

Jarno Salonen, Pasi Ahonen, Mikko Dufva, Anna-Mari Heikkilä, Markku Jenu, Pia Olli, Antti Pelkonen, Aslak Siljander, Arho Suominen

Osaamisen huoltovarmuus Suomen puolustuksen teknologisen ja teollisen perustan turvaamisessa

Joulukuu 2017

Valtioneuvoston selvitys-
ja tutkimustoiminnan
julkaisusarja 81/2017

KUVAILULEHTI

Julkaisija ja julkaisu-aika	Valtioneuvoston kanslia, 20.12.2017		
Tekijät	Jarno Salonen, Pasi Ahonen, Mikko Dufva, Anna-Mari Heikkilä, Markku Jenu, Pia Olli, Antti Pelkonen, Aslak Siljander, Arho Suominen (Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy)		
Julkaisun nimi	Osaamisen huoltovarmuus Suomen puolustuksen teknologisen ja teollisen perustan turvaamisessa		
Julkaisusarjan nimi ja numero	Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 81/2017		
Asiasanat	Huoltovarmuus, osaaminen, valmiussuunnittelu, turvallisuus		
Julkaisu-aika	Joulukuu, 2017	Sivuja 78	Kieli Suomi

Tiivistelmä

Sipilän hallituksen strategisen ohjelman linjaus, jonka mukaan Suomi ylläpitää laaja-alaisesti keskeisiin sotilaallisiin suorituskykyihin liittyvää kansallista teknologista osaamista sekä riittävää huoltovarmuutta ja puolustusteollisuutta kertoo siitä, että teollisuuden ja tiedeyhteisön osaamisesta on pidettävä jatkuvasti ja kaikissa oloissa tarkkaan huolta, jotta puolustusvoimat kykenee täyttämään omat velvoitteensa. Linjaus on erityisen keskeinen tulevien, pitkävaikutteisten meri- ja ilmavoimien materiaalihankintojen johdosta, joiden osalta huomio kohdistuu tulevaisuudessa tarvittavan sotilaallisen huoltovarmuuden edellyttämään teknologiseen ja teolliseen perustaan.

Tässä selvityksessä tarkasteltiin osaamis pohjaisen huoltovarmuuden keskeisiä kehitysnäkymiä ja toimenpiteitä, joilla huoltovarmuutta voidaan tukea pitkällä aikajänteellä. Hankkeessa kartoitettiin osaamisen huoltovarmuuden kriittisten osa-alueiden nykytilaa, minkä jälkeen suoritettiin tarkempi analyysi kolmen valitun teknologia-alueen kohdalla. Edellisen lisäksi suoritettiin pitkän aikavälin ennakoitointoimintaa tähän tarkoitukseen kehitetyn osaamistutkan avulla, joka toimii työkaluna osaamisen tilannekuvan luomiseen. Tutkimuksen tuloksena syntyi osaamisen tilannekuvan konsepti, joka tarjoaa keinon Suomen puolustuksen teknisten ja muiden osaamistarpeiden seurantaan sekä mahdollisuuden vaikuttaa maan kannalta välttämättömän teknologia-osaamisen kehittämiseen ja sen ylläpitoon.

Liite 1 Haastattelukysymykset

Liite 2 Esimerkkejä merkittävistä suomalaisista innovaatioista /Rakenne- ja materiaaliteknologiat

Liite 3 Patentti- ja julkaisuanalyysin taulukot ja kaaviokuvat

Liite 4 Heikkojen signaalien pohjalta tehdyt yllättävät tapahtumat

Tämä julkaisu on toteutettu osana valtioneuvoston vuoden 2017 selvitys- ja tutkimussuunnitelman toimeenpanoa (tietokayttoon.fi).

Julkaisun sisällöstä vastaavat tiedon tuottajat, eikä tekstisisältö välttämättä edusta valtioneuvoston näkemystä.

PRESENTATIONSBLAD

Utgivare & utgivningsdatum	Statsrådets kansli, 20.12.2017		
Författare	Jarno Salonen, Pasi Ahonen, Mikko Dufva, Anna-Mari Heikkilä, Markku Jenu, Pia Olli, Antti Pelkonen, Aslak Siljander, Arho Suominen (Teknologiska forskningscentralen VTT Ab)		
Publikationens namn	Försörjningsberedskap i fråga om kompetensen för att trygga den teknologiska och industriella basen för Finlands försvar		
Publikationsseriens namn och nummer	Publikationsserie för statsrådets utrednings- och forskningsverksamhet 81/2017		
Nyckelord	Försörjningsberedskap, kompetens, beredskapsplanering, säkerhet		
Utgivningsdatum	December, 2017	Sidantal 78	Språk Finska

Sammandrag

Enligt det strategiska programmet för statsminister Juha Sipiläs regering skall Finland i vid omfattning upprätthålla nationellt teknologiskt kunnande i fråga om väsentliga militära kapaciteter, samt tillräcklig försörjningsberedskap och försvarsindustri. Detta innebär att man kontinuerligt och under alla omständigheter nog ser till att det finns ett sådant kunnande inom industrin och det vetenskapliga samfundet så att försvarsmakten kan uppfylla sina skyldigheter. Riktlinjerna är särskilt viktiga med tanke på kommande långsiktiga materialanskaffningar inom marinen och luftvärnet, där fokuset ligger på den teknologiska och industriella bas som den militära försörjningsberedskapen behöver i framtiden.

I denna utredning granskades centrala utvecklingstendenser och åtgärder inom försörjningsberedskapen utgående från kompetenser med vilka man kan stödja försörjningsberedskapen på lång sikt. I projektet granskades nuläget på kritiska delområden inom försörjningsberedskapen för kompetenser, varefter en närmare analys av tre utvalda teknologiska områden gjordes. Utöver detta utfördes förutsägande aktiviteter på lång sikt med hjälp av en kunskapsradar som utvecklats för ändamålet, och som är ett redskap då man skapar en situationsbild av kompetensen. Som ett resultat av undersökningen fick man ett koncept för kompetensens situationsbild, som ger ett sätt att uppfölja det finska försvarets tekniska och övriga kunskapsbehov, samt ger möjligheter att påverka utvecklingen och upprätthållandet av en teknologisk kompetens som är nödvändig för landet.

