäynnin teoreettisen tarkastelun perusta on Suomessa yhä melko nuori.

Elämme muutosten vuosikymmentä

Suomalainen sotataito on tällä hetkellä samankaltaisessa tilanteessa kuin noin sata vuotta sitten, kun Sotakorkeakoulussa kehitettiin kansalliselle sodankäynnille tyypillisiä yleisiä taktisia periaatteita. Tuolloinkin suomalaista

taktiikkaa kehitettiin ulkomaisten vaikutteiden perusteella. Kaikkea ei kuitenkaan omaksuttu sellaisenaan, vaan käytökelpoisiksi koettuja ratkaisuja muokattiin vallinneeseen uhkaan ja suomalaisiin olosuhteisiin soveltuviksi.

On todennäköistä, että edellä kuvatut ja kansallisessa sotataidossa vuosikymmeniä vallinneet käytännöt muuttuvat lähivuosina ainakin jollain tavoin Suomen Nato-jäsenyyden myötä. Suurimmat muutospaineet kohdistunevat juuri operatiiviseen tasoon ja kansalliseen operaatiotaitoomme. Joudumme ymmärtämään aiemman praktisen lähestymistavan lisäksi lähinnä angloamerikkalaiseen käsite- ja teoriamaailmaan pohjautuvan suuren liittokunnan sodankäynnin periaatteita sekä muokkaamaan kaksi lähtökohdiltaan poikkeavaa ajattelutapaa yhdeksi kokonaisuudeksi.

Kansallisen sotataidon kehittämisen painopisteen pitäisikin siirtyä operaatiotaitoon ja operatiiviselle tasolle, koska esimerkiksi aiemmin kansallisen sotataidon kehittämisen lähtökohtana olleen alivoimaisuuden rinnalle nousee väistämättä niin laadullisesti kuin määrällisesti ylivoimaisen toimijan elementtejä tai suorituskykyjä, joita on osattava hyödyntää maksimaalisesti. Tämä kasvattaa myös omia toimintamahdollisuuksiamme aiempaan, puhtaasti kansalliseen puolustusratkaisuun ja sen rajallisiin resursseihin verrattuna.

Suomessa onkin liittoutumisen myötä kartutettava ymmärrystä sellaisilta sodankäynnin alueilta, joilla on tähän saakka ollut vain harvoja osajia. Entistä useamman upseerin on vastaisuudessa ymmärrettävä, kuinka vaikkapa informaatio-operaatiot liitetään osaksi tavanomaista sodankäyntiä tai kuinka ydinaseiden käyttö on otettava huomioon operaatioita suunniteltaessa ja toteutettaessa. Ei siksi, että meistä tulisi ydinaseiden käyttäjiä, vaan siksi, että ymmärrämme liittolaistemme toimintaa myös pahimmassa mahdollisessa tilanteessa.

Onko operaatiotaidon kansalliselle kehittämiselle tarvetta?

Suomalaisella sotataidolla on edellä kuvatuista muutostarpeista huolimatta oma tärkeä merkityksensä myös tulevaisuudessa. Vuosikymmenten aikana toimiviksi todettuja keinoja hyökkääjän ja puolustajan välisten voimasuhteiden tasoittamiseksi ei pitäisi hylätä vain siksi, että liittolaisemme eivät niitä välttämättä sellaisenaan tunnista.

Meidän on Nato-jäsenyydestämme huolimatta kyettävä aloittamaan puolustustaistelut kansallisin joukoin, ja tällaisessa tilanteessa – jos siihen jostain syystä ajaudutaan – olemme todennäköisesti alivoimaisia ainakin alueellisesti tai paikallisesti. Voimme myös olettaa, että sodanajan kokoonpanoon jää muutoinkin valtaosin reserviläisistä muodostettavia joukkoja, joita käytetään vain ja ainoastaan Suomen

alueen puolustamiseen. Niiden on kyettävä hyödyntämään tiedossamme olevia taidollisia vahvuuksia ja niille aiemmin koulutettuja oppeja.

Siksi onkin tärkeää tunnistaa kansallisen operaatiotaitomme ja taktiikkamme säilyttämisen arvoiset osat ja omaksua tarvittavat liittokunnan sodankäyntiä ohjaavat elementit. Ylemmän johtoportaan suunnitelmat ja käskyt on muunnettava sellaisiksi, että komentajan tahto välittyy mahdollisesta abstraktista terminologiasta huolimatta muuttumattomana monikansallisen esikunnan päätöksentekoprosessista aina paikallispataljoonan rivitaistelijalle saakka. Se on olennainen osa operaatiotaitoa, jossa on ymmärrettävä niin kansallinen kuin liittolaisten ajattelutapa.

Operaatiotaitoa on kehitettävä systemaattisesti myös siksi, että samanaikaisesti, kun yhtenäistämme operatiivista ajattelua liittolaistemme kanssa, meidän olisi hahmotettava Ukrainan sodasta saatavat opit. Lisäksi alati kiihtyvä teknologiakehitys vaikuttaa omaan sodankäyntitapaamme.

Kuka operaatiotaidon kehittämisestä vastaa?

Operaatiotaidon kehittämiseen vaikuttavia tekijöitä on tällä hetkellä useita, eikä niiden hallitseminen ole mahdollista ilman selkeitä vastuita. Siksi olisikin määritettävä selkeästi, kuka vastaa suomalaisen operaatiotaidon kehittämisestä. Ainakaan sotilaselämän kaikille aloille ulottuva normistomme ei sitä tällä hetkellä kerro yksiselitteisesti.

Vastuukysymyksen ratkaisemisen myötä suomalaista operaatiotaitoa voitaisiin kehittää samalla tavoin kuten vuosisata sitten: voimme tunnistaa kehittämistarpeet ja omaksua meille soveltuvat liittolaistemme sodankäynnin periaatteet hallitusti tutkimustietoon nojaten. Tutkimustulosten perusteella päätöksentekijöille voitaisiin myös laatia vaihtoehtoja, kuinka vaikkapa kaikille Nato-maille yhteisiä sodankäynnin periaatteita voitaisiin soveltaa Suomessa ja Fennoskandian olosuhteissa.

Tällöin suomalaista operaatiotaitoa kehitettäisiin kokonaisuutena ja samalla se ohjaisi myös pääosin puolustushaarojen vastuulla olevaa taktiikan kehittämistä. Tämä olisi jo itsessään tärkeää, koska sodankäynti ei ole tulevaisuudessa ainakaan yksinkertaisempaa kuin nykypäivän moniulotteisessa taistelutilassa. Yhteiselle ymmärrykselle on edelleen tarvetta.

Mikäli operaatiotaitoa ei kehitetä kokonaisuutena, on vaarana, että jokainen puolustushaara tai toimiala omaksuu Naton sodankäyntiä ja taisteluita ohjaavat periaatteet parhaaksi arvioimallaan tavalla ja suomalaisen sotataidon relevantit osatekijät unohdetaan, koska ne vaikuttavat vanhentuneil-



Kartta on yhä tänä päivänä tärkeä osa operaatioiden ja taisteluiden suunnittelua sekä johtamista. (Kuva: Mari Ukkonen/Puolustusvoimat)

ta. Muutos voi tapahtua yllättävän nopeasti, koska se on sotilasorganisaatiossa mahdollista.

Jotta edellä kuvattu huolestuttava skenaario voidaan välttää, on operaatiotaitoa ja taktiikkaa kehitettävä suunnitelmallisesti ja määrätietoisesti. Vain siten varmistamme laadullisen ylivoimamme säilymisen myös tulevaisuudessa. On kuitenkin tiedostettava, ettei liittoutuneen Suomen kansallis-

ta operaatiotaitoa ja taktiikkaa määritellä nykypäivänäkään hetkessä – ei edes muutamassa vuodessa.

Nyt on se hetki, jolloin tulevaisuuden muutoksille ja ennen kaikkea muutosten hallinnalle olisi luotava niiden edellyttämä tietopohja. 2040-luvulla ehkä jo tiedämme, millaiseksi liittoutuneen Suomen operaatiotaito ja taktiikka ovat lopulta muotoutuneet.

Kirjoittaja:

Komentaja Juuso Säämänen palvelee suomalaisen sotataidon sotilasprofessorina Maanpuolustuskorkeakoulun Sotataidon laitoksessa.

Naton ja Venäjän tulevaisuudentutkimus osana strategista suunnittelua



Tulevaisuudentutkimus on keskeinen osa strategista suunnittelua sekä Natossa että Venäjällä. Molemmissa hyödynnetään ennakkointia ja skenaariotyöskentelyä, ja pyrkimyksenä on ymmärtää tulevaisuuden haasteita ja mahdollisuuksia. Tällä tuetaan päätöksentekoa ja strategioiden kehittämistä. Tämä artikkeli tarkastelee näiden kahden toimijan lähestymistapoja tulevaisuudentutkimukseen ja niiden merkitystä muuttuvassa globaalissa ympäristössä.

Naton strateginen suunnittelu ja tulevaisuuden ennakkointi

Naton tulevaisuudentutkimuksen ytimessä on strateginen ennakkointi, joka perustuu jatkuvaan toimintaympäristön tutkimukseen, analyysiin ja tiedusteluun. Prosessi ei ole uusi, mutta nykyään sen merkitys korostuu Naton yhteisenä ja integroidumpana toimintona jäsenmaiden kesken. Näin pystytään muodostamaan kollektiivinen käsitys tulevaisuuden eri kehityskuluista.

Natossa käytetään strategioiden suunnitteluun ja niiden päivittämiseen strategista ennakkointia (Strategic Foresight Ana-

lysis) ja tulevaisuuden toimintaympäristön (Future Operating Environment) tarkastelua. Vuodesta 2024 alkaen nämä analyysit päivitetään vuorovuosin osana Naton suunnitteluprosessia (Nato Defence Planning Process, NDPP), jotta proaktiivinen toiminta voidaan suunnata puolustukseen.

Naton keskeisimmät tavoitteet tulevaisuuden ennakkoinnissa

Nato on asettanut useita keskeisiä tavoitteita ja suuntaviivoja vahvistaakseen tulevaisuuden ennakkointia ja tukeakseen strategista suunnittelua. Nämä tavoitteet ja suuntaviivat heijastavat tarvetta sopeutua nopeasti muuttuviin sotilaallisiin, teknologisiin ja geopolitiittisiin muutoksiin. Seuraavassa on esitelty keskeisimpiä seikkoja:

1. Pelotteen rakentaminen ja teknologian hallinta

Pelotteen rakentaminen on keskeinen osa Naton strategiaa. Nato pyrkii ylläpitämään ja vahvistamaan pelotetta estääkseen vastustajiensa, kuten Venäjän ja erilaisten terroristijär-

jestöjen, aggressiivisia toimia. Tämä edellyttää jatkuvaa valmiuden ja suorituskyvyn parantamista sekä perinteisten että uusien sotilaallisten kykyjen kehittämistä.

Teknologian hallinta ja jatkuva kehitys ovat myös keskeisiä tekijöitä Naton tulevaisuuden ennakkoinnissa. Nato investoi uusien teknologioiden tutkimukseen ja kehitykseen, jotta se voi ylläpitää kilpailukykyään.

2. Sodankäynnin muutos ja monitoimintaympäristöoperaatio (multi-domain operation)

Sodankäynnin luonne muuttuu nopeasti, ja Nato tunnistaa tekoälyn ja avaruusteknologioiden kasvavan merkityksen. Tekoäly voi parantaa tiedustelua, päätöksentekoa ja operatiivista tehokkuutta. Avaruus on puolestaan suhteellisen uusi toimintaympäristö, jossa kilpailu lisääntyy. Ennakointi ja tiedustelu sisältävät monia samoja elementtejä, ja tulevaisuudentutkija Joseph Voros korostaakin tulevaisuuden tiedustelua tekoälyn ja avaruusteknologioiden vahvistavana yhdistelmänä (Future Intelligence, FINT tai FUTINT).

Nykyajan konflikteja käydään eri toimintaympäristöissä: maalla, merellä, ilmassa, avaruudessa ja kyberympäristössä. Monitoimintaympäristöoperaatio (MDO) eli yhteisoperaatioihin perustuva ja toimintaympäristöjen välinen lähestymistapa on Naton strategiassa olennainen osa, ja sen avulla voidaan saavuttaa paras yhteisvaikutus ja operatiivinen tehokkuus.

3. Akateeminen yhteistyö ja tiedonjakaminen

Natossa pyritään edistämään tiivistä yhteistyötä akateemisten instituutioiden, siviiliyhteisöjen ja eri asevoimien välillä. Yh-

teistyö auttaa jakamaan tietoa, kehittämään uusia teknologioita ja menetelmiä sekä vahvistamaan yhteistä ymmärrystä turvallisuushaasteista ja niiden ratkaisuista. Ennakointi edellyttää myös tehokasta tiedon jakamista. Nato panostaa tiedon nopeampaan ja laajempaan jakamiseen jäsenmaiden kesken, jotta yhteinen tilannekuva saavutetaan nopeasti ja uhkien voidaan reagoida.

4. Tehokas ja ketterä toiminta muuttuvassa ympäristössä

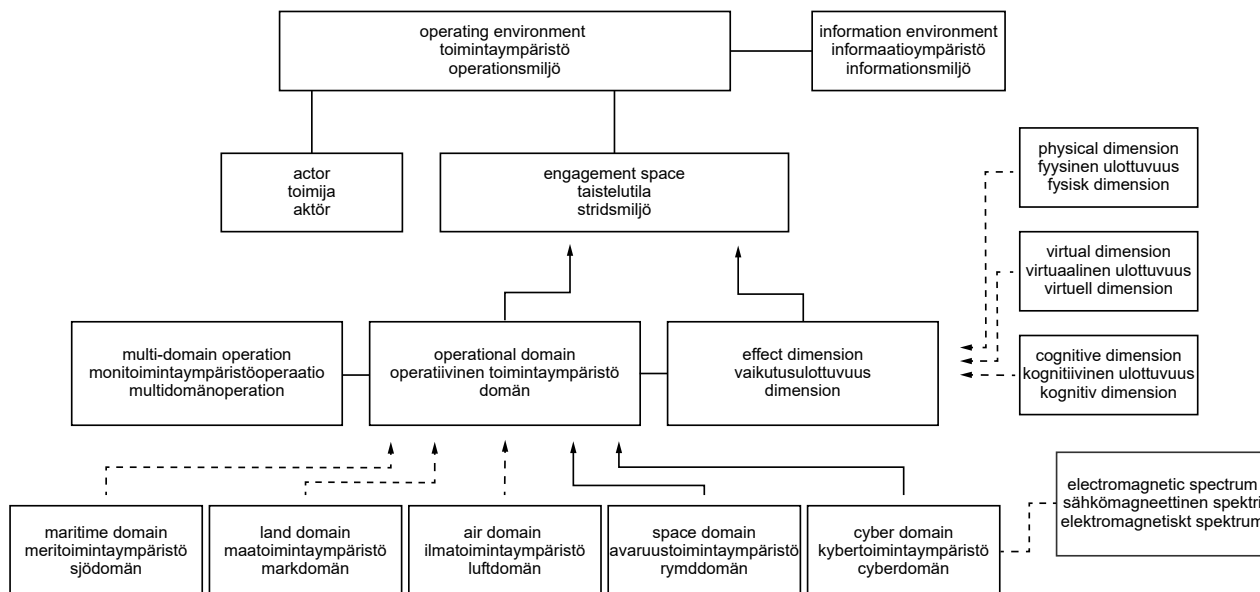
Nato pyrkii toimimaan tehokkaasti ja ketterästi nopeasti muuttuvissa toimintaympäristöissä. Tämä edellyttää joustavuutta, nopeaa päätöksentekoa ja kykyä sopeutua vastustajan suorituskykyihin ja strategiaan. Keskeisiä tavoitteita ovat yhteisten käytäntöjen luominen ja oman toiminnan suojaaminen. Nato korostaa kollaboratiivisuuden parantamista ja yleisesti tiedon jakamista nopeammin ja tehokkaammin, jotta jäsenvaltiot voivat toimia yhteisesti ja samanaikaisesti.

5. Skenaariotyöskentely ja sotapelaaminen

Nato aikoo lisätä sotapelaamista ja erilaisia kokeiluja kehittääkseen ennakkointia. Tämä auttaa testaamaan ja kehittämään uusia strategioita ja taktiikoita sekä oppimaan kokemuksista, joita voidaan soveltaa laajemmassa mittakaavassa ja nopeammin. Ennakointiin liittyvän aikajanan määrittely on haasteellista, ja se voi vaihdella eri tarkoitusten välillä. Nato pyrkii kehittämään joustavia ennakkointimalleja, jotka mukautuvat erilaisiin aikahorisontteihin ja strategiaan tarpeisiin.

6. Virtuaalisen ja kognitiivisen maailman synkronointi

Virtuaalisen ja kognitiivisen maailman synkronointi on tärkeää modernissa sodankäynnissä. Nato pyrkii hyödyntämään



Nato-sanaston (2024) mukainen kuvaus toimintaympäristöstä. (Grafiikka: Valtioneuvoston kanslian Nato-sanastosta muokannut Johanna Suominen)



Tekoälyn näkemys Naton tulevaisuudentutkimuksen toimintaympäristöstä. (Kuva: Sari Voinoff, ChatGPT)

näitä uusia ympäristöjä parantaakseen päätöksentekoa, tilan-tietoisuutta ja operatiivista suorituskykyä. Uusi lähestymis-tapa mahdollistaa paremman valmistautumisen tulevaisuuden haasteisiin ja varmistaa, että Nato on ennakoiva ja sopeutu-miskykyinen toimija globaalissa turvallisuusympäristössä.

Naton skenaariotyöskentely

Naton skenaariotyöskentely on monipuolinen ja jatkuvasti kehittyvä prosessi, jonka tavoitteena on varautua tulevaisuu-den haasteisiin ja mahdollisuuksiin. Skenaarioiden rakenta-minen on tulevaisuuden ennakkoinnin keskeinen menetelmä, jolla Nato pyrkii hahmottamaan tulevaisuuden konfliktit-lanteita ja määrittämään tarvittavia suorituskykyjä.

Skenaariotyöskentelyssä luodaan erilaisia tulevaisuuden kehityspolkuja, jotka auttavat ymmärtämään mahdolli-sia uhkia ja mahdollisuuksia. Nato pyrkii välttämään liian konventionaalisia skenaarioita, jotta haastaviin tilanteisiin löydetään ratkaisut. Näin voidaan kehittää innovatiivisia ja ennakoivia strategioita, joilla pystytään vastaamaan muuttu-van toimintaympäristön vaatimuksiin.

Uutena lähestymistapana Natossa on nostettu esille uhka-lähtöinen tulevaisuuden ennakointi eli threatcasting-mene-telmä. Menetelmä pyrkii estämään ei-toivottujen tulevai-suuksien toteutumisen. Se perustuu skenaarioiden avulla luotuihin syötteisiin, jotka täydentyvät iteratiivisessa pros-esissa uusilla tuloksilla. Threatcasting kuvaa mahdollisia tule-vaisuuden uhkakuvia sekä kartoittaa ne toimenpiteet ja stra-tegijat, joilla uhat voidaan torjua. Menetelmän tavoitteena on ennakoida ja estää haitalliset kehityskulut ennen niiden

toteutumista, mikä tekee siitä tehokkaan työkalun Naton strategisessa suunnittelussa.

Yhteenveto Naton osalta

Naton tulevaisuuden ennakkoinnin strategiat korostavat mo-nialaisen, teknologiapainotteisen ja kollaboratiivisen lähes-tymistavan merkitystä. Tavoitteena on varmistaa, että Nato voi sopeutua ja vastata nopeasti muuttuviin olosuhteisiin, hyödyntää uusimpia teknologioita ja toimia tehokkaasti kai-killä sotilaallisilla toiminta-alueilla.

Naton skenaariotyöskentelyssä pyritään yhdistämään sekä perinteisiä skenaarioanalyyskejä että innovatiivisia mene-telmiä. Monimuotoiset yhdistelmät mahdollistavat laajan ja syvällisen tulevaisuuden tarkastelun, joka auttaa kehit-tämään joustavia ja tehokkaita strategioita. Näin Nato voi valmistautua paremmin tuleviin haasteisiin ja varmistaa, että liittokunta pysyy ennakoivana ja sopeutumiskykyisenä glo-baalissa turvallisuusympäristössä.

Venäjän strateginen suunnittelu ja tulevaisuu-den ennakointi

Venäjän strateginen ja sotilasstrateginen suunnittelu perus-tuu vahvasti tulevaisuuden ennakointiin ja skenaariotyös-kentelyyn. Tämä monitahoinen ja tarkasti jäsennelty pro-sessi auttaa Venäjää valmistautumaan erilaisiin mahdollisiin tulevaisuuden muutoksiin sekä varmistaa, että valtio kyke-nee vastaamaan uusiin haasteisiin ja hyödyntämään toimin-taympäristön uusia mahdollisuuksia. Lisäksi Venäjän strate-giaan sisältyy proaktiivisen lähtökohdan näkökulmasta myös pyrkimys ohjailla kehityskulkuja sen haluamaan suuntaan.