Bilaga 1 Intervjufrågor

Bilaga 2 Exempel på betydande finska innovationer/Struktur- och materialteknologier

Bilaga 3 Patent- och publikationsanalysens tabeller och diagram

Bilaga 4 Överraskande händelser på basis av svaga signaler

Den här publikation är en del i genomförandet av statsrådets utrednings- och forskningsplan för 2017 (titokayttoon.fi/sv).

De som producerar informationen ansvarar för innehållet i publikationen. Textinnehållet återspeglar inte nödvändigtvis statsrådets ståndpunkt

DESCRIPTION

Publisher and release date	Prime Minister's Office, 20.12.2017		
Authors	Jarno Salonen, Pasi Ahonen, Mikko Dufva, Anna-Mari Heikkilä, Markku Jenu, Pia Olli, Antti Pelkonen, Aslak Siljander, Arho Suominen (VTT Technical Research Centre of Finland Ltd)		
Title of publication	Competence-based security of supply to guarantee the technological and industrial basis of Finland's defence		
Name of series and number of publication	Publications of the Government's analysis, assessment and research activities 81/2017		
Keywords	Security of supply, competence, preparedness planning, safety		
Release date	December, 2017	Pages 78	Language Finnish

Abstract

The strategic programme of Prime Minister Sipilä's Government, which states that Finland will broadly maintain the national technological expertise, security of supply and defence industry required for core defence capabilities, also states that industrial and scientific competences must be carefully fostered in all circumstances, to ensure that the defence forces can fulfil their obligations. This policy is particularly important due to future, long-term materiel procurements for the navy and air force. Such procurements will be focused on the technological and industrial basis required to guarantee security of supply for the armed forces in the future.

This study examined key development prospects and measures with respect to competence-based security of supply, through which security of supply can be supported in the long term. The project involved mapping out the current status of critical areas of competence-based security of supply, after which a more detailed analysis was performed of three selected technology areas. In addition to the above actions, long-term foresight measures were performed with the help of a specially developed competence radar tool for creating a common operational picture of the current state of competences. The result was a situation awareness concept, which provides a means of monitoring Finland's technical and other defence competence requirements and the possibility of influencing the development and maintenance of technology competences considered vital to the country.

Appendix 1 Interview questions

Appendix 2 Examples of important Finnish innovations/Structural and material technologies

Appendix 3 Patent and publication analysis tables and diagrams

Appendix 4 Black swans based on weak signals


This publication is part of the implementation of the Government Plan for Analysis, Assessment and Research for 2017 (tietokayttoon.fi/en).

The content is the responsibility of the producers of the information and does not necessarily represent the view of the Government.



SISÄLLYS

1. Johdanto	1
1.1 Selvityksen tausta	1
1.2 Selvityksen tavoitteet	2
1.3 Selvityksen määritelmät	4
1.4 Selvityksen rakenne ja rajaukset	5
2. Aineistot ja menetelmät	7
3. Kansallisen huoltovarmuuden toimintaympäristö	9
4. Osaamisen tila - Tarkastelu kolmesta kriittisestä teknologia-alueesta	13
4.1 Rakenne- ja materiaaliteknologiat.....	13
Häiveteknisen suojan materiaaliteknologiat.....	13
Ballistisen suojan materiaaliteknologiat	14
Erikoismateriaalien teknologiat ja -materiaalien vauriokorjauskyky.....	15
Sotilaskäyttöön tarkoitettujen energieettisten materiaalien teknologiat	16
Itämerellisen tai Suomen pohjoisen sijainnin erityisolosuhteiden materiaali- ja rakenneteknologiat.....	16
Rakenteiden mekaniikka ja niihin liittyvä mallinnus- ja simulointikyky.....	17
4.2 Kemialliset ja biologiset uhat terveydenhuollossa sekä niihin liittyvät osaamiset...	17
4.3 Sensorijärjestelmiin ja sensoritiedon käsittelyyn liittyvät teknologiat	19
Sensorijärjestelmät.....	19
Sensoritiedon käsittelyn teknologiat (signaalinkäsittely).....	21
5. Osaamisen ennakointi pitkällä aikavälillä.....	23
5.1 Muutostrendit	23
Muutosajurit ja trendit PESTEV-kehikossa	23
Toimintaympäristön muutos huoltovarmuuden kannalta	25
5.2 Heikot signaalit.....	30
Poinintoja heikkojen signaalien aineistosta	30
5.3 Teknologiat.....	31
5.4. Pidemmän aikavälin osaamistarpeiden yhteenveto osaamistutkaan	32
5.5 Ennakointimalli	34



Versio 1: sisäinen päivitys.....	34
Versio 2: ulkopuolinen syväluotaus.....	35
Ennakointimallin suhde kansalliseen ennakointiin.....	36
Kuvaus menetelmistä.....	38
6. Tilannekuvan konsepti.....	41
7. Yhteenveto ja johtopäätökset	45
7.1 Yleiset johtopäätökset.....	45
7.2 Teknologia-alueisiin liittyvät johtopäätökset	47
7.3 Tilannekuvaan ja ennakointiin liittyvät johtopäätökset	49
Liite 1: Haastattelukysymykset	51
Liite 2: Esimerkkejä merkittävistä suomalaisista innovaatioista /Rakenne- ja materiaali-tekniikat	52
Liite 3: Patentti- ja julkaisuanalyysin taulukot ja kaaviokuvat.....	56
Liite 4: Heikkojen signaalien pohjalta tehdyt yllättävät tapahtumat	66
Lähteitä ja tausta-aineistoja	68

Työn tilaaja on hakuilmoituksessa määritellyt, että toimeksiantoon voi liittyä myös julkisuuslain tarkoittamaa salassa pidettävää aineistoa. Tästä syystä hankkeen toteuttajille on tehty turvallisuusselvityslain (726/2014) mukainen turvallisuusselvitys. Loppuraportin liitteeksi on eroteltu tausta- ja tulosaineisto, joka on julkisuuslain (621/1999) 24.1§:n 10 kohdan mukaisesti salassa pidettävä. Salassa pidettävä aineisto on puolustusministeriön hallussa.