Venäjä käyttää tulevaisuuden ennakointia varmistaakseen seuraavat asiat:

- geopolitiikkansa jatkuvuuden
- strategisen syvyytensä (vaikuttamisen)
- ydinaseiden roolin pelotteena ja puolustuskeinona
- teknologisen kehityksen
- asymmetrisen sodankäynnin ja hybridisodan valmiutensa.

Strateginen kulttuuri ja tulevaisuudentutkimus

Venäjän strateginen kulttuuri ja tulevaisuudentutkimus pohjautuvat pitkälti maan historiallisiin ja kulttuuriin pe-rinteisiin sekä nykyisiin geopolitiittisiin tavoitteisiin. Venäjän asevoimien yleisesikunnan päähallinnon mukaan sotilaspoliittinen tilanne muodostuu erilaisten tekijöiden ja olosuh-teiden kokonaisuudesta, jossa valtion poliittinen johto ja sotilasorganisaatio toimivat yhdessä.

Globaali sotilaspoliittinen tilanne sisältää geopolittiset, taloudelliset, sosiaaliset, sotilasstrategiset ja maantieteelliset tekijät. Siihen kuuluvat myös moraaliset ja psykologiset sekä informaatio- ja muut tekijät. Näitä kaikkia Venäjä pyrkii ennakoimaan jatkuvalla seurannalla ja päivittämällä rakentamiaan skenaarioita. Osittain nämä tekijät ovat myös suoraan tiedustelun kohteita.

Venäjän asevoimien suorituskyvyn rakentaminen, suunnittelu ja toimintakyky perustuvat siihen, että sotilaallista turvallisuutta vaarantavien todennäköisten tekijöiden kehittymistä voidaan ennakoida lyhyellä, keskipitkällä ja pitkällä aikavälillä. Threatcasting-menetelmä on Venäjän strategisessa ja sotilasstrategisessa suunnittelussa keskeinen työkalu.

Ennakkoinnin periaatteet Venäjällä

Rauhan aikana Venäjän ennakkoinnin keskeisinä päämäärinä ovat sotilaallisten vaarojen ja uhkien arviointi. Sen sijaan sodan ja sotilaallisen konfliktin aikana keskiössä ovat olosuhteiden muutokset ja niiden vaikutukset sekä vihollisen voittamiseen johtavien tekijöiden arviointi. Tärkeitä muutostekijöitä Venäjän sotilaspoliittisen tilanteen ennakkoinnissa ovat:

- geostrategian dynamiikan muutos ja ristiriidat
- vastakkainasettelun vahvistuminen
- alueellisten jännitteiden kasvu
- Yhdysvaltojen vaikutuksen heikentyminen globaalissa toimintaympäristössä.

Venäjä laatii tulevaisuuden skenaarioita ottamalla huomioon sekä globaalin toimintaympäristön mahdolliset kehityskulut että alueellisesti rajatut skenaariot. Venäjän tulevaisuudentutkimuksen periaatteita ovat:

- taloudellisten ja poliittisten tekijöiden arviointi suhteessa sotilaalliseen suorituskykyyn
- sosiopoliittisen tilanteen huomioon ottaminen
- merkittävien muutosaskeleiden määrittäminen
- laaja-alainen toimintaympäristön kehityksen seuranta
- skenaarioiden toteutumisen konkreettinen seuranta toiminnan jatkamiseksi tai uudelleen suuntaamiseksi
- muutostekijöiden kokonaisvaltainen arviointi.

Asevoimien ennakointi eri aikaväleillä

Venäjän asevoimien suorituskyvyn rakentamisen, suunnittelun ja toimintakyvyn perustana on sotilaallista turvallisuutta vaarantavien tekijöiden ennakointi eri aikaväleillä:

- Lyhyellä aikavälillä painopiste on operatiivisessa harjoittelussa ja taistelukoulutuksessa.



Tekoälyn näkemys Venäjän tulevaisuudentutkimuksen toimintaympäristöstä. (Kuva: Sari Voinoff, ChatGPT)

- Keskipitkällä aikavälillä keskitytään uusimpaan aseistukseen, sotilas- ja erityiskalustoon ja joukkojen rakenteen ja johtamisjärjestelmän uudistamiseen.
- Pitkällä aikavälillä keskiössä on mukautuminen tulevaisuuden sodankäynnin muotoihin ja joukkojen käyttöön.

Yhteenveto Venäjän osalta

Venäjän strateginen suunnittelu perustuu vahvasti tulevaisuuden ennakointiin ja skenaarioihin, jotka pohjautuvat tieteellisiin menetelmiin ja iteratiiviseen prosessiin. Näiden menetelmien tarkka ja johdonmukainen käyttö auttaa Venäjää navigoimaan monimutkaisessa globaalissa toimintaympäristössä sekä varmistamaan sen turvallisuutta ja strategista etulyöntiasemaa.

Johtopäätökset

Naton ja Venäjän tulevaisuudentutkimuksen tarkastelu osoittaa, että ennakointi ja strateginen analyysi ovat olennaisia työkaluja molempien toimijoiden turvallisuuspolitiikassa. Vaikka niiden lähestymistavat ja tavoitteet eroavat toisistaan, molemmat pyrkivät varmistamaan, että ne ovat valmiita kohtaamaan tulevaisuuden haasteet tehokkaasti ja ennakoivasti.

Tulevaisuudentutkimuksen jatkuva kehittäminen ja integrointi osaksi strategista päätöksentekoa on välttämätöntä molemmille toimijoille.

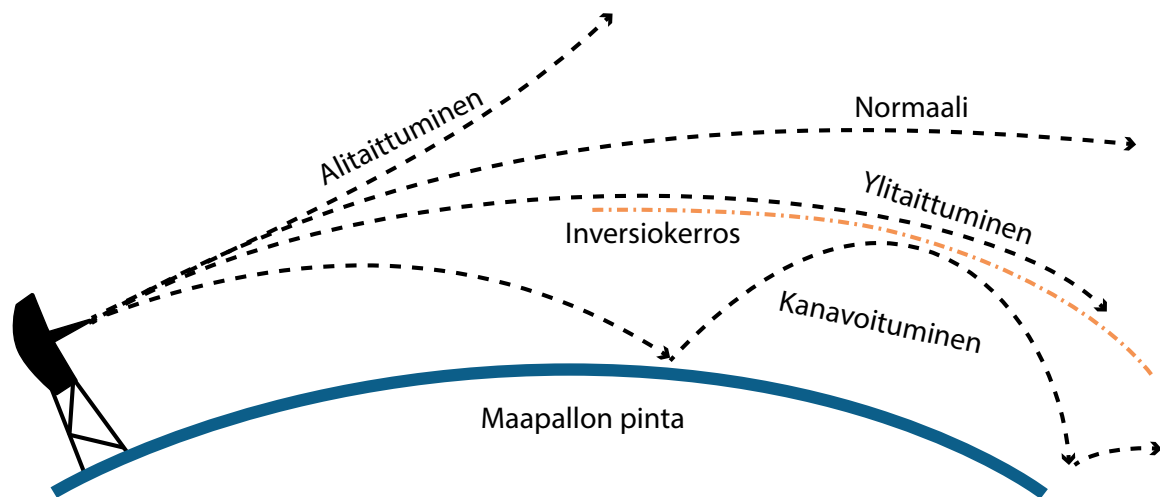
Kirjoittaja:

Filosofian maisteri Sari Voinoff toimii erikoistutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen doktriiniosastossa strateginen toimintaympäristö -tutkimusallalla.



Taistelutilan informaation hallinta ja johtaminen

Kanavoituminen tulee ottaa vakavasti



Sähkömagneettisten aaltojen eteneminen troposfäärissä. (Grafiikka: Risto Korhonen ja Johanna Suominen)

Ilmakehän olosuhteet vaikuttavat merkittävästi radioaaltojen etenemiseen. Tietyissä olosuhteissa radioaallot voivat taipua niin voimakkaasti, että syntyy ilmiö nimeltä kanavoituminen. Se vaikuttaa siihen, millaisia radioyhteyksiä voidaan saada tai mitä tutka näkee. Ohjusristeilijä Moskvan upottaminen Mustallamerellä vuonna 2022 on esimerkki siitä, kuinka kanavointia hyödynnettiin menestyksellisesti.

Ohjusristeilijä Moskvan upottaminen

Huhtikuun 13. päivänä 2022 noin kello 16 paikallista aikaa Mustamerta valvova Ukrainan Mineral-U-tutka havaitsi maalin 135 km:n päässä. Kyseessä oli Venäjän ohjusristeilijä Moskva, joka normaaliolosuhteissa olisi ollut selvästi tutkan kantaman ulkopuolella. Ukrainalaiset ymmärsivät, mistä on kyse, ja hyödynsivät tilaisuuden. Heidän laukaisemansa kaksi R-360 Neptune -ohjusta osuivat ohjusristeilijään.

Tuolloin Mustanmeren yllä vaikutti matalapainejärjestelmä, joka toi pohjoistuulia Ukrainan rannikolle. Kuivaa ja lämmintä ilmaa virtasi mantereelta kostean merellisen ilmakerroksen yläpuolelle. Syntyi inversiokerros, joka esti ilmakerrosten sekoittumisen. Ilmakerrosten rajapinnassa radioaallot taipuivat tavallista voimakkaammin. Syntyi kanava, jossa radioaalto kimpoili merenpinnan ja ilmakerrosten välillä. Näissä olosuhteissa tutka pystyi näkemään kauas horisontin taakse. Ilmiö kesti vain muutaman tunnin, mutta se oli ratkaiseva Ukrainan operaation onnistumisen kannalta.

Sää ja radioaaltojen eteneminen ilmakehässä

Kanavoituminen on mielenkiintoinen ilmiö, sillä se mahdollistaa radioyhteydet ja tutkavalvonnan ulottumisen kauas horisontin taakse. Kanavoituminen tapahtuu ilmakehän alimmassa osassa, troposfäärissä. Kanavoituminen on sekä paikallisesti että ajallisesti rajallinen ilmiö, ja sitä on vaikea ennustaa täsmällisesti.

Kanavoitumisella on selvä yhteys tiettyihin sääilmiöihin. Vakaat ja tasaiset tuuliolosuhteet edistävät inversiokerroksen syntymistä ja säilymistä, mikä mahdollistaa kanavan muodostumisen. Voimakas tuuli puolestaan voi hajottaa tällaiset kerrokset ja estää kanavoitumisen. Kanavoituminen tapahtuu yleensä korkeapaineen aikana, jolloin lämpötilainversiot ja ilman kosteus luovat suotuisat olosuhteet radioaaltojen poikkeavalle etenemiselle. Ilmiö on yleisempi rannikkoalueilla ja tasangoilla, erityisesti auringonnousun ja -laskun aikaan. Suomessa se on tavallisempi eteläisillä alueilla, mutta sitä ei esiinny säännöllisesti.

Sähkömagneettisten aaltojen etenemiseen troposfäärissä vaikuttaa ilman taitekerroin, joka riippuu lämpötilan ja vesihöyryn jakautumisesta korkeuden mukaan. Erilaiset ilmakehän kerrostumat aiheuttavat laajan kirjon erilaisia etenemisolosuhteita kanavoitumisen lisäksi. Käytetään tutkaa esimerkkinä.

Normaalisti troposfäärin lämpötila laskee korkeuden mukaan. Tämä taivuttaa tutkan keilaa hieman, ja tutka näkee

pintamaaleja tutkahorisonttiin asti, joka on hieman kauempana kuin optinen horisontti.

Jos troposfääri on epävaka ja se jäähtyy ylöspäin epätavallisen nopeasti, syntyy tilanne, jossa tutkan keila taittuu ylöspäin. Ilmiötä kutsutaan alitaittumiseksi. Tätä voi tapahtua esimerkiksi kuumina päivinä, kun aurinko lämmittää maanpintaa voimakkaasti. Tällöin alhaisilla korkeuskulmilla olevat maalit näkyvät heikommin tai katoavat kokonaan. Pintamaaleihin tutkan kantama lyhenee.

Selkeinä heikkotuulisina öinä maanpinnan lähellä oleva ilma voi jäähtyä nopeasti. Tämä johtaa tilanteeseen, jossa maan lähellä on viileää ilmaa ja sen yläpuolella lämmintä ilmaa. Syntyy inversiokerros, joka estää alimman ilmakerroksen nousemisen ylöspäin. Tämän voi esimerkiksi nähdä, kun savupiipusta nouseva savu pysähtyy inversiokerrokseen tai keväällä lumen päällä leijuu sitkeä sumupilvikerros. Lämpöinversioon voi liittyä myös vesihöyrypitoisuuden pieneminen epätavallisen nopeasti korkeuden kasvaessa. Tämä muuttaa taitekerrointa siten, että tutkan keila taittuu tavallista enemmän alaspäin. Ilmiötä kutsutaan ylitaittumiseksi. Ylitaittuminen kasvattaa tutkan kantamaa, mutta heikentää korkeilla korkeuskulmilla olevien maalien havaitsemista.

Joissain tapauksissa inversiokerroksen ja maanpinnan tai kahden eri korkeudella olevan inversiokerroksen väliin muodostuu kanava. Kanavan syntyä edesauttaa vesihöyryn pitoisuuden voimakas väheneminen inversiokerroksessa. Tämä voimistaa radiotaajuuksien aaltojen taittumista niin paljon, että ne jäävät ”loukkuun” kyseiseen kanavaan. Kanavassa tutkan pulssit voivat kulkea pitkiä matkoja ilman merkittävää vaimenemista. Ilmiötä kutsutaan kanavoitumiseksi. Kanavoituminen heikentää kanavan ulkopuolella olevien maalien näkymistä.

Erilaisia kanavia

Haihtumiskanavat muodostuvat tyypillisesti muutaman metrin korkeudelle merenpinnan yläpuolelle alueella, jossa vesihöyryn osapaine on korkea haihtumisen vuoksi. Haihtumiskanavan korkeus vaihtelee lämpötilan mukaan: kylmemmillä alueilla se on muutamia metrejä, kun taas lämpimillä merialueilla se voi olla huomattavasti korkeampi. Haihtumiskanavoinnin seurauksena matalalla sijaitseva tutka pystyy havaitsemaan kohteita huomattavasti kauempaa kuin vastaava tutka, joka sijaitsee korkeammalla, esimerkiksi maston huipussa.

Kohonnut kanavoituminen syntyy, kun ilmakehään muodostuu inversiokerros, joka ei ole lähellä maanpintaa vaan korkeammalla ilmakehässä. Tämä inversiokerros toimii rajapintana, jossa lämpötila kasvaa ja vesihöyryn pitoisuus laskee äkillisesti. Kohonnut kanava muodostuu usein, kun

lämmin ilmassa liikkuu kylmän ilmassan yläpuolelle esimerkiksi rintamien yhteydessä.

Pintakanavoitumisessa tutka-aallot jäävät ”loukkuun” maan- tai merenpinnan ja ilmakehän inversiokerroksen väliin. Alempana on kerros viileämpää ja kosteampaa ilmaa, kun taas sen yläpuolella vallitsee lämpimämpi ja kuivempi ilma. Pintakanavoitumista esiintyy erityisesti meren yllä, tyypillisesti lämpiminä päivinä tai selkeinä öinä, jolloin ilmakehän lämpötila- ja kosteuserot korostuvat.

Säämallista kanavoitumismalliin

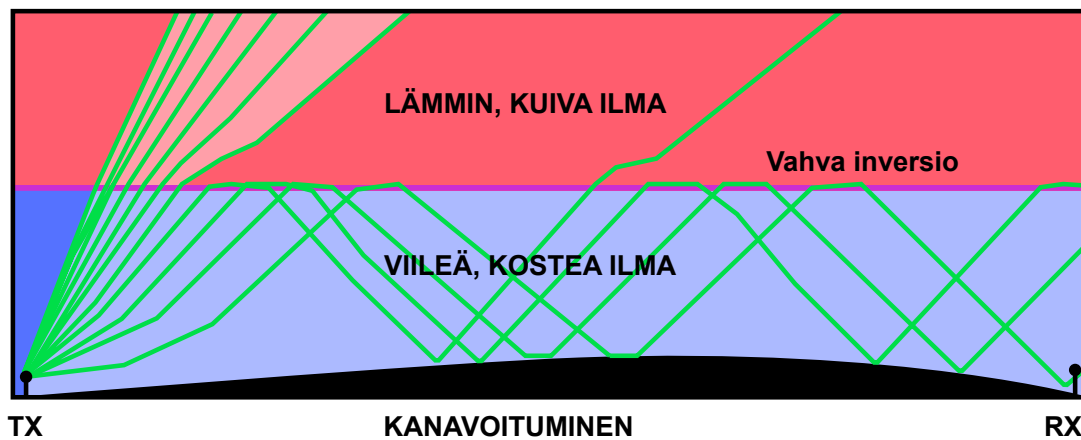
Ilmakehä on hyvin monimutkainen ja kaoottinen järjestelmä, jossa pienet muutokset lähtötilanteesta voivat vaikuttaa suuresti lopputulokseen. Kanavoitumisen ennustaminen vaatii tarkkaa tietoa ilmakehän matalimmista kerrostumista. Kun ilmakerrosten välillä on suuria lämpötila- ja kosteuseroja, radioaallot taipuvat voimakkaasti. Tällöin syntyy otolliset olosuhteet kanavoitumisilmiölle. Tällaisten tilanteiden tunnistaminen säämallista on ensisijaisen tärkeää, jotta voidaan ennakoita jollakin todennäköisyydellä, milloin ja missä kanavoitumista saattaa esiintyä.

Säämallit simuloivat ilmakehän olosuhteita, kuten lämpötilaa, kosteutta ja tuuliolosuhteita, mutta niiden tilavuudellinen tarkkuus ei useinkaan riitä kuvaamaan pienimittakaavaisia ilmiöitä, jotka vaikuttavat radioaaltojen etenemiseen. Säämalliin pohjautuvan kanavoitumismallin luomista vaikeuttaa myös reaaliaikaisten ja tarkkojen havaintojen puute ilmakehän kriittisistä kerroksista. Tämä tekee kanavoitumisen arvioinnista erityisen haastavaa paikallisten ja lyhytaikaisten sääilmiöiden yhteydessä.

Kanavoitumisilmiön ymmärtäminen ja ennustaminen on elintärkeää meille itsellemme, sillä kukaan muu ei tee sitä puolestamme. Pohjoismaiset olosuhteet ovat omaleimaisia. Meidän on osattava tulkita niitä tarkasti, olipa kyse kesäyön pintainversioista tai talven jäisistä merialueista. Kun hallitsemme ilmakehän alimpien kerrosten vaikutukset radioaaltojen etenemiseen, vältämme tilanteet, joissa kanavoituminen aiheuttaisi ongelmia esimerkiksi tutkajärjestelmissä.

Kanavoitumisen ennustaminen

Tällä hetkellä kanavoitumista pystytään ennustamaan, mutta selvästi huonommalla tarkkuudella kuin säää. Kanavoitumisen tarkka ennustaminen edellyttää yksityiskohdista tietoa ilmakehän alimpien kerroksien pystyrakenteista, joissa lämpötila- ja kosteuserot ovat suuria. Tämä syntyy tekemällä havaintoja säästä ja radioaaltojen etenemisestä kanavoitumisilmiön vaatimalla tarkkuudella. Silti ennuste on vain voimakkaasti yksinkertaistettu kuva hyvin monimutkaisista tapahtumista, joita kaikkia on mahdotonta sisällyt-



Kanavoituminen: viileän ja kostean ilmakerroksen päällä on lämmin ja kuiva ilmakerros. (Grafiikka: Risto Korhonen ja Johanna Suominen)

tää kanavoitumismalliin. Kuten sääennusteiden laadinnassa, myös kanavoitumisen ennustamisessa tarvitaan huipputaso- laskentatehoa mallisimulaatioiden suorittamiseen ja reaaliaikaisen tiedon analysointiin. Tarkemmilla ennusteilla voitaisiin edistää tutkatoimintoja ja viestintäjärjestelmien käyttöä, mutta tämä vaatii parempia mittausjärjestelmiä ja reaaliaikaisia havaintoja.