1. JOHDANTO

1.1 Selvityksen tausta

Sipilän hallituksen strategisen ohjelman linjaus, jonka mukaan Suomi ylläpitää laaja-alaisesti keskeisiin sotilaallisiin suorituskykyihin liittyvää kansallista teknologista osaamista sekä riittävää huoltovarmuutta ja puolustusteollisuutta, on vahva viesti kansakunnalle. Se kertoo siitä, että teollisuuden ja tiedeyhteisön osaamisesta on pidettävä jatkuvasti ja kaikissa oloissa tarkkaan huolta, jotta puolustusvoimat kykenee täyttämään omat velvoitteensa. Linjaus on erityisen keskeinen tulevien, pitkävaikutteisten meri- ja ilmavoimien materiaalihankintojen johdosta, joiden osalta huomio kohdistuu tulevaisuudessa tarvittavan sotilaallisen huoltovarmuuden edellyttämään teknologiseen ja teolliseen perustaan.

Strategisten osaamisten ja kriittisten teknologioiden merkitys on tunnustettu Suomessa pitkän prosessin aikana (Närväinen 2016). Perusteita luotiin jo 1990-luvun puolivälissä pitkän tähtäimen suunnitelmissa ja eri työryhmien (mm. Mattsonin työryhmä) raporteissa. Puolustusvoimien teknologiaohjelmat (PVTO) otettiin osaamisen kehittämisen instrumentteina käyttöön vuosina 2003, 2008, 2010 ja 2013. Puolustusvoimien tutkimusohjelmaa 2017 - 2020 toteutetaan parhaillaan. *Puolustus- ja turvallisuusteollisuusstrategia 2007* suositteli kriittisten osaamisten vahvistamiseksi keskeisiä toimenpiteitä kuten perustettavaksi osaamiskeskukset kriittisille teollisuuden osaamisalueille. Toimintatapaa pilotoitiin Suojan osaamisverkoston avulla vuosina 2010 - 2012, mutta se ei kuitenkaan osoittautunut sellaisenaan toimivaksi. Edelleen 2010-luvulla työtä edistettiin intensiivisellä SOKT-työllä (strategiset osaamiset, kriittiset teknologiat) ja *Puolustusvoimien teknologiastrategialla 2012*, missä työssä mukana olivat keskeisesti Puolustusministeriö, Pääesikunta, Puolustusvoimien teknologianeuvosto (mukaan lukien tiede- ja teollisuusyhteisö) ja Suomen Puolustus- ja Ilmailuteollisuusyhdistys PIA ry.

Yhteinen, sitkeä ponnistus nosti voimakkaasti esiin huoltovarmuuden osaamis pohjaisuuden keskeisyyden ja johti HTTO-raportin (*Huoltovarmuuskriittinen teknologia, tuotanto ja osaaminen, 2012*), *Puolustusvoimien tutkimusagendan 2015* ja muiden asiakirjojen kautta *Valtioneuvoston päätökseen huoltovarmuuden tavoitteista 2013* ja *Valtioneuvoston periaatepäätökseen Suomen puolustuksen teknologisen ja teollisen perustan turvaamisesta 2016*. Näissä asiakirjoissa osaamis pohjainen huoltovarmuus nostetaan puolustuksen kannalta merkittäväksi tekijäksi kansallisessa teollisessa ja teknologisessa toimintaympäristössä. Samalla tavalla *Suomen kyberturvallisuusstrategian 2013* toimeenpano-ohjelmassa esitetään yhtenä seitsemästä keskeisestä kehittämiskohteesta: tutkimus- ja koulutusohjelmat ja muu osaamisen vahvistaminen. Taustaksi mainittakoon myös, että Huoltovarmuuskeskuksen tavoitteleva kriittisen infrastruktuurin jatkuva toiminta on vahvasti riippuvaista digitaalisista järjestelmistä, koska monet digitaaliset palvelut on tyypillisesti ulkoistettu kumppaneille ja palveluntoimittajille, jolloin resurssit vastata kyberturvallisuushäiriöihin ovat tyypillisesti oman organisaation ulkopuolella – esimerkiksi ylläpito- ja tietoturvapalvelut. Verkostomainen yhteistyö on täten välttämätöntä (Luukkainen 2017). Vaikkakin kansainvälisesti laajasti levineillä kyberhäiriöllä on toistaiseksi ollut vain rajoitettu vaikutus Suomessa, niin Huoltovarmuuskeskuksen KYBER 2020 -ohjelman tavoitteena on luoda pysyviä rakenteita, joilla parannetaan pitkäjänteisesti elinkeinoelämän kyberturvallisuutta, osaamista ja jatkuvuutta.

Tuoreimpana puolustukseen ja turvallisuuteen liittyvänä linjauksena Valtioneuvosto hyväksyi periaatepäätöksen sisäisen turvallisuuden strategian päivityksestä (YTS, *Yhteiskunnan turvallisuusstrategia*) lokakuussa 2017. Uusi YTS ei kuitenkaan ota millään tavoin kantaa osaamisen huoltovarmuuteen eikä siihenkään, mitä alati kiihtyvän teknologisen kehityksen ymmärtämisen ja siihen tarvittavan kompleksisen osaamisen suhteen tulisi tehdä. Johtopäätöksissään se silti toteaa, että korkean teknologian turvallisuus on erityinen voimavara- ja osaamishaaste.