Jos pystyisimme ennustamaan kanavoitumisen usean päivän päähän, se avaisi merkittäviä mahdollisuuksia toiminnan suunnitteluun ja optimointiin. Ennakoimalla tarkasti, milloin ja missä kanavoitumista esiintyy, voisimme ajoittaa esimerkiksi tutkaoperaatiot ja viestintäjärjestelmien käytön tehokkaammin ja näin välttää häiriöitä ja hyödyntää kanavoitumista kantaman laajentamiseen. Tämä etukäteissuunnittelu vähentäisi reaktiivista toimintaa ja vähentäisi riskiä joutua yllätetyksi esimerkiksi kriittisissä sotilas- tai pelastustehtävissä. Pidemmälle ulottuva ennustettavuus mahdollistaisi myös resurssien tehokkaamman käytön, jolloin voisimme kohdistaa resursseja oikeisiin aikoihin ja paikkoihin säästäen samalla aikaa ja rahaa.

Kansainvälinen yhteistyö

Kanavoitumistutkimusta tehdään kansainvälisen polaaritutkimuksen yhteistyöohjelman (ICE-PPR) alla. Mukana tässä tutkimuksessa ovat Norja, Ruotsi ja Suomi. Tavoitteena on yhdessä kerätä havaintoja kanavoitumisilmiöstä ja kehittää pohjoismaisille alueille sopiva numeerinen malli troposfäärissä tapahtuvalle etenemiselle.

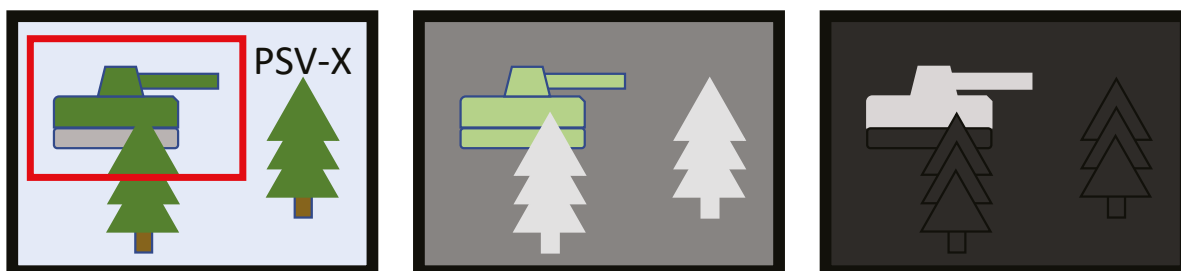
Johtopäätökset

Kanavoitumisilmiön ymmärtäminen ja ennustaminen on kriittistä, jotta teknologisten järjestelmien toimintaa voidaan tehostaa. Kun radioaaltojen etenemiseen vaikuttavia tekijöitä osataan ennakoida, voidaan välttää yllättävät tilanteet ja hyödyntää kanavoitumista taktisesti esimerkiksi sotilasoperaatioissa. Tarkat ennusteet mahdollistaisivat resurssien tehokkaamman käytön ja parantaisivat tutkajärjestelmien toimintavarmuutta.

Kirjoittaja:

Tekniikan lisensiaatti Risto Korhonen toimii vanhempana tutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen informaatiotekniikkaosastossa radiotaajuiset sensorijärjestelmät -tutkimusosalalla.

Kuvaavat elektro-optiset sensorit sotilaskäytössä – viimeisimmät trendit



Automaattisesti tunnistettu kohde, kohdetta korostava sensorifuusiokuva ja hyperspektrikameralla tunnistettu materiaali.
(Grafiikka: Ilkka Rajakallio)

Teknologian kehittyminen on lisännyt kuvaavien sensoreiden muodostamaa tiedustelu-uhkaa taistelukentällä. Kameroissa oleva avustava tietotekniikka nopeuttaa kuvien tulkintaa ja tuo uusia toiminnallisuuksia. Perinteisten valonvahvistimien ja lämpökameroiden rinnalle on tullut SWIR-aallonpituusalueella toimivia kameroita sekä uutta teknologiaa edustavia multispektri-, sensorifuusio- ja hyperspektrikameroita. Eri aallonpituusalueilla toimivat sensorit voivat toimia taistelijoiden tähtäiminä ja tähystiminä sekä kuvaustiedustelun, perinteisten hakupäiden ja vaanivien aseiden kameroina.

Tietotekniikan kehitys

Kehittyneen tietotekniikan avulla sotilaalliset kohteet voidaan havaita ja tunnistaa aiempaa nopeammin. Kuva-aineistoja voidaan ehostaa reaaliaikaisesti, ja näin yksityiskohdat erottuvat selvemmin. Kuvan eri osiin voidaan käyttää automaattisesti valikoituvia parhaan kuvan antavia kontrastisäätöjä. Hahmon tunnistuksen ja koneoppimisen työkaluilla

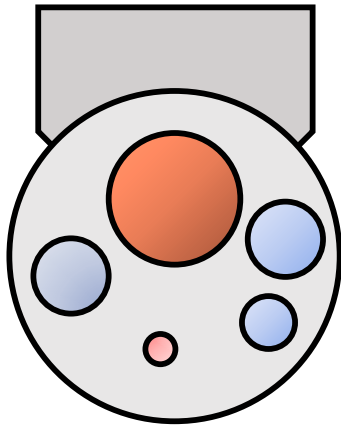
kiinnostavat kohteet voidaan löytää automaattisesti, mikä helpottaa kuva-aineistojen läpikäyntiä. Ihmisen tekemä kuvantulkinta voi pelkistyä jo havaittujen kohteiden varmistamiseen tai eettisten sääntöjen salliessa jäädä kokonaan pois.

Kameran kuvan automaattinen tulkinta voidaan yhdistää esimerkiksi lennokkien torjunnassa käytettävän käsiaseen toimintaan. Tähtäimeen integroitu tietotekniikka laskee kohteen liiketiedosta ennakkopisteen ja mahdollistaa liipaisimen käytön vain, kun tähtäyssuunta on oikea.

Valonvahvistimet

Perinteisiä valonvahvistimia on kehitetty herkkyyden laajenemiseen entistä pidemmille aallonpituuksille lähi-infrapuna-alueella. Yöllä valaistusta on päivästä poiketen enemmän lähi-infrapuna-alueella kuin näkyvän valon alueella. Elokuvista tuttu valonvahvistimien häikäistyminen valoista ei ole enää merkittävää automaattisesti säätävän vahvistuksen

Sensoreiden aallonpituusalueet	
Valonvahvistimet	toimivat tyypillisesti 400–900 nm:n aallonpituusalueella.
Lämpökamerat	toimivat MWIR 3–5 µm:n (Medium Wavelength Infrared) tai LWIR 8–12 µm:n (Long Wavelength Infrared) aallonpituusalueilla.
SWIR-kamerat	toimivat 1,2–2,5 µm:n (Short Wavelength Infrared) aallonpituusalueella.
Multispektrikamerat	kuvaavat yhtä aikaa usealla eri aallonpituuskaistalla.
Sensorifuusio	Sensorifuusiassa yhdistetään vähintään kahden eri aallonpituusalueen kuvat samaan kuvaan.
Hyperspektrikamerat	toimivat tyypillisesti 400–1000 nm:n, 900–1700 nm:n tai 1000–2500 nm:n aallonpituusalueilla. Ne eroavat multispektrikameroista siten, että niillä voidaan kuvata jopa sadoilla kapeilla aallonpituuskaistoilla yhtä aikaa. Myös kaksi eri aallonpituus- aluetta on voitu yhdistää samaan hyperspektrikameraan. Lisäksi joillakin hyperspektrikameroilla voidaan kuvata myös UV-, MWIR- ja LWIR-aallonpituusalueilla.



Gimbaaliin asennettu multispektrikamera lämpö-, SWIR- ja kahdella eri näkökentän näkyvän valon kameralla sekä laseretäisyysmittarilla. (Grafiikka: Ilkka Rajakallio)

vuoksi. Valonvahvistimia voidaan käyttää yksittäin, pareittain tai näkökentän laajentamiseksi jopa neljää rinnakkain.

Lämpökamerat

Lämpökamerat ovat yleistyneet hintojen halventuessa ja laitteiden koon pienentyessä. Kalliimmat ja suorituskykyisimmät lämpökamerat voivat toimia MWIR-aallonpituusalueella, mutta edullisemmat ja yleisimmät lämpökamerat toimivat LWIR-aallonpituusalueella. LWIR-aallonpituusalueen etuna on jäähdyttämätön ilmaisinkenno, jota ei ole MWIR-aallonpituusalueen laitteissa. Tosin MWIR-aallonpituusalueen optiikat voidaan valmistaa pienempään kokoon verrattuna LWIR-aallonpituusalueen optiikkaan, mistä on hyötyä etenkin kauas kuvaavissa laitteissa.

Vanhoilla lämpökameroilla lämpimien kohteiden yksityiskohtien erottaminen on toisinaan haastavaa, koska kuvan asetukset säädetään keskimäärin koko kuva-alueelle sopivaksi. Ihminen voi näyttää kuvassa valkoiselta ”lumiukolta”. Uusien lämpökameroiden kuva voi säätyä automaattisesti sopivaksi sekä lämpimän kohteen että taustan alueille. Tällöin ihmisen lämmintä kehoa vasten pitelemä ase ja muut

Yöllinen valaistus

Yöllisen valaistuksen lähi-infrapuna-alueen voimakkuus johtuu kuun heijastaman auringon valon, tähtien valon, yötaivaan ilmahehkun ja eläinratavalon ominaisuuksista. Kuun ja tähtien valo ovat kaikille tuttuja. Ilmahehku syntyy yläilmakehässä auringon ultraviolettisäteilyn viritämien molekyylien viritystilojen purkautuessa. Eläinratavalon puolestaan on peräisin aurinkokunnan tasossa olevasta pölystä sironneesta auringon valosta.

varusteet voidaan erottaa. Kehittyneimmissä laitteissa on lisäksi entistä paremman erotuskyvyn mahdollistavia ilmaisinkennoja.

SWIR-kamerat

SWIR-kameroita käytetään aseiden tähtäiminä, taistelijoitten tähtäimissä ja yhtenä vaihtoehtona useita kameroita sisältävissä valvontajärjestelmissä. Valonvahvistimiin verrattuna SWIR-kameroiden etuja ovat

- videokuvan tallennusmahdollisuus
- osin parempi kuvauskyky sumun ja savun läpi
- kyky nähdä laservalaisu pidemmällä aallonpituuksilla.

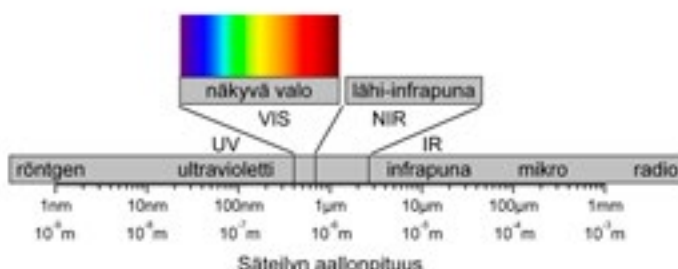
Kehittyneimpiin kuvaustiedustelulaitteisiin lukeutuvissa SWIR-kameroissa voidaan käyttää ihmissilmälle näkymätöntä laservalaisua. Tällöin voidaan laseretäisyysmittareiden teknologiaa muistuttavalla menetelmällä ottaa niin kutsuttuja portitettuja kuvia eri etäisyyksiltä. Kuvissa kohteet erottuvat siluettimaisesti, koska etäisyysporttien etu- ja takapuolella olevat esteet ja tausta leikkautuvat pois. Tämän ansiosta kohteita voidaan havaita osittaisen kasvillisuuden peiton ja liian harvojen naamioverkkojen läpi.

Multispektrikamerat ja sensorifuusio

Uudet kuvaustiedustelu- ja aluevalvontajärjestelmät toimivat usealla eri aallonpituuskaistalla, mistä käytetään nimitystä multispektri. Järjestelmissä on usein seuraavat laitteet:

- tavanomainen näkyvän valon kamera
- lämpökamera
- laseretäisyysmittari
- SWIR-kamera
- laserosoitin.

Kameroita voi olla samalla aallonpituusalueella kaksikin, jotta saadaan käyttöön eri optiikoilla varustettu leveä ja kapea näkökenttä.



Sähkömagneettisen spektrin aallonpituusalueet. (Kuva: Timo Kaurila)

Eri aallonpituuskaistojen kuvien yhdistämistä kutsutaan sensorifuusioksi. Tällöin saadaan käyttöön kunkin kameran parhaat ominaisuudet, kuten

- kohteiden helppo havaittavuus lämpökuvassa
- yksityiskohtien erottuminen näkyvän valon alueen kuvissa
- helppo tulkittavuus näkyvän valon alueen kuvissa.

Sensorifuusio on käytössä raskaampien järjestelmien lisäksi esimerkiksi käsiaseiden tähtäimissä.

Hyperspektrikamerat

Hyperspektritekniologia on kehittynyt kohti pienempiä, halvempia ja helppokäyttöisempiä laitteita. Järjestelmäkameran kokoisia laitteita on ollut markkinoilla jo vuosikymmenen. Laitteeseen on voitu integroida muun muassa

- kamera
- datan varastointi
- kuvien tulkinta
- havaittujen kohteiden näyttäminen.

Laitteiden hinnat ovat halventuneet, joten niitä pystyvät hankkimaan jo yksityishenkilötkin.

Hyperspektrikuvaustiedustelun suojautumisen kehittämisen tarve on korostunut. Erittäin suorituskykyisiä hyperspektrikameroita on saatavilla drooneihin ja lentokoneisiin. Hyperspektrikameroita on asennettu maan kiertoradalla oleviin CubeSat-nanosatelliitteihin ja niitä raskaampiin kuvaustiedustelusatelliitteihin. Käsikäyttöiset hyperspektrikamerat kykenevät tunnistamaan keinotekoisia materiaaleja luonnon taustasta kilometrien etäisyydeltä. Havaittavuuden vähentäminen edellyttää kuvausuhkan ja suojautumismenetelmien entistä tarkempaa tuntemista.

Yhteenveto

Sensoreiden sotilaalliset sovellukset ovat kehittyneet laajalla rintamalla. Kameroiden spektrinen kattavuus on laajentunut, mikä edellyttää suojautumiselta vastaavasti entistä kattavampia ratkaisuja. Sensoreiden yksittäisten teknisten parannuksien lisäksi tietotekniikka on nopeuttanut kuva-aineistojen tulkintaa ja mahdollistanut uusia toimintoja.

Kirjoittaja:

Diplomi-insinööri Ilkka Rajakallio toimii vanhempana tutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen asetekniikkaosastossa hävietekniikka-tutkimusallalla.



Käsiaseeseen asennettava sensorifuusiotähtäin. (Kuva: Ilkka Rajakallio)



Kohteiden tunnistamiseen kykenevä hyperspektrikamera. (Kuva: Ilkka Rajakallio)



Taistelijan toimintakyky

Sodasta palaavien kotiuttamisjakso



(Kuva: Aarni Ilmanen/Puolustusvoimat)

Kansainvälisessä tutkimuksessa on viime vuosina kiinnitetty runsaasti huomiota sotatoimialueelta palaavien sotilaiden kotiuttamisprosessiin ja siviiliyhteiskuntaan palaamiseen. Kotiinpaluun yhteydessä on ilmennyt niin fyysisiä, psyykkisiä, sosiaalisia kuin eettisiäkin haasteita, jotka aiheutuvat palveluksen aikaisista tapahtumista. Kotiuttaminen on osa palvelusta. Sen aikainen henkinen huolto on Puolustusvoimien vastuulla, vaikka kotiutumisen jälkeisistä toimenpiteistä vastaavatkin muut viranomaiset. Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen toimintakykyosasto kehittää sodasta palaavien kotiuttamisjakson mallia, jolla tuetaan kotiutumista sekä paluuta normaalioloihin ja siviilielämään.

Nyky aikaisten sotien veteraaneista arviolta noin 2–20 prosenttia kärsii kotiutumisen jälkeen traumaperäisestä stressihäiriöstä tai siihen liitännäisistä mielenterveysoireista, kuten alkoholin liikakäytöstä, masennuksesta, ahdistuksesta ja yleisemmästä psykologisesta ahdingosta. Sotilaiden psyykkisen kestäkyvyn pettäminen ei ole uusi eikä harvainen ilmiö. Eri lähteistä saatujen arvioiden mukaan jopa noin 40 prosenttia sodissa haavoittuneista on ollut psyykkisesti haavoittuneita.

Nyky aikaisella taistelukentällä sotilaiden on havaittu kärsivän taistelustressin ja posttraumaattisen stressireaktion lisäksi niin sanotusta moraalisesta stressistä. Moraalinen stressi il-

menee esimerkiksi syyllisyytenä toiminnasta, jolla sinällään on ollut juridinen ja moraalinen hyväksyntä mutta jonka yksittäinen sotilas on kokenut epäeettisenä ja arvojensa vastaiseksi. Käsittelemätön ristiriita henkilökohtaisen syyllisyyden kokemuksen ja ympäröivän arvomaailman välillä voi johtaa myös moraaliseen vammaan. Moraaliseen vammaan liittyy usein häpeäkokemusta ja oman arvomaailman järkkymistä.

Suomen sotien veteraanien mielenterveyden ongelmista on tehty vain vähän tutkimusta. Sotien psykologiset vaikutukset olivat kuitenkin huomattavia. Olosuhteet ovat niin sodankäynnissä, mielenterveyden diagnostiikassa kuin yhteiskunnassa muuttuneet huomattavasti sotiemme ajasta. Kansainvälisten tutkimusten perusteella voidaan arvioida, että suomalaisilla sotaveteraaneilla PTSD:n (posttraumatic stress disorder) esiintyvyys sodan jälkeen olisi nykyään noin 2–10 prosenttia olettaen, että kriisi vastaisi piirteiltään kansainvälisissä tutkimuksissa eniten tutkittuja sotia.

Mikäli taistelua käytäisiin Suomessa ja kriisi olisi pitkittynyt, taistelulle altistukset kasaantuisivat ja palautumismahdollisuus olisi rajoitetumpi. Lisäksi sotilaiden läheiset ja kotimaa olisivat toisella tavalla uhattuina kuin ulkomaankomennukselle lähtevillä sotilailla. Tällöin myös PTSD:tä ja muita mielenterveyden liitännäisongelmia esiintyisi todennäköisesti enemmän. Esimerkiksi kotimaassaan miehitetyillä alueilla

puolustustaistelua käyville ukrainalaisilla esiintyi tutkimusten mukaan huomattavasti edellä arvioitua enemmän stressi- ja traumaoireilua. Eri lähteiden mukaan oireista kärsii noin 30 prosenttia taistelussa mukana olleista sotilaista. Koko yhteiskunnassa oireilua esiintyy jopa puolella väestöstä.

Sodan aikaisten kokemusten lisäksi kotiutuminen tai paluu siviilielämään on todettu usein psyykkisesti haastavaksi. Pelkästään itsensä määrittäminen siviiliksi ja sotilaan identiteetistä luopuminen voi olla kuormittavaa. Siksi on tärkeätä kyetä tukemaan siviilielämään siirtymistä ja kokemusten integroimista osaksi veteraanin identiteettiä.

Kansallinen malli perustuu kansainväliseen tutkimukseen

Useat maat ovat kehittäneet erilaisia kotiutumista tukevia ohjelmia ja toimenpiteitä vähentääkseen kotiutumisen jälkeisten ongelmien esiintymisriskiä. Tutkimuksissa on selvitetty ongelmien taustalla olevia selittäviä tekijöitä. Erilaisten kokonaisvaltaisten kotiutusohjelmien ja yksittäisten interventioiden vaikuttavuudesta hyvinvoinnin lisäämisen, traumaperäisen stressihäiriön ja muiden mielenterveyden häiriöiden ehkäisyyn on saatu vaihtelevia tuloksia. Vaikuttavaa näyttöä on saatu muun muassa

- psykoedukaatiosta (tiedon jakamista mielenterveydestä ja mielenterveyteen vaikuttavista asioista)
- luovasta ja altistusohjaisesta kirjoittamisesta
- psykologista joustavuutta tukevista hyväksymis- ja omistautumisterapeuttiseen viitekehykseen pohjaavista tukitoimista sekä
- kotiutuvan ryhmän yhteenkuuluvuutta hyödyntävistä toimenpiteistä.

Moraalisen vamman käsittelyn tutkimus on vielä hyvin hajanainen, eikä yksimielisyyttä hoitokeinoista ole saavutettu. Sen sijaan on painotettu valmistavaa koulutusta. Siviilielämään siirtyvien sotilaiden keskuudessa on tehty tutkimuksia, joissa on selvitetty sotilaiden halukkuutta hakea tilanteen mukaista apua sekä kykyä hyödyntää sosiaalista tukea.

On syytä huomata, että kotiutumisen jälkeisten riskien vähentämiseen tähtäävät länsimaiset tukimenetelmät on ensisijaisesti suunniteltu ulkomailla tapahtuneiden operaatioiden jälkeiseen tilanteeseen, jossa koko kansakunta ei ole ollut sotilaallisten toimien kohteena.

Puolustusvoimien tutkimuslaitoksella on selvitetty kansainvälisen tutkimustiedon pohjalta Puolustusvoimien käyttöön soveltuva kotiuttamistoimenpiteiden mallia. *Sodan jälkeen kotiutettavien sotilaiden palautusjakso ja sen sisältö* -tutkimuksessa ollaan luomassa malli, jolla vastataan kotiinpaluun mahdollisesti aiheuttamiin haasteisiin.

Mallissa otetaan huomioon yleiseen asevelvollisuuteen perustuvien asevoimien erityispiirteet. Näihin lukeutuu esimerkiksi sodasta kotiutuvan joukon moninaisuus, sillä joukko koostuu

- reserviläisistä
- asepalveluksessa olevista varusmiehistä
- Puolustusvoimien palkatusta siviilihenkilöstöstä sekä
- ammattisotilaista.

Suurimmillaan tämä joukko muodostuu noin 270 000 hengestä. Sotakokemukseltaan joukko on hyvin heterogeeninen, ja ihmiset palaavat sodasta hyvin erilaisiin elämäntilanteisiin. Kotiuttamiseen käytettävissä oleva aika ja tukiresurssit ovat myös rajalliset.

Kotiutuvien sotakokemuksissa sekä sotilaskoulutuksen määrässä on suuria vaihteluita, mikä on otettava huomioon kotiuttamistoimenpiteiden suunnittelussa. Eniten traumaoireilun riskiä lisäävät taistelutapahtumien kokeminen, eli mitä enemmän sotilas on ollut etulinjassa ja taistelukokemuksessa, sitä enemmän esiintyy stressioireilua. Mikäli taisteluun liittyviin stressireaktioiden kohtaamiseen on kuitenkin annettu etukäteen koulutusta ja stressireaktioihin puututaan ajoissa, PTSD:tä esiintyy kotiutumisen jälkeen vähemmän. Vahvoja suojaavia tekijöitä ovat hyvä johtaminen, oman yksikön yhteenkuuluvuuden tunne ja korkea taistelumoraali. On havaittu, että ne voivat kumota runsaankin traumaattisten altistumisen vaikutuksen, joka voi aiheuttaa mielenterveyden ongelmia.

Vertaisilta saatava tuki auttaa kotiutumisen yhteydessä uuteen vaiheeseen sopeutumisessa ja siviiliksi siirtymisessä sekä ennaltaehkäisee mielenterveysongelmia. Vastaavissa tilanteissa olleilta sotilailta saatu sosiaalinen vertaistuki on ensiarvoisen tärkeää, sillä se tukee veteraanien jaksamista ja yhteiskuntaan integroitumista.

Kotiuttamisjakson sisältö

Kotiutumisen yhteyteen suunniteltu tuki- ja palautusjakso kestää muutaman päivän, jolloin ei ole mahdollista eikä tarkoituksenmukaista vielä toteuttaa laajaa mielenterveyden ongelmia ehkäisevää ja erityisesti hoitavaa toimintaa.

Jakson tavoitteena on keskittyä kotiinpaluuseen orientoitumiseen ja tarjota psykoedukaatiota ennaltaehkäisyyn liittyvistä teemoista. Kotiuttamisjakso voidaan toteuttaa esimerkiksi varuskunnassa, leirikeskuksessa tai virkistysalueella. Ympäristön tulee olla olosuhteiltaan selkeästi rintamaolosuhteita parempi ja turvallinen, jotta sotilaalla on mahdollisuus rentoutumiseen, epäviralliseen olemiseen ja aktiviteetteihin sekä luentoihin/työpajoihin osallistumiseen.



(Kuva: Jarno Riipinen/Puolustusvoimat)

Kotiuttamisjakson yleisenä tavoitteena on käynnistää fyysinen ja psyykinen palautuminen ja siirtyminen sotilaasta siviiliksi eli battle mindsetistä home mindsetiin. Tämä edellyttää vireystilan tasaannuttamista, vakauttamista ja jonkinasteista traumojen tunnistamista. Traumojia ei kuitenkaan voida näin lyhyessä ajassa purkaa ja käsitellä, vaan traumatisoituneet henkilöt ohjataan jatkohoitoon kotipaikkakunnalleen. Jakson aikana voidaan siis tunnistaa hoidon tarve, ja yhteistyö siviiliviranomaisten kanssa onkin tässä yhteydessä ensiarvoisen tärkeää.

Hoidon ja tuen tarve selvitetään kyselyllä, jotta suuresta henkilömäärästä huolimatta jokaiselle sotilaille voidaan tarjota henkilökohtainen kotiinpaluun suunnitelma. Lisäksi sotilaat saavat ohjausta siitä, miten he voivat olla yhteydessä esimerkiksi siviiliviranomaisiin ja vertaistukiryhmiin.

Kotiuttamisjakson lyhyiden ja suuren osallistujamäärän vuoksi painopisteen tulee olla erityisesti psykoedukaatioissa. Tällä tarkoitetaan muun muassa tiedon jakamista seuraavista asioista:

- mahdollisista psykososiaalisista ongelmista ja niiden yleisyydestä, jotta voidaan lisätä mielenterveysosaamista ja vähentää stigmaa
- sopeutumista edistävästä stressinhallintakeinoista
- siitä, miten ja mihin kannattaa ottaa yhteyttä ja hakea tukea
- myönteisten selviytymisstrategioiden (esim. vertaistuki) tunnistamisesta

- haitallisten selviytymisstrategioiden tunnistamisesta (esim. alkoholin liikakäyttö)
- kyvystä tunnistaa itsessä ja muissa käyttäytymismerkkejä, jotka voivat viitata ulkoisen tuen tarpeeseen
- epävirallisista ja virallisista mielenterveysresursseista.

Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen suunnitteleman mallin mukaan kotiuttamisjakson järjestävät sodan ajan kokoonpanoon kuuluva Lepola-pataljoona ja toimintakyvyn tutkimusyksiköt. Jakso on muutaman vuorokauden pituinen, erillinen palvelukseen kuuluva tapahtuma, joka järjestetään ennen joukon kaluston ja varusteiden luovuttamista. Alustavia suunnitelmia on tehty siitä, että jaksolle osallistuisi myös siviiliviranomaisia, sekä siitä, miten yhteiskunnan eri toimijoiden tarjoamia omahoitorakenteita voitaisiin hyödyntää.

Kirjoittajat:

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

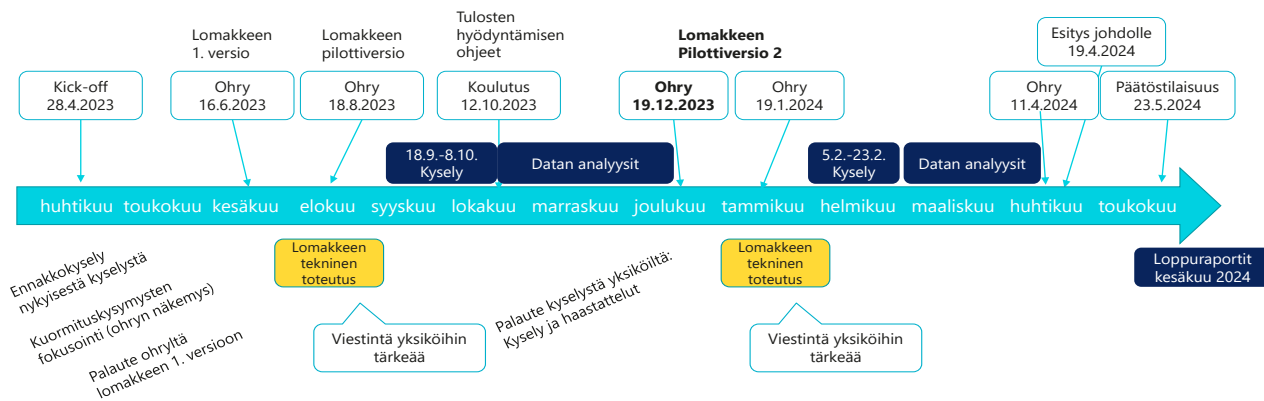
Komentaja Kari Salin palvelee Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen toimintakykyosastossa tutkimuslajohtajana.

Psykologian tohtori, dosentti Petteri Simola palvelee Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen toimintakykyosastossa tutkimuslajohtajana.

Psykologian maisteri Heli Aalto palvelee Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen toimintakykyosastossa vanhempana tutkijana.

Filosofian tohtori Venla Kuuluvainen palvelee Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen toimintakykyosastossa tutkijana.

Työyhteisökyselyn kehittäminen



Työyhteisökyselyn kehittäminen -projektin eteneminen.
(Grafiikka: Työterveyslaitoksen materiaalin pohjalta muokannut Johanna Suominen)

Puolustusvoimissa pitkään käytössä ollut työilmapiiri-kysely TIP uudistettiin vuosina 2022–2024, ja uuden työyhteisökyselyn nimeksi tuli Syke. Uudistustyö tehtiin laajana yhteistyöprojektina Puolustusvoimien ja Työterveyslaitoksen kanssa.

Kyselyllä on nyt vahva teoreettinen viitekehys, ja sillä mitataan Puolustusvoimien työyhteisön tilaa monesta näkökulmasta. Projektissa luotiin myös mallit, joiden avulla kyselytuloksia raportoidaan, analysoidaan ja käsitellään työyhteisöissä. Lisäksi projektissa laadittiin koulutuspaketit kaikille vastaajille, kyselyvastuuhenkilöille ja esimiehille.

Työyhteisökyselyjen perusteet

Toimivan työyhteisön ja koko organisaation perusedellytyksiä ovat hyvinvoiva henkilöstö ja hyvä työilmapiiri. Hyvin toimiva ja tavoitteensa saavuttava organisaatio myös arvioi työyhteisönsä toimintaa säännöllisesti ja tarvittaessa kehittää sitä. Tämä edellyttää, että toiminnan seurantaan sitoudutaan yhdessä ja hyväksytään erilaiset näkemykset. Henkilöstöllä tulee olla myös valmius muuttaa toimintatapojaan.

Edellisten lisäksi työturvallisuuslain (23.8.2002/738) 8 §:ään perustuen työnantajalla on yleinen huolehtimisvelvoite, jonka mukaan muun muassa ”työnantajan on jatkuvasti tarkkailtava työympäristöä, työyhteisön tilaa ja työtapojen turvallisuutta sekä työntekijöiden turvallisuutta ja terveyttä työssä. Työnantajan on myös tarkkailtava toteutettujen toimenpiteiden vaikutusta työn turvallisuuteen ja terveyteen.” (16.2.2023/222)

Tätä tarkkailua voidaan toteuttaa monella tapaa. Isossa työyhteisössä yhtenä toteutustapana ovat kyselyt ja kyselyiden hyödyntämistilaisuudet. Hyödyntämistilaisuuksien avulla työyhteisön toimintaa voidaan kehittää ja saada näin aikaan myönteisiä muutoksia.

Mihin uusi työyhteisökysely Syke perustuu?

Työyhteisökyselyn ensisijainen tavoite on tuottaa tietoa työyhteisön tilasta, eli kysely on työyhteisön toiminnan arvioinnin työkalu ja kehittämistyön tuki. Puolustusvoimissa kyselyn uudistamisen tavoitteena oli se, että kysely on tieteellisesti pätevä, luotettava ja Puolustusvoimille räätälöity. Näin kyselyn avulla voidaan mitata Puolustusvoimien erilaisten työyhteisöjen ilmapiiriä, työtyytyväisyyttä ja työhyvinvointia tieteellisesti kestävällä tavalla.

Aiempi kysely oli työelämä tutkimuksen kannalta ajastaan jäljessä, mutta uudistamiseen oli muitakin perusteita. Kyselyn tuloksissa alkoi vuosien kuluessa ilmetä niin sanottua kattoefektiä, joka tarkoittaa, että kyselyn vastausasteikon käyttö kapeutuu mielipiteiden yhdenmukaistuessa ja vastaukset painottuvat asteikon toiseen, myönteisempään päähän. Kattoefekti-ilmiö hankaloittaa luotettavaa arviointia sekä kehittämiskohteiden havaitsemista.

Aiemmalla kyselyllä mitattiin pääsääntöisesti vain työilmapiiriä, mutta uudistettu kysely on teoreettiselta viitekehykseltään laajempi, mikä vaikutti myös kyselyn nimeämiseen. Teoreettisesti uudistettu Syke-kysely perustuu laajaan tutkimustietoon yksilö-, työtehtävä- ja työyhteisötasoisille

vaikuttavista näkökulmista. Yksilö- ja tehtävätasolla selvittää sekä voimavaroja että kuormitustekijöitä, ja työyhteisötasolla näkökulmat tukevat Puolustusvoimien arvopohjan mukaisen toiminnan arviointia. Kyselyn sisällössä on huomioitu kattavasti resilientin organisaation peruselementtejä, jotka koostuvat ihmisistä arvostavasta kulttuurista ja johtamisesta, yhteistyöstä sekä varautumisesta tulevaan.

Uudistetussa kyselyssä hyödynnettiin myös muualla yhteiskunnassa käytössä olevia validoituja mittareita (kuten työstressi, työuupumus ja työkyky) tai niiden räätälöityjä osia (esimerkiksi työn imu).

Työyhteisökysely Syke koostuu neljästä kokonaisuudesta:

- työyhteisön toimivuuden teemat
- tehtävä- ja yksilötason teemat
- poikkeusolot ja maanpuolustusteema
- tutkimuskysymykset.

Työyhteisön toimivuuden teema (41 kysymystä) sisältää seuraavat asiat:

- työyksikön toimivuus ja kehittäminen
- työyksikön ilmapiiri
- työyksikön johtaminen
- henkilöjohtaminen
- sisäinen yhteistyö
- johdon toiminta.

Tehtävä- ja yksilötason teemat (30 kysymystä) kohdistuvat seuraavien asioiden tarkasteluun:

- työtehtävä ja sitoutuminen
- vaikutusmahdollisuudet
- työkuormitus
- työstressi
- palautuminen
- työuupuminen
- työn imu.

Poikkeusolojen ja maanpuolustuksen teemassa tarkastellaan poikkeusolojen tehtäviä ja maanpuolustustahtoa kuudella kysymyksellä. Tutkimuskysymyksillä tarkoitetaan vastaajien taustatietoja ja sensitiivisten teemojen, kuten kiusaamisen ja häirinnän, osioita (vähintään 18 kysymystä). Nämä on määritelty niin sanotuiksi tutkimuskysymyksiksi tutkimuseettisten vaateiden, kuten luottamuksellisuuden, vuoksi, eli vastauksista ei pysty tunnistamaan yksittäistä vastaajaa. Näitä tutkimuskysymyksiä ei käsitellä eikä raportoida työyhteisöjen raporteissa, vaan ne ovat ainoastaan Puolustusvoimien ja hallintoyksiköiden johdon käytössä.

Työyhteisökyselyn kehittämisprojekti: vahvaa yhteistyötä ja osallistavaa kehittämistä

Työyhteisökyselyn kehittäminen -projekti sai alkunsa Puolustusvoimien Pääesikunnan henkilöstöosaston tutkimustilauksen laadinnasta Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen toimintakykyosastolle syksyllä 2021. Tutkimustilaus eteni tutkimussuunnitelmaksi ja Työyhteisökyselyn kehittäminen -projektiksi, jossa keskeisenä yhteistyökumppanina oli Työterveyslaitos. Työterveyslaitoksen vanhempi asiantuntija, Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen tutkija (projektipäällikkö) sekä Puolustusvoimien Pääesikunnan henkilöstöosaston erikoissuunnittelija toimivat kiinteässä tutkimus- ja kehittämis-yhteistyössä koko projektin ajan projektin ydinryhmänä.

Varsinainen projektiryhmä muodostui Puolustusvoimien sisäisistä asiantuntijoista ja pilottiyksiköiden henkilöstöalan ammattilaisista. Puolustusvoimien henkilöstöpäällikön konsultointi ja ohjaus olivat vahvassa osassa koko projektin ajan, sillä kyseessä oli laaja, koko Puolustusvoimien henkilöstön hyvinvointia kehittävä toiminta.

Tutkimus- ja kehittämistoiminta kohdistui koko henkilöstöön, joten oli tärkeää saada projektiin koko henkilöstön edustajuus ja osallisuus laajasti mukaan. Tutkimuksien mukaan henkilöstön aktiivinen osallistuminen toiminnan kehittämiseen on tärkeää. Puhutaankin niin sanotusta osallistavasta kehittämisestä, jossa organisaation toimijat itse ottavat vastuuta työn ja organisaation toiminnan kehittämisestä. Tässä projektissa se tarkoitti erilaisia projekti- ja ohjausryhmiä sekä pilottiyksiköiden vahvaa ja sitoutunutta osallisuutta.

Projektiryhmä koostui 30–40 Pääesikunnan ja sen alaisten laitosten sekä puolustushaarojen keskeisistä työyhteisö- ja henkilöstöasioiden asiantuntijoista ja toimijoista, ja sitä johti projektipäällikkö ydinryhmineen. Projektiryhmän tärkein tehtävä oli toimeenpanna uuden kyselyn pilotointi sekä antaa moniulotteista palautetta pilotoinnin onnistumisesta sekä henkilöstön mielipiteistä.

Ohjausryhmään kuului samoin laajasti Puolustusvoimien henkilöstöä, ja siihen oli nimetty 20 työyhteisö- ja henkilöstöalan asiantuntijaa Puolustusvoimien organisaatiosta. Ohjausryhmän keskeisenä tehtävänä oli ohjata ja tukea projektin etenemistä ja sen laatua sekä valvoa resurssien käyttöä. Projektiryhmä kokoontui projektipäällikön johdolla yhdeksän kertaa projektin aikana. Projektipäälliköllä oli sen sijaan tapaamisia viikoittain muun muassa kyselyihin perehtyneiden Puolustusvoimien asiantuntijoiden kanssa. Lisäksi projektissa mukana ollut henkilöstö projekti- ja ohjausryhmineen kokoontui yhteisiin kick off- ja päätöstilaisuuksiin.

Uutta kyselyä testattiin ja pilotoitiin sen kehittämisvaiheessa. Pilotointiyksiköitä oli seitsemän, ja pilotointi tehtiin kahdesti. Tällä tavoiteltiin mahdollisimman kattavaa kannanottoa kyselyyn ja kyselyn onnistumista. Pilotointien jälkeen projekti- ja ohjausryhmät käsittelivät tulokset, joiden perusteella tehtiin tarvittavat muutokset.

Työyhteisökyselyn kehittäminen -projekti ei tähännyt vain kyselyn vaan koko toiminnan uudistamiseen. Toiminnan uudistaminen tarkoittaa tässä yhteydessä sitä, että työyhteisökyselyjen jälkeen yksiköissä järjestetään kehittämistilaisuuksia, joissa käsitellään kyselyn tuloksia. Lisäksi uudistamisen myötä myös näihin kehittämistilaisuuksiin laadittiin ohjeistukset.

Uudistamisprojektissa käynnistettiin myös sivuprojekti, jossa laadittiin koulutusmateriaalia uudistetusta kysymyssarjasta sekä siitä, miten työyhteisökyselyn tuloksia käsitellään ja hyödynnetään. Koulutusmateriaalit ovat PVMoodlessa olevia kyselyn tarkoitusta, sisältöä ja toteuttamista käsitteleviä ohjeistuksia videoineen, ja niiden avulla niin vastaajat, kyselyvastuuhenkilöt kuin esimiehetkin voivat perehtyä uuteen kyselyyn.

Ennen varsinaisen projektin alkua toteutettiin hankintaprosessi, tietoturvaan liittyvät vaatimustarkastelut sekä pi-

lottiyksiköiden valinnat. Projektin päätyttyä myös uuden kyselyn aktivointi vastausvalmiiksi on vaatinut oman panoksensa. Projektin eteneminen on esitetty kuviossa 1.

Miten työyhteisökyselyn kehittämisprojekti onnistui?

Projektin onnistumista voidaan tarkastella sen läpiviennin ja projektissa syntyneen tuloksen tai tuotteen perusteella. Tämän projektin läpivienti eteni hyvin ja tarkasti suunnitellun projektisuunnitelman mukaisesti, eikä projektin etenemiseen tarvinnut tehdä muutoksia. Projekti ja projektinhalinta hoidettiin siis laadukkaasti ja tehokkaasti. Projektissa tuotettiin uudistettu työyhteisökysely Syke sekä siihen kiinteästi liittyvät analysointi-, raportointi- ja tulosten käsittely työyhteisössä -mallit. Projektissa tuotettiin lisäksi koulutusmateriaaleja, jotka eivät projektin alussa olleet vielä tavoitteissa. Heti projektin alkuvaiheessa todettiin kuitenkin tarve laatia ja tuottaa koulutusmateriaalia uuden kyselyn kokonaisuuteen, ja projektin päätyttyä voidaan todeta, että niistä on ollut ehdottomasti hyötyä.