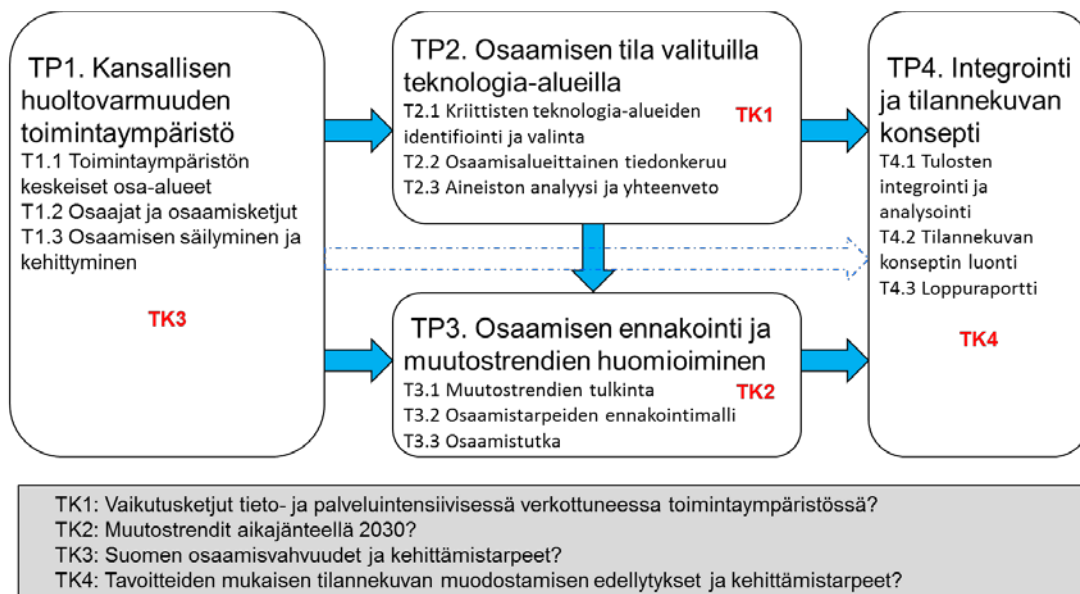
Osaamispohjaisen huoltovarmuuden turvaamisen tila on ollut pitkään vaikea, mitä edellä kuvattu prosessikin alleviivaa. Vuosikymmeniä kestänyt puolustushallinnon sekä puolustusalan teollisuuden ja tutkimuksen yhteinen pohdinta strategisten osaamisten ja kriittisten teknologioiden varmistamisesta on lopulta johtanut edellä mainittuihin merkittäviin strategioihin ja linjauksiin valtionhallinnossa. Ne antavat viitteitä siitä, että osaamispohjaisen huoltovarmuuden tarve ja huoltovarmuudesta huolehtimisen tärkeys on ymmärretty. Nyt on aika tarttua konkreettisesti toimeen ja tarkastella maanpuolustuksen kannalta kriittisiä teknologioita osaamisen huoltovarmuuden kannalta.

1.2 Selvityksen tavoitteet

Osaamisen huoltovarmuus Suomen puolustuksen teknologisen ja teollisen perustan turvaamisessa -hankkeessa selvitettiin, millä toimenpiteillä varmistetaan osaamispohjainen huoltovarmuus Suomessa pitkällä aikajänteellä. Hankkeen edellä kerrottua päämäärää tukevat tavoitteet olivat seuraavat:

- Kartoittaa osaamisen huoltovarmuuden nykytila Suomessa
- Selvittää keskeiset vaikutusketjut verkottuneessa toimintaympäristössä sekä erilaiset muutostrendit aikajänteellä 2030
- Määrittellä tavoitteiden mukaisen tilannekuvan muodostamisen edellytykset ja kehittämistarpeet
- Laaditaan tilannekuvan tavoitemalli, jossa määritellään eri toimijoiden roolit ja vastuut ja jossa hyödynnetään kotimaisia ja kansainvälisiä parhaita käytäntöjä.

Hanke rakentui neljästä työpaketista, joiden tehtävät sekä hankkeen tavoitteisiin liittyvät tutkimuskysymykset on esitetty seuraavassa kuvassa (Kuva 1).



Kuva 1. Hankkeen rakenne ja tutkimuskysymykset

Hankkeessa toteutettiin osaamisen huoltovarmuuden toimintaympäristön nykytilakartoitus perustuen maanpuolustuksen kannalta kriittisiin teknologioihin työpaketissa 1. Tämän jälkeen työpaketissa 2 suoritettiin tarkempi analyysi kolmen valitun osa-alueen; 1) rakenne- ja materiaalitekniologioiden, 2) terveydenhuollon teknologioiden, jotka liittyvät kemiallisten aineiden (C) ja biologisten taudinaiheuttajien (B) aiheuttamiin uhkisiin sekä 3) sensorijärjestelmiin sekä sensoritiedon käsittelyyn liittyviin teknologioihin.

Samaan aikaan työpaketissa 2 tehtävän tarkemman analyysin kanssa toteutettiin työpaketissa 3 muutostrendien tulkintaa sekä pitkän aikavälin ennakointia hyödyntäen olemassa olevia ja julkisesti saatavia ennakointiraportteja sekä muita ennakointiaineistoja. Työpaketin pohjalta rakennettiin pitkän aikavälin osaamistarpeiden ennakointimalli sekä sitä tukeva ns. osaamistutka, joka mahdollistaa huoltovarmuuden toimintaympäristöön liittyvien muutostrendien sekä edellisistä nousevien yleisten osaamistarpeiden vertailun olemassa olevaan ja kehitteillä olevaan osaamiseen. Osaamistutkaa käytettiin pohjana työpaketissa 4 toteutettavaan tilannekuvan konseptiin, jossa hyödynnettiin yleisiä tilannekuvan malleja ja jota on esimerkinomaisesti testattu työpaketissa 1 ja 2 kerätyillä tiedoilla.