Projekti onnistui hyvin ja jopa yli odotusten. Tätä artikkelia kirjoitettaessa Syke-kysely on käynnissä, ja innostuneen jännittyneinä odotamme sen tuloksia ja sen vastaanottoa työyhteisöissämme.

Kirjoittajat:

Yhteiskuntatieteiden maisteri Anitta Hannola toimii tutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen toimintakykyosastossa.

Kauppätieteiden maisteri Tiina Kauranen toimii vanhempana asiantuntijana Työterveyslaitoksessa.

Hallintotieteiden maisteri Sirpa Klaavu-Nikula toimii erikoisuunnittelijana Puolustusvoimien henkilöstöosastossa.

Professori Kirsi Valkeapää johtaa Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen toimintakykyosastoa.

Kriisinhallintaveteraanien hyvinvoinnin seurannan kehittäminen



(Kuva: Puolustusvoimat)

Kriisinhallintapalvelukseen liittyvien haasteiden on havaittu ilmaantuvan joissain tapauksissa vasta useita vuosia kotiutumisen jälkeen. Näin on erityisesti erilaisten psyykkiseen terveyteen liittyvien oireiden, kuten masennuksen, ahdistuneisuusoireiden ja traumaperäisen stressihäiriön, kohdalla. Tämän vuoksi Puolustusministeriön kansallisen kriisinhallinnan veteraaniohjelmassa 2020–2023 on annettu Puolustusvoimien tutkimuslaitokselle velvoite laatia pidemmän ajan seurantakysely, joka lähetetään kotiutuneille 2–4 vuotta kotiutumisen jälkeen.

Kriisinhallintatehtävät sijoittuvat usein levottomille alueille, joissa on mahdollisuus joutua toistuvasti stressaavien tilanteiden alaiseksi. Tällaisia stressaavia ja mahdollisesti traumatisoivia tilanteita ovat esimerkiksi suoran tulituksen tai IED-iskujen (Improvised Explosive Device) kohteeksi joutuminen, inhimillisen kärsimyksen todistaminen ja ruumiiden näkeminen tai niiden käsitteleminen.

Joissain tilanteissa myös mandaattien ja toimintaedellytyksien puuttuminen voi merkittävästi kuormittaa kriisinhallintatehtäviin osallistuvia. Kriisinhallintaveteraanien yleisimpiä mielenterveyden häiriöitä ovat muun muassa

- traumaperäinen stressihäiriö
- masennus
- päihdeongelmat
- akuutti stressihäiriö.

Kriisinhallintatehtävissä palvelevat joutuvat myös olemaan pitkiä aikoja poissa kotoa vieraassa ympäristössä ja kotimaata vaikeammissa olosuhteissa, mikä osaltaan kuormittaa heidän hyvinvointiaan ja mielenterveyttään. Myös palveluksen sisältöön ja käytännön järjestelyihin liittyvät tekijät voivat olla kuormittavia.

Toisaalta kotiutuminen ja palveluksesta palaaminen voivat olla vaikeampia tilanteita kriisinhallintaveteraaneille kuin itse palveluksessa vietetty aika. Moni veteraaneista kokeekin siviiliin palaamisen jälkeen vaikeuksia löytää merkityksellisyttä tavallisesta arjesta.

Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen toimintakykyosasto toteutti vuosina 2015–2020 kotiuttamiskoulutukseen liittyvän tutkimuksen, jossa kotiutuvilta kriisinhallintaveteraaneilta kerättiin kotiinpaluukyselylomakkeen avulla tietoa heidän operaation aikana kohtaamistaan kuormittavista tekijöistä ja

PC-PTSD 5	Primary Care PTSD Screen for DSM-5 on perusterveydenhuollon käyttöön suunniteltu PTSD:n seulontalomake (Prins ym. 2016).
PHQ-9	Patient Health Questionnaire 9-item depression scale on masennuksen seulontaan kehitetty arviointimenetelmä (Kroencke ym. 2001).
GAD-7	General Anxiety Disorder-7 on ahdistuneisuuden määrän arviointimenetelmä (Spitzer ym. 2006).
AUDIT-C	AUDIT (Alcohol Use Disorders Identification Test)-testistä johdettu lyhyt, kolmen kysymyksen tehokas ja nopea väline alkoholin ongelmakäytön tunnistamiseen (Saunders ym. 1993).
SoC-12	Sense of Coherence -12 on Maanpuolustuskorkeakoulun Käyttäytymistieteiden laitoksella sotilaskäyttöön suunniteltu versio elämänhallinnan tunnetta mittaavasta SoC-13:sta (Antonovsky 1987).

Taulukko 1. Uudet mittarit

senhetkisistä psyykkisistä ongelmista. Tutkimukseen osallistuneista yli 90 prosenttia vastasi kyselyyn korkeintaan viisi kuukautta kotiutumisen jälkeen. Mahdollisesti traumaattisille tapahtumille palveluksensa aikana altistui vain harvoin tai ei koskaan 48,8 prosenttia vastaajista, ja päivittäin tällaisille tapahtumille altistui 17,7 prosenttia vastaajista.

Kyselyyn vastanneista kriisinhallintaveteraaneista 35,5 prosentilla ylittyi jokin viiden kliinisen mittarin riski- tai huolirajoista. Riski- tai huolirajoista yleisimmin ylittivät alkoholinkäyttöön liittyvät haasteet, jotka korkeista lukemistaan huolimatta eivät ylitä kansallista keskiarvoa (AUDIT-C mittarilla arvioituna). Post traumaattisten stressioireiden (PTSD) oireiden osalta tulokset ylittivät riskirajan vain 0,1 prosentilla ja masennuksen osalta 2,5 prosentilla vastaajista. Mielenterveyden häiriöt, varsinkin traumaperäinen stressihäiriö, voivat kuitenkin puhjeta jopa yli vuoden kuluttua palveluksen päättymisestä. Toisaalta oireet usein helpottuvat, kun kotiutumisesta on kulunut enemmän aikaa.

Tehdyn tutkimuksen pohjalta arvioitiin käytössä olevan kotiinpaluukyselyn toimivuutta ja hyödynnettävyyttä pidemmän ajan seurannan menetelmänä. Tutkimuksen aikana käytössä olevan kyselyn todettiin tuottavan arvokasta tietoa kriisinhallintaveteraanien hyvinvoinnista, mutta menetelmässä todettiin olevan puutteita ja joidenkin keskeisten osioiden olevan vanhentuneita. Tutkimuksen perusteella

vanhentuneet osiot pyrittiin päivittämään nykyisen tutkimustiedon mukaisiin vaihtoehtoihin.

Menetelmän päivitys

Entisellään päädyttiin pitämään menetelmän seuraavat osiot, joilla kartoitetaan

- vastaajien taustatietoja
- kotiutumiseen liittyviä asioita
- operaation aikaisia kuormitustekijöitä
- operaatiossa tapahtuneita asioita
- operaation aikaisia traumaattisia tapahtumia.

PTSD-oireita, masennusta sekä stressituntemuksia tarkastelevat osiot vaihdettiin nykyisen tutkimustiedon tukemiin vaihtoehtoihin. Muutokset tehtiin, sillä vanhojen vaihtoehtojen rinnalle on noussut tarkempia mittareita (PTSD-seula: TSQ→PC-PTSD 5), tai vanhat mittarit ovat poistuneet käytöstä muussa tutkimuksessa (Masennusseula: DEPS→PHQ-9). Stressituntemuksia mittaavan kyselyn tilalle vaihdettiin ahdistusseula GAD-7, sillä ahdistuksen ja PTSD:n on todettu olevan yhteydessä toisiinsa. Alkoholin käyttöä mittaava AUDIT-C todettiin ajantasaiseksi, joten se päädyttiin pitämään entisellään. Lisäksi päädyttiin säilyttämään aikaisemmassa mittarissa ollut elämänhallinnan tuntemuksia mittaava SoC-12, joka ei varsinaisesti ole kliininen mittari, mutta jonka katsottiin antavan laajempaa kuvaa veteraanien elämänhallintaan liittyvistä haasteista. Uudet mittarit ja niiden lyhenteet on esitelty taulukossa 1.

Päivitetyin mittarin testaus

Päivitettyä mittaria testattiin kotiuttamiskoulutuksen yhteydessä toteutetulla kyselyllä. Kyselyyn saatiin vastaukset yhteensä 143 suomalaiselta kriisinhallintaveteraanilta. Vastaajista kahdeksan oli naisia, loput miehiä. Henkilöstöryhmistä yleisimpiä olivat aliupseeri (49 %) ja upseeri (30 %). Vastaajista 65 prosenttia oli kriisinhallintatehtävissä ensimmäistä kertaa. Toista kertaa tehtävissä oli 16,1 prosenttia, kolmatta 8,4 prosenttia ja neljättä tai useampaa 10,5 prosenttia vastaajista. Vastaajista vain kolme oli joutunut keskeyttämään kriisinhallintatehtävänsä. Lisäksi vain kolme vastaajaa ilmoitti kärsineensä mielenterveysongelmista ennen kriisinhallintapalvelusta.

Taulukossa 2 esitellään sekä uuden että vanhan kyselyn mielenterveyden oiremittareiden tuottamat tulokset. Uuden PTSD-mittarin riskirajan ylitti kuusi henkilöä (4,2 % uuden kyselyn vastaajista), kun taas vanhan mittarin suuremmassa aineistossa PTSD-riskirajan ylitti vain kolme henki-

Uusi mittari	Riskirajan ylittäneet (N=143)	Vanha mittari	Riskirajan ylittäneet (N=2 317)
PTSD (PC-PTSD 5)	6 (4,20 %)	PTSD (TSQ)	3 (0,1 %)
Masennus (PHQ-9)	2 (1,40 %)	Masennus (DEPS)	59 (2,5 %)
Ahdistus (GAD-7)	2 (1,40 %)	Stressintuntemukset	66 (2,8 %)
Alkoholinkäyttö (AUDIT-C)*	47 (32,87 %)	Alkoholinkäyttö (AUDIT-C)*	634 (29,6 %)
Elämänhallinta (SoC-12)*	25 (17,48 %)	Elämänhallinta (SoC-12)*	167 (7,2 %)

*Mittarit ovat samat sekä uudessa että vanhassa tutkimuksessa

Taulukko 2. Mielenterveyden oiremittareiden riskirajojen ylittäneiden frekvenssi. Vasemmalla tässä tutkimuksessa käytetyt uudet mittarit, oikealla aiemmassa tutkimuksessa (Sahramäki ym., 2024) käytetyt mittarit.

löö (0,1 % vanhan kyselyn vastaajista). Uusi PTSD-mittari saattaa siis olla hieman herkempi PTSD-tapausten tunnistamisessa. Varmuutta ei kuitenkaan tässä tutkimuksessa voida saada, sillä operaatiot vaihtelevat merkittävästi eikä niiden aiheuttama kuormitus ole yhteismitallista.

Päivitetty prosessi kriisinhallintaveteraanien psyykkisen hyvinvoinnin seurantaan

Kotiuttamiskoulutuksessa täytettävällä kotiinpaluukyselyllä on tähän mennessä ollut yksi tärkeä päätarkoitus: tuottaa kyselyyn vastaavalle veteraanille lisätietoa hänen omasta hyvinvoinnistaan ja tarvittaessa ohjata hänet hakeutumaan tuen piiriin. Kysely mahdollistaa myös Puolustusvoimien johdolle ja kriisinhallinnasta vastaaville yleisellä tasolla tarkemman tilannekuvan kriisinhallintaveteraanien hyvinvoinnista kotiutumisen jälkeen.

Uudessa veteraanien hyvinvoinnin seurannan prosessissa seuranta on tarkoitus ulottaa myös 2–4 vuoden päähän kotiutumisesta, mitä voidaan pitää erittäin tärkeänä, sillä pienellä osalla traumaperäisestä stressihäiriöstä kärsivistä ve-

teraaneista mahdolliset psyykkiset oireet tulevat ilmi vasta pidemmän ajan kuluttua kotiutumisesta. Toisaalta monien oireet ovat tässä vaiheessa jo helpottuneet. Pidemmälle ulottuvan seurannan avulla veteraani voi pysähtyä arvioimaan omaa hyvinvointiaan, mutta se luo myös arvokasta tilannekuvaa Puolustusvoimille veteraanien hyvinvoinnista.

Seurantaan liittyy kuitenkin vielä ratkaisemattomia kysymyksiä, joita ovat muun muassa lainsäädäntöön liittyvät asiat, sillä juridisesti oireiden alkaminen pitää todeta viimeistään kuuden kuukauden kuluessa tapahtumasta tai palveluksen päättymisestä. Näin ollen myöhemmin alkanee oireet eivät välttämättä kuulu kriisinhallintatehtäviin liittyvän korvauslain piiriin. Toinen haaste liittyy ensimmäisen ja toisen vaiheen kyselyiden tulosten yhdistämiseen. Veteraanien tietoturvan ja yksilönsuojan turvaamiseksi kyselyt toteutetaan täysin anonyymeinä. Tästä kuitenkin aiheutuu se, ettei kyselyä voida hyödyntää täysmääräisesti hyvinvoinnin ja mahdollisten oireiden kehittymisen seurantaan. Käynnissä olevan prosessin haasteista huolimatta tavoitteena on pitkäaikainen hyvinvoinnin seuranta ja tuki kriisinhallintaveteraaneille.

Kirjoittajat:

Psykologian tohtori Petteri Simola toimii Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen toimintakykyosastossa sotilaspsykologia-tutkimusalan tutkimusalaohjohtajana.

Psykologian ylioppilas Leevi Vento toimii erityistehtävissä varusmiestutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen toimintakykyosastossa.



Vaikuttaminen ja suoja

Ydinaseen asevaikutukset

Ydinräjähdyksessä vapautuva energia on noin miljoonakertainen vastaavan kokoisen kemiallisen räjähteen vapauttamaan energiaan verrattuna. Se ilmaistaankin yleensä kilotonneissa (kt). Yksi kilotonni vastaa sitä energiamäärää, joka vapautuisi, kun tuhat tonnia eli miljoona kiloa TNT:tä räjähtää. Ydinräjähdyksessä energia kuitenkin vapautuu eri muodoissa kuin kemiallisessa räjähdyksessä, joten ydinräjähdyn seuraukset poikkeavat niistä, jotka sama kilotonnimäärä räjähdysainetta aiheuttaisi. Ydinräjähdyn fyysisten vaikutusten ja siten ydinaseen asevaikutusten tunteminen luo pohjan ydinaseiden uhan ymmärtämiselle ja niiden vaikutuksilta suojautumiselle sotilaallisen toiminnan kontekstissa.

Tässä tekstissä keskitytään maanpinnassa tai enintään kilometrejä sen yläpuolella tapahtuviin ydinräjähdysiin. Syvässä maan tai veden alla, veden pinnassa, yläilmakehässä tai avaruudessa tapahtuvan räjähdyn vaikutukset poikkeavat tässä kuvatuista. Tarkasteltavissa tilanteissa räjähdyn välittömät vaikutukset ovat

- ilmassa etenevä paineaalto ja maaperässä etenevä shokkiaalto
- polttovaikutus
- alkusäteily
- sähkömagneettinen pulssi
- välähdyssokeus ja silmävammat.

Lisäksi syntyy räjähdyksessä muodostuneista radioaktiivisista aineista johtuvia viivästyneitä vaikutuksia.

Eri vaikutusten suuruudet ja suuruuksien suhteet riippuvat räjähdyksessä vapautuvan energian kokonaismäärästä eli puhekielisemmin aseiden tehosta sekä räjähtyskorkeudesta, säästä, maanpinnan muodoista ja muista ympäristötekijöistä. Ydinräjähteen teknisillä toteutuksella tai sen muilla ominaisuuksilla kuin teholla ei ole vaikutusta tässä tarkastelussa.

Painevaikutus

Ydinaseen painevaikutus poikkeaa konventionaalisista räjähdysistä paineaallon pitkän keston ja siihen liittyvän voimakkaan räjähdystuulen vuoksi. Ylipainevaiheen pitkän keston takia pienempi ylipaine riittää aiheuttamaan vaurioita, vammoja ja kuolemia. Räjähdystuulen aiheuttama kuormitus taas vaurioittaa suhteellisen helposti myös konventionaalisten räjähdysten painevaikutukselle vastustuskykyisiä rakenteita, kuten mastoja, antennoja ja teräsrunkoisia rakennuksia, sekä metsiä.

Tästä huolimatta ydinaseenkin painevaikutuksen aiheuttamat kuolemat seuraavat enimmäkseen epäsuorista vaikutuksista, kuten kaatumisista, lentämisistä ja iskeytymisistä, paineaallon lennättämien kappaleiden iskeymistä ja rakennusten sortumisista. Varsinaiselta ylipaineelta suojautuminen on vaikeaa, sillä se kiertää esteet ja tunkeutuu rakennuksiin, mutta kaikenlainen suoja, esimerkiksi maahan heittäytyminen, poterot ja painevaikutuksen kestävät rakenteet, auttavat epäsuoria vaikutuksia vastaan.

Räjähdyn painevaikutus kytkeytyy myös maaperään aiheuttaen siinä etenevän shokkiaallon, ”järityksen”. Jos ydinase räjäytetään selvästi maanpinnan yläpuolella, on kytkeytyminen maaperään heikkoa, mutta maanpäällinen paineaalto voimistuu Machin heijastuksen seurauksena. Kytkeytyminen maaperään vahvistuu selvästi, jos ase räjähtää maanpinnassa, ja edelleen, jos ydinräjähdys on tunkeutunut edes metrejä maanpinnan alapuolelle, mutta tällöin maanpäällinen vaikutus heikkenee. Maanpintaan tunkeutuneen ydinaseen vaikutus voi kovassakin kivessä ulottua satojen metrien syvyyteen.

Polttovaikutus

Ydinräjähdyn tulipallon lähettämä lämpösäteily aiheuttaa palovammoja ja vaurioittaa materiaaleja sekä niiden pinnoitteita. Se voi sytyttää tuleen kuivat, ohuet tai huoikoiset materiaalit, kuten paperin, tekstiilit ja kuivan kasvilisuuden. Kevytkin läpinäkyvät rakenne tai vaate suojaa lämpösäteilyltä. Polttovaikutusta viiveellä seuraava paineaalto sammuttaa osan lämpösäteilyn sytyttämistä tulipaloista, mutta rakennetulla alueella se myös synnyttää tulipaloja esimerkiksi rakennusten ja sähkölaitteiden vaurioitumisten seurauksena. Sopivissa olosuhteissa tulipalot saattavat yhdistyä laajaksi tulimyrskyksi, jonka alueella muilta vaikutuksilta suojassa olleet voivat kuolla hapenpuutteeseen, häkään ja lämpöön.

Polttovaikutus on erityisen riippuvainen sää- ja ympäristöoloista. Maassa oleva lumi tai räjähdyn yläpuolella oleva yläpilvi heijastaa lämpösäteilyä ja lisää polttovaikutusta. Maaston peitteisyys, huono näkyvyys ja räjähdyskorkeuden alapuolella sijaitsevat pilvet puolestaan vaimentavat vaikutusta. Kosteaa maastoa ei syty helposti. Lämpösäteily kuitenkin vaikuttaa rakennusten sisälle ikkunoiden kautta, joten rakennukset voivat syttyä myös märällä kelillä.

	1 kt	50 kt	1000 kt
Polttovaikutus: 3. asteen palovammoja paljaalle iholle	0,6 km	3,7 km	13 km
Paine: laajaa tuhoa rakennetussa ympäristössä	0,5 km	2,0 km	5,5 km
Alkusäteily: viiveellä säteily sairauten tappava säteilyannos	0,8 km	1,6 km	2,3 km

Esimerkkejä välittömien vaikutusten kantamasta tasaisessa avoimessa maastossa selkeänä kesäpäivänä erityisen pienitehoisille taktisille ydinaseille (1 kt), tyypillisemmille taktisille ydinaseille (50 kt) ja tehokkaimmille nykyisille strategisille ydinaseille (1000 kt).

Välähdyssokeus ja silmävammat

Ydinräjähdysten kirkas valo ja lämpösäteily voivat aiheuttaa väliaikaista välähdyssokeutta ja pysyviä näkövammoja. Myös optiset laitteet saattavat vaurioitua. Välähdyssokeus aiheuttaa sekunneista minuutteihin kestävästä käyttökelpoisen näkökyvyn menetyksen, mutta palautuminen on lopulta täydellistä. Välähdyssokeus voi syntyä myös sironneesta tai heijastuneesta valosta ja on siten mahdollinen riippumatta katseen suunnasta tai suoran näköyhteyden puutteesta. Pysyviä silmävaurioita voi syntyä henkilön katsoessa suoraan räjähdykseen.

Kirkkaalla ilmalla välähdyssokeus ja silmävammat ovat mahdollisia kymmenien kilometrien päässä pienestäkin ydinräjähdyksestä. Vaikutukset ovat voimakkaampia yöllä silmien pupillien ollessa laajentuneet. Sää- ja ympäristöolosuhteet vaikuttavat pääpiirteissään kuten polttovaikutuksessakin, mutta varsinkin Suomen pimeinä talvina lumipeitteen merkitys välähdyssokeutta lisäävänä tekijänä korostuu.

Alkusäteily

Ensimmäisen minuutin aikana räjähdyspaikalta vapautuvaa gamma- ja neutronisäteilyä kutsutaan alkusäteilyksi. Alkusäteilyn vaikutusetäisyyksiä rajoittaa sen absorboituminen ilmaan, ja säteilyvaikutus heikkeneekin etäisyyden kasvaessa nopeammin kuin paine- ja lämpövaikutukset. Toisaalta ionisoivan säteilyn tappavaan vaikutukseen riittää pienempi energiamäärä.

Näiden seurauksena alkusäteilyn vaikutusetäisyys riippuu poltto- ja painevaikutuksia vähemmän aseiden tehosta, ja sen merkitys korostuu pienitehoisissa ydinaseissa, joissa se voi olla pisimmälle tappava vaikutus. Jo 0,02 kt:n ydinräjähdys (pienitehoisin koskaan julkisten lähteiden perusteella rakennettu ydinase) aiheuttaisi suojautumattomalle henkilölle tappavan säteilyannoksen yli 400 metrin etäisyydellä. Alkusäteily vaurioittaa myös elektronisia laitteita useiden eri mekanismien kautta. Erityisesti mikropiirit ja muut puolijohdekomponentit voivat olla herkkiä säteilylle ja häiriintyä tai vaurioitua jo sellaisista säteilyannoksista, joiden vaikutukset ihmiseen ovat vähäiset.

Säteilyvaikutus ei juurikaan riipu säästä, mutta ympäristön esteet suojaavat siltä. Jokainen 15 cm betonia tai vastaava massa mitä tahansa ainetta pysäyttää puolet jäljellä olevasta gammasäteilystä. Neutronisäteily on läpitunkevampaa, mutta vaimenee sekin esteisiin. Elektroniikka voidaan suunnitella sietämään ja kestävämpään säteilyn vaikutuksia.

Sähkömagneettinen pulssi

Sähkömagneettinen pulssi yhdistetään yleensä ylilmakehässä tai avaruudessa tapahtuviin ydinräjähdyskseen. Kuitenkin myös matalammalla tapahtuvat ydinräjähdykset tuottavat sähkömagneettisen pulssin, vaikka sen vaikutusalue jääkin tällöin paikalliseksi. Sähkömagneettinen pulssi ei vahingoita ihmisiä, mutta voi häiritä tai vaurioittaa sähkölaitteita ja aiheuttaa tätä kautta myös tulipaloja.

Alailmakehän ydinräjähdyksessä syntyvän pulssin voimakkuus ja kantama riippuvat aseiden tehosta vain heikosti. Lähellä räjähdyspistettä paikallinen pulssi on erittäin voimakas, mutta se vaimenee useimpien laitteiden kannalta merkityksettömäksi joidenkin kilometrien matkalla. Pulsista vaikutusalueelle kulkeviin johtimiin, kuten sähköjohtoihin, indusoituneet häiriöt voivat kuitenkin olla hyvin voimakkaita ja kulkea johtimia pitkin jopa kymmenien kilometrien etäisyydelle räjähdyspisteestä ja uhata esimerkiksi sähköverkkoon kytkettyjä laitteita ja verkkoa itseään. Laajan taajuusspektrin vuoksi ydinaseen tuottama pulssi voi kytkeytyä myös maanalaisiin johtimiin.

Viivästyneet vaikutukset

Ydinräjähdysten viivästyneet vaikutukset johtuvat räjähdyksessä syntyvästä radioaktiivisuudesta. Arkikielessä puhutaan yleensä vain laskeumasta, mutta tarkemmin on syytä erottaa kolme erillistä ilmiötä:

- aktivoituminen
- kaukolaskeuma
- lähilaskuma.

Aktivoituminen tarkoittaa neutronisäteilyä johtuvaa räjähdyspaikkaa ympäröivän alueen maaperän ja muiden sillä sijaitsevien materiaalien muuttumista radioaktiivisiksi.

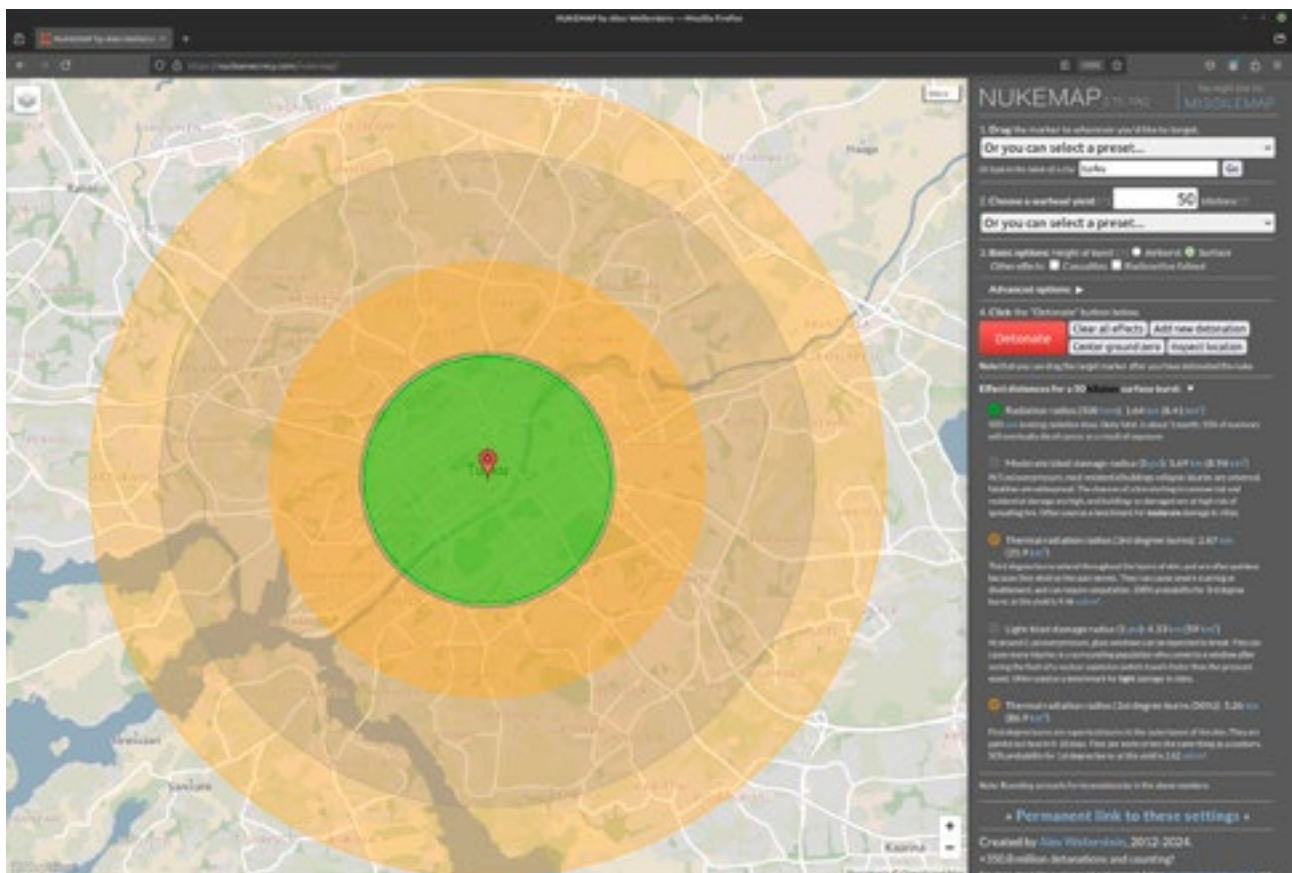
Kaukolaskeuma koostuu pienistä radioaktiivisista hiukkasista, jotka nousevat räjähdysen lämmön mukana yläilmakehään ja laskeutuvat alas maailmanlaajuisesti viikkojen ja vuosien aikana lähinnä sateiden mukana. Kylmän sodan aikaisten ydinkokeiden aiheuttamaa kaukolaskeumaa voidaan pitää kansanterveydellisesti merkittävänä. Kuitenkin jos ydinaseita alettaisiin käyttämään sodassa, olisi kaukolaskeuman merkitys häviävän pieni sodan muihin vaaroihin verrattuna, eikä sitä ole tarpeen huomioida sotilaallisessa toiminnassa.

Lähilaskeuma muodostuu suuremmista hiukkasista, jotka laskeutuvat painovoiman vaikutuksesta räjähdyspaikan läheisyyteen tai myörituuleen siitä. Mahdollinen lähilaskeuma muodostuu ensimmäisen vuorokauden aikana räjähdyksestä ja voi olla suojautumattomille tappava kymmenien kilometrien etäisyydelle. Heikommät vaikutukset ulottuvat monin verroin kauemmas. Sääolot vaikuttavat voimakkaasti laskeuma-alueen kokoon ja muotoon. Muodostuttuaan lähilaskeuma vaimenee noin tekijällä kymmenen aina räjähdyksestä kuluneen ajan seitsenkertaistuessa. Suurin osa

lähilaskeuman tuottamasta säteilyannoksesta kertyy ensimmäisten tuntien ja päivien aikana, joten lyhytaikainenkin suojautuminen tai suojaväistö vähentää annoksen murto-osaan. Laskeuma-alue ei myöskään ole pysyvästi käyttökeltoton ainakaan sotilaallisen toiminnan kannalta.

Lähilaskeuma muodostuu vain, jos ydinräjähdys tapahtuu niin lähellä maanpintaa, että räjähdyksessä muodostuneisiin radioaktiivisiin aineisiin sekoittuu suuri määrä materiaalia maanpinnasta. Jos ydinase räjäytetään tarpeeksi korkealla, lähilaskeumaa ei muodostu. Tällainen niin sanottu ilmaräjähtys on lähtökohtaisesti tehokkain tapa vaikuttaa ydinaseen paine-, poltto- ja alkusäteilyvaikutuksilla laajaan alueeseen maanpinnalle. Jos räjähdyspaikan lähistöllä sataa, voi sade huuhtoa alas merkittävää laskeumaa myös ilmaräjähdyksestä. Lisäksi ilmaräjähdyskin voi tuottaa aktivoitumista. Nämä ovat kuitenkin varsinaista lähilaskeumaa paljon heikompia ja pienemmälle alueelle rajoittuvia mekanismeja.

Kaikissa viivästyneissä vaikutuksissa korostuu ulkoinen säteily, ja esimerkiksi kellarit, betonirakennukset, poterot ja



Internetistä löytyvällä NUKEMAP-ohjelmalla voi havainnollistaa ydinräjähdysen paine-, poltto- ja säteilyvaikutusten kantamia sekä lähilaskeumaa ideaalisoiduissa olosuhteissa. Ohjelma perustuu parhaaseen julkisissa lähteissä saatavissa olevaan tietoon. Todellisuudessa olosuhteiden epäideaalisuuden vaikutukset olisivat kuitenkin suuria. Esimerkiksi Turku ei ole ohjelman olettaa-
 maasta avointa maastoa ainakaan ennen räjähdystä. (Kuva: NUKEMAP by Alex Wellerstein, <https://nuclearsecrecy.com/nukemap/>)

panssaroidut ajoneuvot tarjoavat merkittävää suojaa. Ihon kontaminoitumiselta ja hengitysansannokselta suojaamisen tai suojaamattomuuden vaikutus on toissijainen.

Yhteenveto

Erityisen pienitehoinen taktinen ydinase (1 kt) voi tuottaa laajaa tuhoa noin 500 metrin säteellä, tyypillisempi taktinen ydinase (50 kt) parin kilometrin säteellä ja tehokkaimmat strategiset ydinaseet (1000 kt) useiden kilometrien etäisyydellä. Lievemmat vaikutukset ulottuvat useita kertoja kauemmas. Kaikki vaikutusmekanismit on huomioitava kaiken kokoisille aseille. Pienitehoisissa ydinräjähdyksissä kuitenkin korostuvat alkusäteilyn ja sähkömagneettisen pulssin vaikutukset, kun taas suuritehoisissa korostuu poltovaikutus. Painevaikutus on aina merkittävä.

Ydinaseen käyttö ei automaattisesti tuota sotilaallisen toiminnan kannalta merkittävää laskeumaa, vaan hyökkääjä

voi vaikuttaa tähän räjähdyskorkeuden valinnalla. Jos lähilaskeuma muodostuu, se voi olla potentiaalisesti tappava kymmenien kilometrien etäisyydellä, mutta vaimenee nopeasti. Ydinräjähdysten vaikutuksilta voi suojautua pääpiirteissään samoilla keinoilla kuin muiltakin aseilta. Lähelle osunut ydinase tappaa hyvinkin suojautuneen, mutta sama pätee myös konventionaalisiin aseisiin. Ydinräjähdysten mittakaava on suurempi, mutta edelleen suurin osa vaikutusalueesta on sellaista, että suoja vaikuttaa selviytymiseen.

Tässä esitetty tarkastelu on yksinkertaistettu. Ydinräjähdysten ja -aseen lukuisten vaikutusmekanismien ja niihin vaikuttavien tekijöiden moninaisuuden takia syvällisempi tieteellinen tarkastelu vaatii hyvin monitieteellistä lähestymistä. Kyse ei siis ole pelkästä ”ydinfysiikasta”, vaan jo fyysisten vaikutusten osalta vaaditaan osaamista useilta fysiikan ja tekniikan aloilta ja lisäksi esimerkiksi ilmatieteestä, lääketieteestä ja elektronikasta. Laajemmassa tarkastelussa mukana ovat vielä ydinaseen psykologiset, yhteiskunnalliset ja poliittiset vaikutukset.

Kirjoittaja:

Tekniikan tohtori Aarno Isotalo toimii erikoistutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen räjähd- ja suojelutekniikkaosastossa joukkotuhuosevaikutukset-tutkimusalalla.

Vedenalaisten räjäytysten painevai- kutusten vaimennus kuplaverholla



TNT-pallot ja sytytysvälineet. (Kuva: Joni Hakkarainen)

Kuplaverhotutkimuksen tilaajana oli Maavoimien eskunta (MAAVE), ja tutkimus käynnistyi 2022. Tutkimuksen toteuttajat olivat Karjalan Prikaatin raivaamisen valmiussektori (KARPR/RVS) ja Puolustusvoimien tutkimuslaitos (PVTUTKL). Kuplaverhotutkimuksen tarkoituksena oli osoittaa, että vedenalaisen räjähdysen tuho-vaikutusta voidaan pienentää veden alle muodostettavan ilmaverhon avulla. Tutkimus liittyy Maavoimien vedenalaisen operoinnin suorituskyvyn kehittämiseen, ja tutkimuksesta saatuja tuloksia voidaan hyödyntää yhteiskunnan infrastruktuurin suojaamiseen (esim. satama-alueet, siltapilarit) sekä raivaajien turvallisuuden parantamiseen. Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa perehdyttiin vedenalaisia räjähdysä kuvaaviin fysikaalisiin malleihin sekä toteutettiin PVTUTKL:n Lakialan toimipisteessä sijaitsevassa tutkimusaltaassa pienen mittakaavan räjäytyskokeita. Toisessa vaiheessa räjäytyskokeet skaalattiin todellista käyttötilannetta vastaavaan suuruusluokkaan ja kokeet suoritettiin järviympäristössä.

Vedenalainen räjäytys

Veden alla tapahtuva räjäytys poikkeaa ilmaräjäytyksestä merkittävästi. Vesi on käytännössä kokoon puristumaton väliaine, minkä vuoksi vedenalainen räjähdysvaikutus välittyy vedenalaisiin kohteisiin voimakkaana. Vedenalaista räjähdysvaikutusta voidaan vaimentaa johtamalla paineilmaa veden alla oleviin, räjähdystä tai suojattavaa kohdetta ympäröiviin putkistoihin. Kuplanmuodostusputkistoissa on joko rei'itykset tai eräänlaiset suuttimet, joiden avulla veden alle saadaan muodostettua yhtenäinen ilmavana eli kuplaverho. Räjäytyspaineen vaimentamisella voidaan suojata räjähdysten lähellä olevia vedenalaisia rakenteita sekä suojella vedessä olevia sukeltajia.

Veden alla joudutaan toteuttamaan räjäytyksiä useasta erisyystä. Siviilipuolella veden alla tehdään räjäytystöitä, kun suoritetaan vedenalaista louhintaa esimerkiksi rakennettaessa merituulivoimalaitoksia. Sotilaallinen vedenalainen räjäy-

tystoiminta sisältää esimerkiksi erilaisten veden alla käytettäväksi tarkoitettujen tuotteiden koetoiminnan sekä erilaisten vedenalaisten räjähteiden raivaamisen.

Merisodankäynnissä erilaiset merimiinat ovat merkittävässä roolissa. Merimiinoja on monenlaisia, muun muassa kosketusmiina sekä herätemiina. Kosketusmiina ankkuroidaan merenpohjaan ja syvytetään hieman veden pinnan alapuolelle. Kosketusmiina räjähtää laivan osuessa siihen. Herätemiina ei vaadi kosketusta aluksesta, vaan se reagoi aluksen aiheuttamaan esimerkiksi akustiseen tai magneettiseen herätteeseen ja räjähtää tiettyjen ehtojen toteutuessa. Suomen merialueiden pohjissa on toisen maailmansodan jäljiltä edelleen paljon merimiinoja. Mikäli merenpohjaan asennetaan esimerkiksi merikaapeleita tai kaasuputkia, tulee vanhat merimiinat raivata pois näiltä alueilta. Miinoja ei tavallisesti voida siirtää, vaan ne raivataan niille sijoilleen. Mikäli raivattavan miinan lähellä on herkästi vaurioituvaa infrastruktuuria, voidaan merimiinan räjäytyksestä aiheutuva räjähdysvaikutusta vaimentaa kuplaverhon avulla. Kuplaverhoa käytettiin juuri tähän tarkoitukseen esimerkiksi Nord Stream 2 -kaasuputken rakennustöiden aikana.

Ensimmäinen vaihe – fysikaaliset mallit ja pienen mittakaavan kokeet

Ensimmäisen vaiheen koetoiminnassa tavoitteena oli verrata fysikaalisia malleja pienen mittakaavan räjäytyskokeiden tuloksiin ja todentaa käytössä olevan mittauskaluston soveltuvuus kyseisiin mittauksiin. Ensimmäisen vaiheen koetointa suoritettiin elokuussa 2022 PVTUTKL:n Lakialan koekentällä.

Kuplitusputkisto rakennettiin 32 mm:n vesijohtoputkesta sekä tarvittavista messinkisistä liittimistä. Kuplitusputkisto muodostui kolmesta sisäkkäisestä kehästä, joiden halkai-

sijat olivat 1,20 metriä, 1,5 metriä ja 1,8 metriä. Putkiin porattiin 0,5 mm:n reiät kahteen riviin. Rivit olivat noin 90 asteen kulmassa toisiinsa nähden. Reikien etäisyys toisistaan oli noin 3 mm. Karkean laskelman perusteella reikien lukumäärä oli siten noin 9 000. Altaan pohjaan asennettiin puinen ristikko, johon kuplitusputket kiinnitettiin. Jokaiselle kuplitusputkiston kehälle oli oma syöttölinjansa, jossa oli sulkuventtiili. Näin voitiin valita, millä putkikehällä kulloinkin kuplitettiin. Sulkuventtiilillä voitiin myös kuristaa virtausta ja säätää tällä tavoin haluttu virtaus putkistoon.

Kuplitusputkistoon syötettiin paineilmaa dieselkäyttöisellä Kaeser M80 -rakennuskompressorilla, jonka tehollinen tuotto 10 baarin käyttöpaineella on 113 l/s (6,8 m³/min) ja 7 baarin käyttöpaineella vastaavasti 135 l/s (8,1 m³/min). Kuplitusputkistoon menevää ilmapvirtaa mitattiin AW-LAKE-yrityksen valmistamalla virtausmittarilla tyypiltään G5S5AW25, jonka mittausalue on 0–120 l/s.