Hankkeessa ja sen tuloksissa on huomioitava yhtenä kriittisenä tekijänä tilannekuvan muodostamisen kompleksisuus, joka korostuu erityisesti tässä tapauksessa, kun kohteena on osaaminen. Tilannekuvan perusteella tehtävä tulkinta eli ns. ”tilanneymmärrys” on riippuvainen käytettävissä olevasta ja käyttäjän tarpeisiin sopivasta tiedosta sekä itse tulkintatavasta. Koska osaamisen ja sen tarpeiden mittaaminen perustuu tässä tapauksessa suurelta osin laadulliseen tietoon eli esim. haastatteluihin niin lähtötietoihin liittyy lisäksi myös epävarmuus osaamisen todellisesta tilasta, koska se perustuu haastateltavien subjektiiviseen näkemykseen. Tätä epävarmuutta voidaan poistaa poimimalla tietoja useammasta kuin yhdestä lähteestä silloin kun se on mahdollista. Esimerkkinä tästä on hankkeessa hyödynnetty patentti- ja julkaisu- sekä suomalaisista innovaatioista koostuvan SFINNO-tietokannan käyttöä, jotka tukevat joissakin tapauksissa (esim. rakenne ja materiaalitekniologiat) haastatteluiden pohjalta kerättyjä tietoja.

1.3 Selvityksen määritelmät

Tässä luvussa on lueteltu raportin kannalta keskeisiä termejä ja niiden merkitys tämän raportin kontekstissa.

CBR-lyhenteellä tarkoitetaan kemiallista (chemical), biologista (biological) tai radiologista (radiological) ainetta. (HVK 2017)

Ennakoinnilla tarkoitetaan pidemmän aikavälin (esimerkiksi yli viiden vuoden) tarkastelua, jossa hahmotellaan tulevaisuutta koskevat keskeiset epävarmuustekijät ja kuvataan niiden perusteella vaihtoehtoisia tai toisiaan täydentäviä tulevaisuuskuvia, joiden pohjalta voidaan tehdä nykyhetken päätöksiä. Ennakointi ja nykyhetken tilannekuva siis täydentävät toisiaan.

Huoltovarmuudella tarkoitetaan yleisesti kykyä sellaisten yhteiskunnan taloudellisten perustoimintojen ylläpitämiseen, jotka ovat välttämättömiä väestön elinmahdollisuuksien, yhteiskunnan toimivuuden ja turvallisuuden sekä maanpuolustuksen materiaalien edellytysten turvaamiseksi vakavissa häiriöissä ja poikkeusoloissa. (HVK 2017)

Häiriöllä tarkoitetaan uhkaa tai tapahtumaa, joka vaarantaa yhteiskunnan elintärkeitä toimintoja ja jonka hallinta edellyttää viranomaisilta tai muilta toimijoilta tavanomaista laajempaa tai tiiviimpää yhteistoimintaa ja viestintää. (HVK 2017)

Jatkuvuudenhallinnalla tarkoitetaan organisaation prosessia, jolla tunnistetaan toiminnan uhat ja arvioidaan niiden vaikutukset organisaatiossa ja sen toimijaverkostossa sekä luodaan toimintatapa vakavien häiriötilanteiden hallinnalle. (HVK 2017)

Kokonaisturvallisuudella tarkoitetaan yhteiskunnan elintärkeiden toimintojen turvallisuutta, joka toteutetaan viranomaisten, elinkeinoelämän, järjestöjen ja kansalaisten yhteistoimintana. Yhteiskunnan elintärkeitä toimintoja ovat yhteiskunnan toimivuuden kannalta välttämättömät toiminnot eli valtion johtaminen, kansainvälinen toiminta, Suomen puolustuskyky, sisäinen turvallisuus, talouden ja infrastruktuurin toimivuus, väestön toimeentuloturva ja toimintakyky sekä henkinen kriisinkestävyys. (Terminfo 2014)

Kyberturvallisuudella tarkoitetaan tilaa, jossa kybertoimintaympäristöstä yhteiskunnan elintärkeille toiminnoille tai muille kybertoimintaympäristöstä riippuvaisille toiminnoille koituvat uhat ja riskit ovat hallinnassa. (HVK 2017)

Osaamisella¹ tarkoitetaan henkilön tai organisaation erikoistunutta pätevyyttä ja ammatillista kykyä jossakin asiassa tai asiakokonaisuudessa. Laajasti ymmärrettynä osaaminen koostuu ainakin karttuneista taidoista, tiedoista, asenteista ja näkemyksistä, ammatillisista hyväksynnöistä ja tutkinnoista, osaajan käytössä olevista teknisistä välineistä, rakenteista ja järjestelmistä, osaajan verkostoista sekä osaamisen suorituskyvyn riittävydestä ja jatkuvuudesta. (Random House 1987, Forsell 2009)

Osaamis pohjaisella huoltovarmuudella tarkoitetaan opetuksen ja tutkimuksen kautta saatavaa tukea huoltovarmuudelle, so. kyvylle sellaisten yhteiskunnan taloudellisten perus-

¹ Asioiden monimutkaisuuden ja niiden keskinäiskytentöjen takia yhden alueen syvälinen osaaminen saattaa edellyttää ymmärrystä myös muista aloista. Laaja näkemys muodostuu tyypillisesti eri alojen osaajien keskustelussa ja yhteistyössä. Osaamista laatua ja tasoa voi kuvailla referenssitöillä, osaamisen parissa työskentelevän ryhmän koolla, työvälineiden ja tieteellisten julkaisujen laadulla ja määrällä, teollisoikeuksien määrällä ym. Erityisesti organisaatioissa ilmenee osaamisen eri kategorioita (ydinosaaminen, muu organisaatiossa tarvittava osaaminen). Osaamisen hallinta (tai osaamisen johtaminen) tarkoittaa organisaation nykyisen ja tulevaisuudessa tarvittavan osaamisen hankkimista, kehittämistä ja turvaamista.

toimintojen ylläpitämiseen, jotka ovat välttämättömiä väestön elinmahdollisuuksien, yhteiskunnan toimivuuden ja turvallisuuden sekä maanpuolustuksen materiaalistien edellytysten turvaamiseksi vakavissa häiriöissä ja poikkeusoloissa.