Ensimmäisessä vaiheessa koeräjäytyksiä suoritettiin yhteensä 55 kappaletta kolmella eri panoskoolla (1 g, 5 g ja 10 g). Jokaisella panoskoolla mitattiin myös niin sanotun vapaan tilan referenssi eli vaimentamaton painesignaali (kuplitus oli pois päältä). Näitä vapaan tilan referenssejä käytettiin vertailukohtina laskettaessa kuplaverhon vaimennustehoa. Vedenalaisten paineiden mittaamiseen käytettiin kuutta paineanturia. Paineanturit olivat tyypiltään PCB 138A10, turmaliinikiteeseen perustuvia, vedenalaiseen painemittaukseen tarkoitettuja IEPE-antureita.

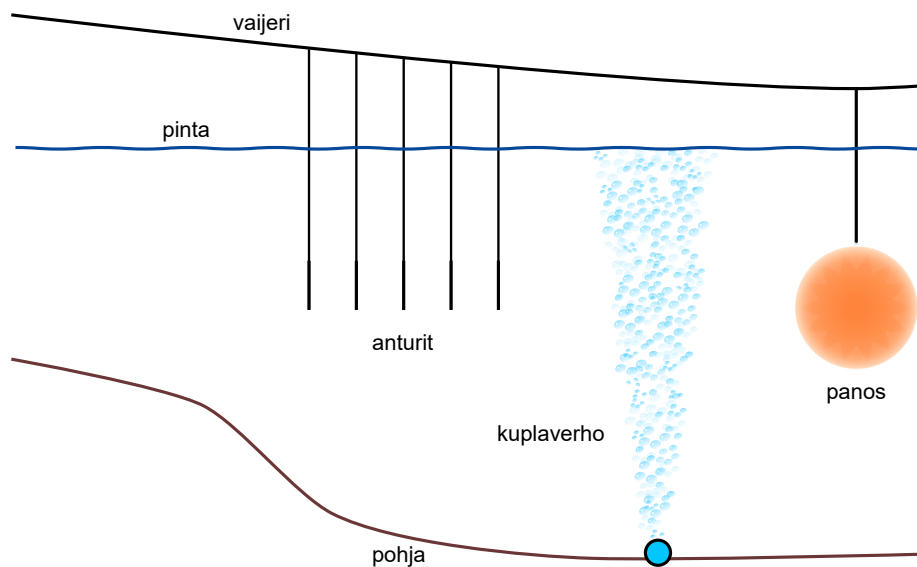
Ensimmäisen vaiheen mittauksissa testattiin kuplaverhoa ensimmäistä kertaa ja tehtiin verhoon ja sen käyttöön liittyviä havaintoja. Vedenalaisilla painemittauksilla todennettiin verhon vaimennustehon olemassaolo ja sen suuruusluokka. Numeeriset tulokset olivat kuitenkin enemmän suuntaa-antavia johtuen pieneen altaaseen ja pieniin panoksiin liittyvis-



PVTUTKL:n Lakialan toimipisteen tutkimusallas. (Kuva: Tapio Kalliohaka)



Paineantureiden kiinnitys vaijeriin. (Kuva: Joni Hakkarainen)



Kaaviokuva mittausjärjestelystä. Ei mittakaavassa. (Grafiikka: Johanna Suominen)

tä muuttujista (mm. skaalautuvuus, heijastukset, pyörteily, ilmiön nopeus vs. mittalaitteet).

Toinen vaihe – todellista käyttötilannetta vastaavat kokeet

Toisen vaiheen tavoitteena oli todentaa kaupallisen kuplaverhon soveltuvuus todellista käyttötilannetta vastaavassa tilanteessa, jossa räjäytettävä panos vastasi tyypillistä veden alla raivattavaa kohdetta. Toisen vaiheen koetoiminta suoritettiin elokuussa 2024 Pahkajärven Niittylammella. Kuplitusputkistona käytettiin kaupallista kanadalaisen Canadian Pond.ca Products Ltd:n valmistamaa putkistoa.

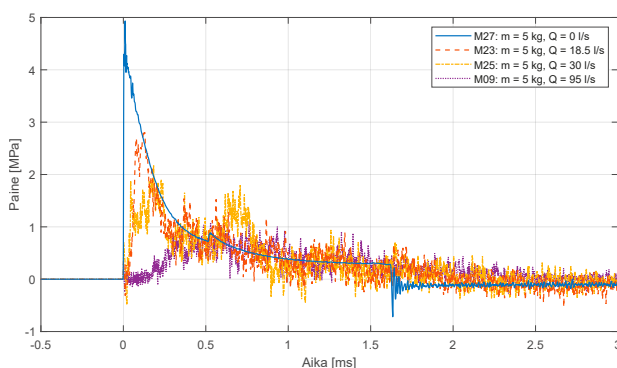
Putki on kaksiosainen, ja varsinaisen kuplitusputken alapuolella on painotusputki, jonka sisällä kulkee teräsvaijeri. Teräsvaijerin avulla putkiston osat voidaan liittää toisiinsa siten, että itse putkitusliitokset eivät kuormitu putkiston asennusvaiheessa. Kuplitusputken halkaisija oli 15 metriä, ja putken pituudeksi saatiin noin 47 metriä. Putkistoa syöttävä

kompressori oli sama, ja sen tuotto riitti vielä syöttämään käytettyä kuplitusputkistoa. Paineen mittauksessa käytetyt anturit olivat samat kuin ensimmäisessä vaiheessa käytetyt, mutta nyt antureiden lukumäärä oli kahdeksan.

Paineantureiden ja panoksen kiinnittämistä varten lammen poikki pingotettiin teräsvaijeri, joka kiinnitettiin rantakallioihin. Räjäytyskohdassa veden syvyys oli noin 16 metriä. Räjähdde oli syvytetty viiteen metriin. Tämä oli riittävä syvyys viiden kilon panokselle estämään pinnan puhkeaminen räjäytyksen yhteydessä, eli räjähdyskaasukuplan halkaisija oli riittävän pieni. Paineenmittausantureiden asennussyvyys oli myös viisi metriä.

Räjäytyspanoksina käytettiin 0,5:n, 2:n ja 5 kg:n TNT-palloja, koska palloilla aikaansaadaan pyörähdysymmetrinen paineaalto ja saavutetaan siten toistettavimmat mittaustulokset. Sytytysvälineinä käytettiin vedenalaisiin räjäytyksiin soveltuvaa impulssiletkusytystä.

Vedenalaisen paineen mittausjärjestelyn asentamisessa oli pieniä käytännön haasteita, mutta räjäytyksissä mittalaitteet toimivat ongelmitta. Kuplaverhon vaimentama vedenalainen paine mitattiin ja tallennettiin. Vertaamalla tuloksia vapaan tilan referensseihin saadaan laskettua kuplaverhon vaimennusteho. Tämän artikkelin kirjoittamishetkellä tulokset on määritetty, mutta projektin loppuraporttia ei ole vielä julkaistu.



Vaimentamaton painekäyrä vs. kuplaverholla vaimennettu paine. (Kuva: Oskari Pekkala)

Johtopäätökset

Kaupallisen kuplitusputken kuplantuotto oli erinomaista. Kuplat olivat pieniä ja kuplaverho tasainen ja vakaa, vaikka pohjassa olikin epätasaisuuksia. Samoin kuplitusputken rakenne mahdollisti sen, että se ei täyttynyt vedellä, vaikka paineilman syöttö välillä katkeaisikin. Kuplitusputken käsiteltävyydessä sen sijaan oli merkittäviä ongelmia. Putki pyrki käsiteltäessä menemään solmuun, ja se oli käytännössä mahdoton laskea pohjaan halutussa muodossa. Putken asennon korjaaminen pohjassa sukeltamalla ei myöskään onnistunut muun muassa putken takertumisen ja haastavien työskentelyolosuhteiden vuoksi. Toisen vaiheen mittauksissa verho

asennettiin lopulta räjähdyspistettä ympäröivän renkaan sijaan räjähdyspisteen ja antureiden väliseen poikittaiseen linjaan. Putki ei myöskään kestänyt korkeita (5 kg:n panosten aiheuttamia) räjähdyspaineita, vaan repesi useammasta pisteestä.

Tämän tutkimuksen tulokset todentavat kuplaverhon vedenalaista räjähdyspainetta vaimentavan tehon, ja tutkimuksella voidaan tuottaa tieteelliset perusteet edellä mainitun vaimennustehon arvioimiseksi. Jotta kuplaverholaitteistosta saadaan kenttäkelpoinen, tulee vielä käytännön haasteet ratkaista.

Kirjoittajat:

Diplomi-insinööri Tapio Kalliohaka toimii erikoistutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen räjähd- ja suojelutekniikkaosastossa räjähddevaikutukset-tutkimusalalla.

Diplomi-insinööri Oskari Pekkala toimii tutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen räjähd- ja suojelutekniikkaosastossa räjähddevaikutukset-tutkimusalalla.

Uudet häivemateriaalit



Vaaleakin lentävä kohde näyttää tummalta taivastaustaa vasten. Kuvassa Orbiter-lennokki. (Kuva: Ville Multanen/Puolustusvoimat)

Materiaaliteknologian kehittymisen myötä naamiomateriaaleille on luotu uusia toiminnallisuuksia. Naamiomateriaalien ominaisuuksia voidaan säätää vastaamaan entistä paremmin vaihtelevan taustan herätettä. Tavoitteena on luoda jopa erilaisiin toimintaympäristöihin mukautuva suojautuminen.

Näkyvän valon alueella uudet teknologiat voidaan jakaa valoa heijastaviin ja valoa tuottaviin ratkaisuihin. Naamiomateriaalien kykyä heijastaa ulkopuolisesta lähteestä tulevaa valoa voidaan muuntaa vastaamaan taustan heijastusominaisuuksia. Valoa tuottavat naamiomateriaalit mahdollistavat suuremman herätteen säätelyvälin kuin valoa heijastavat, mutta aktiivinen valon tuotto vaatii toimiakseen jatkuvaa sähkövirtaa.

Naamiomateriaalien heijastuskäyttäytymistä säätelevät tekniikat voidaan jakaa muutoksen aiheuttavan mekanismin perusteella. Elektroforeettisten ja elektrokromisten pintojen heijastusominaisuuksia muutetaan sähkökentän avulla, ja termokromisten pintojen ominaisuudet vaihtuvat lämpötilamuutosten vaikutuksesta.

Elektroforeettiset pinnat

Elektroforeettisen pinnan värinvaihto vaatii vain vähän sähköenergiaa, ja värimuutos jää pysyväksi seuraavaan muutokseen asti. Teknologia on tuttu sähköisten kirjanlukulaitteiden näytöistä eli E-paperista. Myös autoteollisuus on esitellyt autoja, joiden pintaväriä voidaan vaihtaa tällä menetelmällä. Toteutettavissa oleva väriskaala on laaja. Elektroforeettisten pintojen värimuutos tapahtuu sekunneissa, mikä on riittävä muutosnopeus häivetekniikan sovelluksissa.

Elektrokromiset pinnat

Elektrokromisten pintojen optisia ominaisuuksia muutetaan sähkökentän avulla. Värin tuotto voi tapahtua esimerkiksi päällekkäin pinottujen eriväristen elektrokromisten kerrosten avulla. Teknologian hyödynnettävyyden haasteena on toistaiseksi ollut se, että saatavissa olevien pintojen väriskaala on pieni.

Termokromiset pinnat

Termokromisten pintojen avulla voidaan toteuttaa näkyvän valon alueen adaptiivista suojautumista pinnan lämpötilaa

muuttamalla. Termokromisen pinnan värin muuttuminen lämpötilamuutoksen vaikutuksesta voi perustua nestekiteisiin tai leukoväriaineisiin. Teknologian hyödyntämisen haasteena on värimuutoksiin tarvittavien lämpötilojen aikaan saaminen lämmitys- ja jäähdytyselementeillä. Erityisesti lämmitetyn pinnan jäädyttäminen kustannustehokkaasti on hankala toteuttaa. Sähköenergian tarve riippuu ympäristön lämpötilasta.

LED-häivetekniikka

LED-pintoja voidaan hyödyntää etenkin lentävien laitteiden häivetekniikassa. Pintaväriältään valkoinenkin lentolaite voi näyttää mustalta pilvettömällä taivaalla. Ilmiön voi havaita tarkkailemalla esimerkiksi lentäviä lokkeja. Idea valojen käytöstä lentolaitteiden havaittavuuden vähentämisessä juontaa juurensa jo toiseen maailmansotaan ja Yehudi-valoihin. Lentokoneen siipien johtoreunoihin kiinnitettyjen lamppujen avulla pyrittiin heikentämään lentokoneiden havaittavuutta, jolloin vastustajan sukellusveneille jäi lyhyempi varoitusaika reagoida lähestyvään uhkaan.

Heijastavien pintojen avulla ei voida saavuttaa taivastaustan kirkkautta. Lentävät laitteet voivat heijastaa auringon valoa, taivaan sineä ja maasta heijastunutta valoa. Etenkin pohjan valaistus voi riippua pääasiassa maasta heijastuneesta valosta. Tällöin maasta tähytettäessä lentolaitteen kirkkaus ei voi ilman lisävalaistusta vastata taivaan kirkkautta. LED-pintojen kirkkaus voidaan säätää olosuhteisiin sopivaksi taivastaustaa mittaavan valoanturin avulla.

Yhteenveto

Uhkajärjestelmien kehittyessä myös niiltä suojautumiseen on etsitty uusia teknologioita. Taustaansa täydellisesti sulautuvia naamiojärjestelmiä ei ole vielä kehitetty, mutta ratkaisuja adaptiivisten pintojen toteuttamiseen on olemassa. Teknologioiden laaja käyttöönotto edellyttää kuitenkin vielä tuotekehitystä.



Elektroforeettisen pinnan väri vaihtuu väripigmenttien liikkuaessa sähkökentän vaikutuksesta. (Grafiikka: Ilkka Rajakallio)



Termokrominen pinta vaihtaa väriä lämpötilan muutoksen seurauksena. Esimerkiksi kun pintaa painetaan hetken aikaa lämpimällä kämmenellä, jälki jää näkyviin erivärisenä. (Grafiikka: Ilkka Rajakallio ja Johanna Suominen)

Kirjoittajat:

Diplomi-insinööri Ilkka Rajakallio toimii vanhempana tutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen asetekniikkaosastossa häivetekniikka-tutkimusosastolla.

Filosofian maisteri Pasi Salonen toimii vanhempana tutkijana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen asetekniikkaosastossa häivetekniikka-tutkimusosastolla.

Mikrolennokkien maavoimallinen tutkimus ja suorituskyvyn kehittäminen osaksi joukkotuotantoa



Valmistajien ilmoittamien ominaisuuksien paikkansapitävyys testattiin ennen hankintoja. (Kuva: Ville Nousiainen)

Puolustusvoimat on käyttänyt erilaisia lennokkijärjestelmiä jo vuosikausia maali- ja tiedustelutoiminnassa. Ukrainan sodan myötä taistelukentillä käytettävien lennokkien määrä on kasvanut räjähdysmäisesti samalla, kun lennokeille on määritetty uusia tehtäviä. Järjestelmiä käytetään monikerroksisesti, ja kiinteäsiipisillä lennokeilla sekä nelikoptereilla on kullakin omat roolinsa. Viimeisimmän viiden vuoden aikana Puolustusvoimien lennokkijärjestelmien tutkimuksella on ollut täysi työ pysyä innovaatioiden mukana, kun uutta mikrolennokisuorituskykyä on kehitetty. Tämä artikkeli kertoo tehdystä tutkimuksesta ja niistä kehittämistoimenpiteistä, joiden avulla uusi lennokkisuorituskyky toteutettiin ja otettiin käyttöön Maavoimien joukkotuotannossa.

Maavoimien ensimmäinen minilennokkijärjestelmä otettiin käyttöön vuonna 2014. Järjestelmä oli Israelista hankittu

kiinteäsiipinen Orbiter 2b, jonka ensisijaisiksi käyttäjiksi suunniteltiin pataljoonia ja taisteluosastoja ja käyttökohteiksi tiedustelu-, aluevalvonta- ja tulenjohtotehtäviä. Minilennokkijärjestelmän käyttöönoton jälkeen Maavoimia alkoivat kiinnostaa myös mikrolennokit, kun kaupallisille markkinoille ilmaantui aiempaa selvästi laadukkaampia ja sotilaalliseen käyttöön paremmin soveltuvia nelikoptereita.

Maavoimien tutkimuskeskus sai vuonna 2015 tehtäväkseen kartoittaa ja tutkia kaupallisesti saatavilla olevien mikrolennokkijärjestelmien käytettävyyttä tiedustelusensoreina. Markkinakartoituksen avulla selvitettiin muun muassa eri kokoluokkaa olevien laitteiden saatavuus ja hinnat. Tarkemman tarkastelun kohteeksi valikoitui kaupallisilla markkinoilla jo lähes dominantin aseman saavuttanut kiinalaisvalmisteen nelikopteri.

Esitutkimuksella kartutettiin ymmärrystä mikrolennokki-järjestelmien teknisistä ominaisuuksista ja toisaalta lisättiin muun muassa lennätukseen ja sotilasilmailumääräyksiin liittyvää osaamista.

Ensihavainnot olivat yleisesti ottaen positiivisia, mutta nopeasti kävi myös ilmi, että testatulla kaupallisella mikrolennokilla oli rajoituksensa eikä järjestelmä ollut valmis laajamittaiseen sotilaskäyttöön. Tämän jälkeen mikrolennokkien tutkimustoiminta hiljeni, eikä lisätutkimuksia tehty pariin vuoteen.

Ideoinnin kautta vaatimusmäärittelyyn

Samalla, kun nelikoptereiden saatavuus parani ja käyttö laajeni niin siviili- kuin sotilaskäytössäkin, käynnistettiin vuonna 2019 ensimmäinen mikrolennokkihanke. Hankkeessa ostettiin erä kaupallisia nelikoptereita joukkojen käyttöön. Laitteiden avulla oli tarkoitus kerätä ideoita ja kokemuksia mahdollisista sotilaallisista käyttökohteista. Tätä tehtävää varten kerättiin maanlaajuisesti eri joukko-osastoista kourallinen henkilökuntaa, jolle pidettiin kolme erillistä mikrolennokkien koulutustapahtumaa Maavoimien tutkimuskeskuksessa Haminassa.

Vuonna 2021 mikrolennokkien tutkimustoiminta muuttui suunnitelmalliseksi tutkimustehtäväksi, jossa tutkimuskohteenä oli reilun kymmenen lentolaitteen testisarja.

Testisarjan laitevalintojen perustana oli oletettu käyttäjä, noin joukkueen kokoinen joukko. Puolet testisarjan laitteista oli siviilikäyttöön (COTS, Commercial Off The Shelf) ja puolet sotilaskäyttöön suunniteltuja nelikoptereita. Vertailun vuoksi sarjaan otettiin mukaan yksi lentolaitte, joka oli kaikkia muita laitteita kertaluokkaa suurempi.

Mikrolennokkeja testattiin jääkärikomppanian harjoituksissa, joiden aikana tutkijat keräsivät havaintoja käyttökohteista, käyttötavoista ja soveltuvuudesta. Lisäksi tutkijat keräsivät yksityiskohtaista tietoa esimerkiksi seuraavista teknisistä ominaisuuksista:

- akun kesto ja lentoaika
- latausaika
- erilaisten sääolosuhteiden vaikutus lentotoimintaan
- lento-ohjaimet ja niiden toiminnallisuudet
- ohjausyhteydet
- telemetriatietojen siirto ja salaus
- ohjelmistojen päivityssykli
- mekaaninen huollettavuus
- kiinnitettävät sensorit
- lentotoiminnan rajoitteet.

Lennätystestit tehtiin kaikille lentolaitteille samalla tavalla. Kutakin yksittäistä testiä varten oli luotu testitapaus, joka sisälsi testiskenaarion ja tutkittavat suureet. Testien perusteella havaittiin muun muassa, että kaupalliset mikrolennokit eivät juurikaan kestäneet pakkasta ja niistä parhaatkin vaativat toimiakseen vähintään 0–5 asteen lämpötilan. Kehitys tällä saralla on kuitenkin ollut nopeaa, ja esimerkiksi parhaat COTS-mikrolennokit on nykyään luokiteltu IP-tasolle 53 ja niiden pakkaskestävyyskin lähentelee jo -10 astetta celsiusta.

Testisarjalla oli lopulta suuri merkitys. Kenttäkokeiden avulla saatiin syvälinen ymmärrys siitä, minkälaisia sotilaalliseen käyttöön hankittavien mikrolennokkien tulisi olla, jotta ne soveltuvat käyttäjäjoukolle käskettyjen tehtävien suorittamiseen ja kulkevat joukon mukana.

Lennokkijärjestelmähanke

Laitteiden kenttätestauksen ja vaatimusmäärittelyn jälkeen käynnistyi sotilaallisen suorituskyvyn hankintaan tähtäävä lennokkijärjestelmähanke tarjouskilpailuineen. Tutkijoiden yllätykseksi julkisessa tarjouskilpailussa tarjottiin lopulta useita eri lentolaitteita kuin mitä testisarjassa oli ollut mukana. Suorituskyky ja teknologiat olivat todellakin nopean kehityksen alla!

Tarjotuista laitteista saatiin toimitusnäytteet, joiden avulla testattiin ja todennettiin valmistajien ilmoittamien ominaisuuksien paikkansapitävyys. Testaus osoittautui hyödylliseksi, koska osa laitteista ei käytännössä kyennyt luvattuihin suoritusarvoihin.

Hankekokonaisuuteen kuului DOTMLFPI-ajattelun (doctrine, organisation, training, material, leadership, personnel, facilities, interoperability) mukaisesti monta muutaakin osa-aluetta kuin pelkkä hankinta. Esimerkiksi yhdessä Ilmavoimien kanssa aloitettiin hankinnan rinnalla koulutusohjelman suunnittelu. Ohjelman tavoitteena oli tuottaa koulutusmateriaali ja valmius käynnistää henkilökunnan ja varusmiesten lennättäjäkoulutus joukko-osastoissa.

Käyttöönotto

Keväällä 2022 järjestettiin ensimmäinen lennättäjäkoulutuksen pilottikurssi Haminassa. Kurssille osallistui yksi henkilökunnan edustaja yhdessä kolmen varusmiehen kanssa. Pilottikurssin tarkoituksena oli testata koulutusohjelman toimivuutta ja saada palautetta sen kehittämiseksi sekä kouluttaa ensimmäiset lennättäjät. Tutkimuksellisesti oli myös kiinnostavaa nähdä, kykenevätkö varusmiehet oppimaan ja omaksumaan lyhyellä kolmen päivän kurssilla kaikki ne tiedot ja taidot, joita mikrolennokin itsenäiseen lennättämiseen tarvitaan.



Joukko-osastojen oma henkilökunta järjesti koulutuksen varusmiehille. (Kuva: Ville Nousiainen)

Lennoikkijärjestelmähankkeen tuottamat ensimmäiset lentolaitteet saapuivat helmikuussa 2023. Hankittu mikrolennokki oli malliltaan Parrot ANAFI USA, jonka muun muassa Yhdysvaltojen viranomaiset olivat jo aiemmin ottaneet käyttöönsä. Lentolaitteiden vastaanottoa seurasi henkilökunnan koulutus. Siinä koulutettiin joukko-osastoihin mikrolennokkien karkiosaat, joiden tehtävänä oli jalkauttaa koulutus. Ensimmäiset joukkotuotannon mukaiset varusmieskoulutukset alkoivat syksyllä 2023. Vuonna 2024 varusmieskoulutusta on jatkettu ja laajennettu, ja seuraavana tavoitteena on saattaa koulutus myös reservin kertausharjoituksiin.

Ensi kokemukset mikrolennokkilennättäjien joukkotuotannosta ovat olleet positiivisia. Koulutukseen valituilla varusmiehillä ei tavallisesti ole ollut aiempaa lennätyskokemusta siviilistä, eikä sellaista ole myöskään edellytetty. Koulutukseen on lisäksi voinut tulla valituksi sotilasarvosta riippumatta. Koulutetut varusmiehet ovat olleet nopeita oppimaan ja ideoimaan käyttötapoja, joilla voidaan tukea joukolle kaskettyjen tehtävien toteuttamista.

Jatkotutkimus

Mikrolennokkien maavoimalliset käyttökohteet, taktiikka ja taisteluteknikka kehittyvät ripeällä syklillä. Tähän vaikuttavat toistaiseksi sekä tekniikan kehittyminen että Ukrainan sota, jossa erilaiset lennokit, tiedustelujärjestelmät, elektronisen sodankäynnin järjestelmät ja asejärjestelmät sekä sotilaiden yhteistoiminta nivoutuvat saumattomasti yhteen.

Jatkotutkimuksen luonnollisia kohteita ovat myös Ukrainan taistelukentillä nähdyt lukuisat kauko-ohjatut FPV eli First Person View -mikrolennokit sekä vaanivat aseistetut lennokit. Tulevaisuuden tutkimuskohteita ovat lisäksi lennokkien parveilu ja kapean tekoälyn hyödyntäminen osana vaikuttamisen ketjua.

Maavoimien näkökulmasta voidaan olettaa, että miehittämättömien järjestelmien merkitys kasvaa entisestään osana maapuolustusta. Tätä haastetta tutkii jatkossa uusi Maavoimien tutkimuskeskukseen sijoittuva tutkimusala: miehittämättömät järjestelmät.

Kirjoittajat:

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

Majuri Ville Nousiainen toimii lennokitutkijana Maavoimien tutkimuskeskuksessa.

Sotilaan CBRN-suojan tutkimus



Kuva 1. Sotilaspalomies suojavuvussa. (Kuva: Veeti Reunanen/Puolustusvoimat)

CBRN-suojan tutkimuksilla todennetaan, että käytössä olevien ja hankittavien uusien varusteiden suoja on riittävä.

Sotilaan CBRN-suojavarustuksella pyritään estämään monenlaisten erityyppisten aineiden kosketus ja pääsy elimistöön. Tärkein väline CBRN-suojassa on suojanaamari, joka estää aineiden pääsyn hengitykseen, suuhun, silmiin ja kasvojen iholle. Muut suojaruuvit, käsineet, jalkineet ja suojaruuvit, estävät aineiden ihokosketusta.

Lisäksi varusteisiin kuuluvat puhdistukseen tarkoitetut puhdistusaineet sekä ensiavussa käytettävä vastalääkkeen-antolaite. Suojavarustuksen välineitä kehitetään jatkuvasti. Materiaalin elinjaksoa seurataan tutkimuksilla myös Puolustusvoimien tutkimuslaitoksessa.

Miltä suojaruuvilla suojaudutaan?

Kemiallinen, biologinen, radiologinen ja ydinmateriaali vaikuttavat elimistöön hyvin eri tavoilla, mutta materiaalin yhtäläisyyksien vuoksi niiden vaikutukset ovat suurelta osin torjuttavissa yhtäläisillä suojamenetelmillä. Suojalla pyritään välttämään kosketus aineeseen ja estämään aineen pääsy elimistöön. Aine, jolta suojaudutaan, voi olla olomuodoltaan kaasumaista tai nestemäistä tai se voi olla hiukkasina, oli kyseessä sitten kemiallinen taisteluaine, biologinen aine tai säteilevä materiaali. (Kuva 1)

Suojanaamarin merkittävin toiminnallinen komponentti on hengityssuodatin. Nykyisten suodattimien rakenne on var-



Kuva 2. Halkileikkauskuva suojanaamarin suodattimesta, aktiivihiili poistettuna. (Kuva: Timo-Jaakko Toivanen ja Johanna Suominen)

sin vakiintunut, ja se sisältää hiukkassuodattimen ja aktiivihiilestä valmistetun kemiallisen suodattimen (kuva 2).

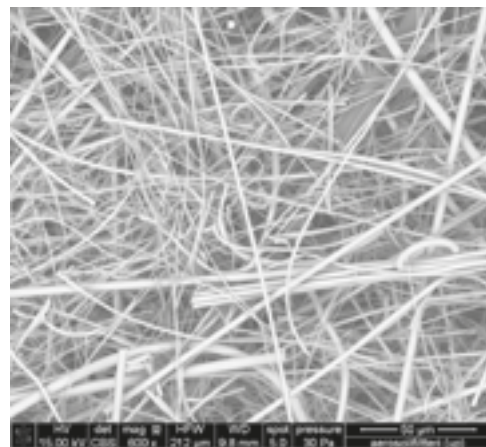
Hiukkassuodattimessa oleva materiaali suodatetaan high efficiency particulate air filter (HEPA) -suodattimella, jolla poistetaan vähintään 99,97 prosenttia kaikista ilmassa olevista partikkeleista. Hiukkassuodattimet luokitellaan lisäksi tehokkuuden mukaan. Tunkeutuvimpina partikkeleina pidetään 0,3 mikronin kokoisia hiukkasia.

Suotautuminen tapahtuu useiden erilaisten fysikaalisten mekanismien avulla, ja tuloksena hiukkaset tarttuvat suodattimen kuituihin (kuva 3). Pienten hiukkasten suotautumisilmiö on diffuusio ja suurempien hiukkasten impaktio ja seulavaikutus (kuva 4).

Kaasumaiset aineet puolestaan läpäisevät HEPA-suodattimen ja jäävät aktiivihiileen useiden kemiallisten ja fysikaalisten mekanismien avulla. Aktiivihiili on mikrohuokoista hiilimateriaalia, johon on lisätty erilaisia lisäaineita, kuten metalliyhdisteitä. Aktiivihiilen suuren pinta-alan ansiosta kaasumaiset aineet tarttuvat sen pintaan adsorption avulla. Tarttuvuutta parantavat lisäaineet, jotka myös voivat muuttaa yhdisteitä reaktioiden tai reaktioiden katalysoimisen avulla vähemmän vaaralliseen muotoon.

Aktiivihiilisuodattimen läpäiseviä kaasuja ovat pienet kaasumolekyylit, kuten

- hiilimonoksidi eli häkä
- kevyet hiilivedyt
- inertit kaasut, kuten jalokaasu argon.



Kuva 3. Hiukkassuodattimen mikrokuitusuodattimen materiaali on lasikuitu 0,5–2 µm ja suodatustehokkuus 99,99–99,9999 % (Kuva: Mervi Hokkanen)

Reach-asetuksen vuoksi valmistajat ovat joutuneet muuttamaan aktiivihiilien lisäaineistusta, ja se vaikuttaa aktiivihiilisuodattimien ominaisuuksiin.

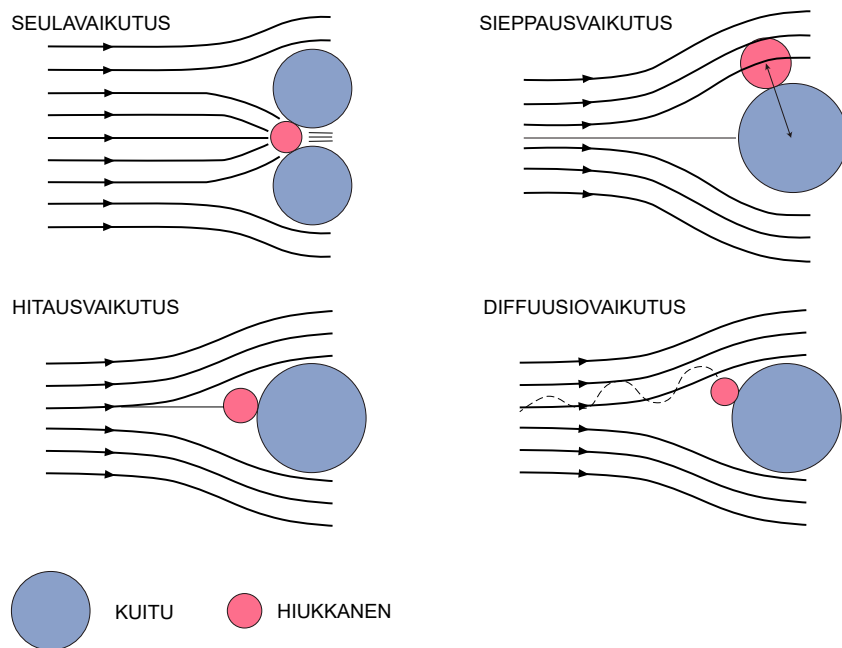
Kemialliset agenssit

Kemialliset taisteluaineet esiintyvät edellä mainituissa olomuodoissa kaasumaisina, nestemäisinä ja hiukkasina. Suojanaamarin suodatin pystyy pidättämään kaikkia joukkoon laskettavia kemikaaleja ja tietyn kapasiteetin verran taisteluaineita. Kapasiteetti vaihtelee yhdisteittäin. CBRN-suojasalla estetään nestemäisten aineiden ihokosketus, ja asuun kuuluva väliasu estää kaasumaisessa muodossa olevan aineen ihokosketuksen.

Biologiset agenssit

Biologisten agenssien kulkeutuminen ilmateitse tai ympäristökontaktin välityksellä on vain osa mahdollisista reiteistä sotilaan suojan läpi. Muita mahdollisia kulkeutumisreittejä ovat esimerkiksi juomavesi, elintarvikkeet ja tartunta sairastuneista ihmisistä.

Biologiset agenssit voivat esiintyä ilmassa aerosolina, joka koostuu kiinteän aineen hiukkasista tai vesipisaroissa olevista hiukkasista. Materiaalina se muistuttaa normaalistikin ilmassa leijuvaa eloperäistä materiaalia. Suojanaamarin suodatin estää biologisten aerosolien pääsemisen hengitysteihin. Suojanaamari ja suojaruusteet estävät taudinaiheuttajien pääsyn suuhun, iholle ja limakalvoille. Suojaruusteet estävät myös niiden kulkeutumisen suuhun tai limakalvoille ihmisen omista käsistä.



Kuva 4. Hiukkas-kuitu vuorovaikutus. (Grafiikka: Veli-Matti Puution pohjalta Johanna Suominen)

Säteilevä materiaali

Säteilevä (RN) materiaali on ilmassa tyypillisesti kiinteän aineen erikokoisina hiukkasina tai kaasumaisena aineena. Nestemäisinä pisaroina RN-ainetta voi esiintyä ilmassa olevassa kosteudessa (sade) tai maassa kasteena tai lammikoina. Kiinteiden hiukkasten koko voi vaihdella suuresti, ja se voi olla kymmenistä nanometreistä millimetreihin.

Fissioreaktioista (ydinvoimalat, ydinaseet) peräisin olevien säteilevien alkuaineiden nuklidien puoliintumisaikat sekä säteilyn tyyppi ja voimakkuus vaikuttavat siihen, millaisia säteilevät alkuaineet ovat. Merkittävimpiä säteileviä alkuaineita ovat esimerkiksi jodin ja cesiumin radioaktiiviset isotoopit.

Jodi esiintyy ilmassa pääasiassa kaasumaisena metyylijodidina. Kaasumaisen jodin tarttumista aktiivihiileen on yleensä parannettu metalli- tai kemikaalilisäaineistuksen avulla (metallit, trietyleenidiamiini TEDA). Cesium esiintyy luonnossa yhdisteinä ja kiinteänä aineksena tai liuenneena veteen, jolloin se ja muut vastaavassa olomuodossa olevat kiinteän aineen hiukkaset pystytään suodattamaan hiukkassuodattimella hengitysilmosta.

Suojanaamareille tehtävät tutkimukset

Suojanaamaritutkimuksilla seurataan käytössä olevien naamarien kuntoa, ja tutkimustulokset vaikuttavat uusien naamarien hankintapäätöksiin. Lisäksi tehdään muita käyttöiän

aikaisia tutkimuksia, kuten korvaavien komponenttien testausta.

Suojanaamarien käyttöikä alkaa, kun materiaali otetaan käyttöön, ja käyttöiän umpeutuessa voidaan tutkia, voidaanko käyttöikää vielä jatkaa. Näin on toimittu nyt käyttöikänsä lopulla olevan M95-suojanaamarin tapauksessa. Tutkimuksissa tarkastellaan valmistusmateriaalien ikääntymistä ja testataan suojausominaisuuksia.

Suojanaamarin elastiset osat menettävät suojausominaisuuksiaan iän myötä. Nauhastot vanhenevat, kasvo-osa muuttuu kemiallisesti, kovettuu ja haurastuu samoin kuin kovemmat polymeeriosat. Testausten perusteella muutokset ovat kuitenkin olleet niin vähäisiä, että suojanaamarin käyttöikää on pystytty jatkamaan. Suodatinosien parasta ennen -päiväyksen umpeuduttua on testattu korvaavia suodattimia.

Suodatinien testauksessa on havaittu aktiivihiilimateriaalin jauhautunutta hienoaainesta ja se, miten aktiivihiilen kanavoituminen vaikuttaa suodatuskykyyn. Kanavoitumisen vuoksi kaasumainen aine saattaa läpäistä suodattimen liian nopeasti, jolloin vuorovaikutusaika aktiivihiilen kanssa lyhenee. Pudotus- ja ravistelutesteillä ja niiden jälkeisellä kemikaalin pidätyskykytestillä tutkitaan, kuinka suodattimet kestävätkä mekaanista rasitusta.

Uuden suojanaamarin valintaa tukeneessa tutkimuksessa painottui se, että naamari soveltuu koko käyttäjäkunnalle. Tähän vaikuttaa naamarin kasvo-osan ergonomia ja käyt-

täjän toimintakykyvaatimukset. Lisäksi tutkittiin seuraavia asioita:

- suodattimen pidätyskykyä
- suodattimen aktiivihiilen kanavoitumista
- hienoaineksen syntymistä
- soveltuvuutta nykyiseen huoltoprosessiin.

Suojamateriaalitutkimukset

Tyypillisiä tutkittuja suojamateriaaleja ovat tekstiili- ja kalvomateriaalit, jotka eivät läpäise CBRN-agensseja. Näitä tekstiili- ja kalvomateriaaleja käytetään jalkineissa, käsineissä ja suojapuvuissa. Materiaalien valintaan vaikuttavat muun muassa seuraavat ominaisuudet:

- pidätyskyky
- käytettävyys
- käyttöikä
- hinta.

Kalvomaiset materiaalit pidättävät rakenteensa puolesta sekä hiukkasmaisia että kaasumaisia ja nestemäisiä agensseja. Tekstiilityypiset suojamateriaalit puolestaan estävät kaasumaisten ja jossain määrin nestemäisten ja kiinteiden agenssien läpäisyyn.

Suojamateriaaleja testataan elinjakson seurannan ja hankintojen yhteydessä. Materiaalien muuttumista voidaan tutkia kemiallisilla analyyseillä ja mikroskopiolla. Mikroskopiolla havaitaan esimerkiksi kalvomaisen materiaalin halkeilu.

Suojamateriaaleja on testattu staattisilla ja dynaamisilla pidätystesteillä, joissa on käytetty erilaisia kemiallisia agensseja. Testauksessa käytettävä agenssi on testissä joko paikallaan tai liikkeessä suhteessa testattavaan materiaaliin. Kokemuksen perusteella testauksen variaatiot ovat vähentyneet, ja tyyppillisesti tarkimmat tulokset suojamateriaalin pidätyskyvystä saadaan staattisella pisaratestillä (kuva 5). Siinä agenssina käytetään mahdollisimman läpäisykykyistä ainetta, joka tutkimusten perusteella on rikkisinappikaasu.



Kuva 5. Staattinen pidätystesti suojamateriaalille.
(Kuva: Maaret Kinnunen)

Kirjoittaja:

Filosofian lisensiaatti Timo-Jaakko Toivanen toimii tutkimus-
alajohtajana Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen räjähd- ja
suojelutekniikkaosastossa CBRNE-teknologiat-tutkimusallalla.

Tekoälyllä laaditut kuvat

s. 10 Mika Helsingius, Microsoft Designer

Syöte: Realistic octopus sitting on sea floor and opening glass jar.

s. 12 Mika Helsingius, Microsoft Designer

Syöte: Super intelligent robot riding horse on a hill

s. 14 Mika Myrberg, Midjourney

Syöte: Picture of Helsinki cathedral, photo taken from the ground towards the cathedral, a big water bubble is on front of the camera and bubbles surface image is the same cathedral but in the center is a big tree with green leaves and ten people watching the tree, canon 50mm --ar 3:2.

s. 32 Sari Voinoff, ChatGPT

Syöte: Kuvassa esitetään Naton tulevaisuudentutkimukseen liittyvä visuaalinen kokonaisuus, jossa korostuvat ennakointimenetelmät, riskinarviointi ja päätöksenteon tuki. Se kuvaa strategista suunnittelua ja skenaariotyöskentelyä.

s. 33 Sari Voinoff, ChatGPT

Syöte: Kuvassa esitetään Venäjän strategiseen kulttuuriin ja geopolittiseen ennakointiin liittyvä visuaalinen kokonaisuus. Graafiset elementit kuvaavat strategista suunnittelua, sotilaspoliittista ennakointia ja taloudellisia tekijöitä, jotka vaikuttavat Venäjän tulevaisuuteen.

Vuosikirjan jakelun huomautukset: puolustusvoimientutkimuslaitos@mil.fi

Ilmavoimien esikunta

Komentotie 250
PL 30
41161 Tikkakoski

Maanpuolustuskorkeakoulu

Santahamina
PL 7
00861 Helsinki

Maasotakoulu

Maavoimien tutkimuskeskus

Kadettikoulunkatu 7
PL 54
49401 Hamina

Puolustusvoimien tutkimuslaitos

Riihimäen toimipiste
Tykkikentäntie 1
PL 10
11311 Riihimäki

Ylöjärven toimipiste
Paroistentie 20
PL 5
34111 Lakiala



Puolustusvoimat
puolustusvoimat.fi