Resilienssillä tarkoitetaan tietoista ja ennakoivaa kykyä sopeutua ja toimia joustavasti häiriötilanteissa sekä toipua ja kehittyä niiden jälkeen. (Terminfo 2014)

Tilannekuvalla tarkoitetaan päättäjien ja heitä avustavien henkilöiden ymmärrystä tapahtuneista asioista, niihin vaikuttaneista olosuhteista, eri osapuolien tavoitteista ja tapahtumien mahdollisista kehitysvaihtoehdoista, joita tarvitaan päätösten tekemiseksi tietystä asiasta tai asiakokonaisuudesta. Tilannekuvan muodostumista ja ylläpitoa edesautetaan ylläpitämällä ja esittämällä tietoja tarkoituksenmukaisesti. (YETTS 2006). Tilannekuva pitää sisällään myös tarkastelun osaamisen menneestä kehitymisestä ja lyhyen tähtäimen kehitysnäkymät.

Uhall tarkoitetaan tiettyyn, turvattavaan kohteeseen kohdistuvan vahingon tai häiriön mahdollisuutta. (HVK 2017)

Valmiussuunnittelulla tarkoitetaan varautumista ja toimenpiteiden suunnittelua poikkeusolojen tai muun vakavan häiriön varalta ja siitä toipumiseksi. (HVK 2017)

1.4 Selvityksen rakenne ja rajaukset

Selvityksen rakenne

Tämä raportti rakentuu Osaamisen huoltovarmuus Suomen puolustuksen teknologisen ja teollisen perustan turvaamisessa -hankkeen työpakettien mukaisesti neljään pääluokkaan. Kansallisen huoltovarmuuden toimintaympäristö (luku 3) tarkastelee toimintaympäristöä maanpuolustuksen kannalta kriittisten teknologioiden näkökulmasta, jotka on lueteltu Valtioneuvoston periaatepäätöksessä Suomen puolustuksen teknologisen ja teollisen perustan turvaamisesta (PLM 2016). Osaamisen tila (luku 4) -luvussa tarkempi tarkastelu on kohdistettu kolmelle kriittiselle teknologia-alueelle eli 1) rakenne- ja materiaalitekniologioiden, 2) terveydenhuollon teknologioiden, jotka liittyvät kemiallisten aineiden (C) ja biologisten taudinaiheuttajien (B) aiheuttamiin uhkiin sekä 3) sensorijärjestelmiin sekä sensoritiedon käsittelyyn liittyviin teknologioihin, jotka on valittu ohjausryhmän toimesta. Luvussa on tarkasteltu kunkin teknologia-alueen tilaa muodostamalla ensin yleisnäkymä alueen toimijakentästä Suomessa, minkä jälkeen on kuvattu osaamisen nykytilaa sekä kehitysnäkymiä ja lopuksi listaamalla vielä erikseen haastatteluissa toimijoilla mahdollisesti havaitut puutteet ja aukot sekä osaamisen jatkuvuus alueella.

Yleisellä tasolla osaamisen käsitteen tai osaamisen hallinnan tarkastelu ei kuulunut toimeksiantoon. Siihen kenttään saattaisi kuitenkin olla syytä paneutua, mikäli yksittäisten teknologia-alueiden osaamisepohjaisen huoltovarmuuden turvaamisen toimenpiteitä jatkossa suunnitellaan kattavasti.

Osaamisen ennakkointia pitkällä aikavälillä käsitellään luvussa 5 kuvaamalla muutostrendejä, heikkoja signaaleita, teknologioita sekä pidemmän aikavälin osaamisen tarpeita, jotka ovat pohjana myös osaamistutkalle. Tilannekuvan konseptia ja edellytyksiä sen luomiselle tarkastellaan luvussa 6 vertaamalla nykytilan ja tulevaisuuden osaamistarpeita edellä mainituilla teknologia-alueilla sekä kuvaamalla tulevaisuutta kartoittavaa ennakkointiprosessia, sen sisältöä ja menetelmiä. Lopuksi on esitetty selvitystyön pohjalta hankkeessa syntyneet johdopäätökset ja mahdolliset konkreettiset toimenpide-ehdotukset luvussa 7, jotka on jaettu

kolmeen kategoriaan; yleiset, teknologia-alueisiin liittyvät sekä tilannekuvaan ja ennakointiin liittyvät johtopäätökset. Toimenpide-ehdotusten kautta on mahdollista tukea osaamisen jatkuvuutta ja riittävän omavaraisuuden säilymistä maanpuolustuksen sekä huoltovarmuuden näkökulmasta.

Selvityksen rajaukset

Selvitystyötä rajattiin työpaketissa 1 tehtävän huoltovarmuuden toimintaympäristön nykytilakartoituksen osalta tarkastelemaan vain maanpuolustuksen kannalta kriittisiä teknologioita, jotka perustuvat Valtioneuvoston periaatepäätökseen Suomen puolustuksen teknologisen ja teollisen perustan turvaamisesta (PLM 2016).

Työpaketissa 2 rajattiin edellisen työpaketin kartoitusta entisestään koskemaan vain kolmea valittua teknologia-aluetta eli osaamisen tilan tarkempi analyysi kohdistettiin ohjausryhmässä käydyn keskustelun pohjalta seuraaviin alueisiin:

- 1) Rakenne- ja materiaalitekniikat
- 2) Kemialliset ja biologiset uhat terveydenhuollossa sekä niihin liittyvät osaamiset
- 3) Sensorijärjestelmiin sekä sensoritiedon käsittelyyn liittyvät teknologiat

Työpaketin 3 ennakkoinnissa on painotettu tausta-aineistona erityisesti puolustuksen ja huoltovarmuuden kannalta merkityksellisiä raportteja. Yhteenvedot toimintaympäristön muutoksista on muodostettu tutkijatyönä kuten myös tilannekuvan konseptin luonti työpaketissa 4, koska tarjouksessa mahdollisena toteutustapana mainittua ulkopuolisia asiantuntijoita käsittelevää työpajaa ei katsottu hankkeeseen soveltuvaksi sen luonteen vuoksi. Edellisten sijasta hankkeen ohjausryhmää on hyödynnetty tehokkaasti selvitystyössä tarvittavan välttämättömän palautteen sekä kehitysehdotusten saamiseksi.

2. AINEISTOT JA MENETELMÄT

Hankkeen työpaketissa 1 suoritettua kansallisen huoltovarmuuden toimintaympäristön kartoituksessa käytetty aineisto koostui pääosin kirjallisesta materiaalista. Työssä lähdettiin liikkeelle tutustumalla Puolustusministeriön Suomen puolustuksen teknologisen ja teollisen perustan turvaaminen -asiakirjaan (PLM 2016), jonka perusteella valittiin kriittiset teknologia-alueet. Teknologia-alueilla tapahtuvaa yliopistojen ja tutkimuslaitosten kehitystä käytiin läpi VTT:n vuonna 2008 kokoaman PVTO2010-teknologiaohjelma - Tutkimusyhteisön kompetenssiluettelon avulla. Eri yhteisöjen tutkimusaiheita lajiteltiin kriittisten teknologia-alueiden mukaan, ja taulukkoa täydennettiin etsimällä tietoja yliopistojen ja tutkimuslaitosten Internet-sivuilta sekä henkilöhaulla. Osaamisalueet päivitettiin löydettyjen tietojen perusteella. Tästä saatiin näkemystä, millaisia muutoksia teknologia-alueilla on mahdollisesti tapahtunut viimeisen vajaan 10 vuoden aikana.

Osaamisaluetaulukon perusteella ohjausryhmässä päädyttiin tarkastelemaan tarkemmin kolmea teknologia-aluetta: rakenne- ja materiaalteknologiat, kemialliset ja biologiset uhat terveydenhuollossa sekä sensorijärjestelmiin ja sensoritiedon käsittelyyn liittyvät teknologiat.

Näiden kolmen teknologia-alueen analyysin toteutuksen lähtökohtana käytettiin työparityökentelyä. Tämä tarkoitti sitä, että kullekin alueelle nimettiin vastuututkija hankkeen projektitiimistä sekä hänen tuekseen substanssiasiantuntijaksi VTT:n kyseisen alan teknologia-asiantuntija. Menettelyn tarkoituksena oli varmistaa, että tarkastelussa on mukana korkeatasoinen sisällöllinen asiantuntemus kultakin teknologia-alueelta. Kemiallisten ja biologisten uhkien osalta työparimenettelyä ei kuitenkaan voitu toteuttaa VTT:n sisäisenä toimintana ja tältä osin tukeuduttiin enemmän asiantuntijahaastatteluihin. Hankkeen ohjausryhmä hyväksyi projektiryhmän ulkopuolelta olevien nimettyjen asiantuntijoiden käytön tietyin edellytyksin. Työparit työosion toteutuksessa olivat seuraavat:

1. Rakenneteknologiat – Antti Pelkonen työparinaan Aslak Siljander
2. Terveydenhuolto: Kemiallisten aineiden (C) ja biologisten taudinaiheuttajien (B) aiheuttamat uhat – Anna-Mari Heikkilä (ei työparia)
3. Sensorijärjestelmät ja sensoritiedon käsittely (signaalinkäsittely) – Jarno Salonen ja Pia Olli työparinaan Pekka Pursula (sensorit) ja Pertti Raatikainen (signaalinkäsittely)

Teknologia-alueiden tarkastelussa keskeisin aineisto muodostui alan avaintoimijoiden haastatteluista sekä kirjallisesta materiaalista. Teknologia-asiantuntijat toimivat ensi vaiheessa keskeisinä informanteina, jotka tuottivat tietoa kullakin alueella toimivista yrityksistä, tutkimusorganisaatioista ja muista keskeisistä toimijoista Suomessa, mutta relevanteilta osin myös kansainvälisesti. Näitä tietoja ja hankkeen ohjausryhmässä käytyjä keskusteluja hyödynnettiin haastateltavien tahojen ja henkilöiden valinnassa työn alkuvaiheessa. Tarkastelun edetessä uusia haastateltavia tahoja ja henkilöitä identifioitiin ns. lumipallomenetelmän avulla. Kaikkiaan hankkeessa haastateltiin yli 70 asiantuntijaa lähes 40 eri organisaatiosta. Haastatteluissa käytetty haastattelurunko on esitetty raportin liitteessä (liite 1). Osa haastatteluista tehtiin henkilökohtaisina haastatteluina, osa puhelinhaastatteluina, ja osassa tapauksia haastateltavat henkilöt toimittivat vastauksensa sekä muuta materiaalia sähköpostitse. Haastatteluissa asiantuntijoita pyydettiin kuvaamaan sekä oman organisaation toimintaa kyseisellä osa-alueella että arvioimaan ja tarkastelemaan alueen osaamista ja tilannetta

laajemmin Suomessa. Haastattelujen avulla pyrittiin sekä keräämään tietoa osaamisen tilasta että ymmärtämään osaamisen tilaan ja sen kehittymiseen vaikuttavia tekijöitä erilaisilla teknologia-alueilla. Kirjallisena materiaalina hyödynnettiin erityisesti teknologia-alueita ja niiden tilaa kuvaavia julkaisuja, raportteja ja esitelmiä. Lisäksi tietoa kerättiin mm. organisaatioiden verkkosivuilta ja muista julkisista lähteistä.

Haastattelujen ja kirjallisen materiaalin ohella tehtiin erillinen tarkastelu suomalaisten tutkijoiden tieteellisistä julkaisuista ja patenteista kullakin kolmella teknologia-alueella. Patentti- ja julkaisuanalyysin tarkoituksena oli tuoda täydentävä näkökulma haastattelu- ja dokumenttiaineiston rinnalle ja tuottaa numeerista tietoa alueiden tutkimus- ja innovaatio toiminnan tilasta. Patentti- ja julkaisuanalyysin menetelmä on kuvattu tarkemmin liitteessä 3. Rakennus- ja materiaaliteknologian osalta tarkastelua täydennettiin vielä keräämällä tietoja alueen merkittävistä suomalaisista innovaatioista VTT:n SFINNO™ suomalainen innovaatio tietokannasta (ks. liite 2). Tietokanta sisältää tietoja 7 146 suomalaisesta kaupallistetusta innovaatiosta vuosilta 1945-2016 (SFINNO™-tietokannasta, ks. tarkemmin Van der Have et al. 2009).

Hankkeen työpaketissa 3 suoritettua osaamistarpeen pidemmän aikavälin ennakkoinnissa hyödynnettiin olemassa olevia ja julkisesti saatavia ennakointiraportteja. Lisäksi hyödynnettiin erityisesti Winland STN-hankkeen tutkimustuloksia ja eduskunnan tulevaisuusvaliokunnan tilaamia radikaalien teknologioiden ennakointiselvityksiä. Aineiston pohjalta tunnistettiin tulevaisuuden toimintaympäristön kannalta keskeisiä muutostekijöitä ja epävarmuuksia, sekä heikkoja signaaleja. Menetelmällisesti hyödynnettiin ns. PESTEV-kehikkoa ja tekijäpohjaista skenaarioanalyysiä. Ennakkoinnin menetelmät ja käytetty aineisto on kuvattu tarkemmin luvussa 5.

Työn toteutuksen eri vaiheet tuottavat pohjatietoa osaamisen tilannekuvan muodostamiselle, jota käsiteltiin hankkeen työpaketissa 4. Asiantuntijahaastatteluiden myötä osaamisalueiden tilannekuva alkoi syventyä, ja vastaukset on koottu sanallisesti luvussa 4 - Osaamisen tila. Tilanteen selkeyttämiseksi vastauksia on analysoitu ja esitetty visuaalisti taulukoiden ja diagrammien muodossa luvussa 6 - Tilannekuvan konsepti. Tuloksia lukiessa on kuitenkin huomioitava, että analysointivaiheessa tulokseen vaikuttaa paitsi taustalla olevan tiedon epävarmuus niin myös analyysin tekijän subjektiivinen näkemys - hänelle syntynyt tilannekuva.

Julkisuuslain (621/1999) 24.1§:n 10 kohdan mukaisesti salassa pidettävä aineisto on erillisessä liitteessä.

3. KANSALLISEN HUOLTOVARMUUDEN TOIMINTAYMPÄRISTÖ

Kansallisen huoltovarmuuden toimintaympäristö on jatkuvassa muutoksessa ja vaatii moniteknologista osaamista eri yhteiskunnan osa-alueilla. Huoltovarmuuden turvaaminen eri muodoissaan on osa kokonaisturvallisuutta (Luoma, 2016). Hyvin toimiva infrastruktuuri, yhteistyö ja osaajat ovat kaikissa tilanteissa yhteiskunnallemme välttämättömiä. Hankkeessa tarkasteltiin olemassa olevien aineistojen pohjalta kansallisen huoltovarmuuden toimintaympäristöä ja sen toimijoita.

Tavoitteena oli luoda yleiskuva huoltovarmuudelle keskeisten osa-alueiden osaamisista ja niihin liittyvistä toimijoista. Näitä ovat mm. koti- ja ulkomaiset tutkimuslaitokset, yritykset, yliopistot ja muut koulutuslaitokset. Erityisesti tarkasteltiin yleisellä tasolla mahdollisia epäjatkuvuuskohtia osaamisketjuissa, joissa osaaminen tai osaamisen jatkuminen on katkennut tai on muuten uhattuna.

Osaamisen huoltovarmuuden kannalta tarpeellinen osaaminen on geneeristä, mutta sitä on tarkasteltu maanpuolustuksen kannalta kriittisten teknologioiden ja huoltovarmuuden lähtökohdista. Maanpuolustuksen kannalta kriittiset teknologiat löytyvät taulukosta 1, joka pohjautuu Valtioneuvoston periaatepäätökseen Suomen puolustuksen teknologisen ja teollisen perustan turvaaminen (2016). Tausta-aineistona käytettiin PVTO2010-teknologiaohjelmaa varten laadittua tutkimusyhteisön kompetenssiluetteloa, jota päivitettiin nykytilaan. Teknologia-aluekohtaisten havaintojen lisäksi tutkimustyön kuluessa nousi esiin eräitä teknologia-alueille yhteisiä ja niitä poikkileikkaavia, osaamisen tilaan ja jatkuvuuteen liittyviä havaintoja. Monet näistä havainnoista kytkeytyvät yliopisto- ja tutkimusjärjestelmän viimeaikaisiin muutoksiin, joilla on seurausvaikutuksia osaamisen ylläpitoon tässä tarkastelussa mukana olleisiin teknologia-alueisiin.

Ensimmäinen havainto koskee yliopistojen siirtymistä ns. tenure track -järjestelmään ja siirtymän vaikutuksia puolustussektoriin kytkeytyvään tutkimustoimintaan. 2000-luvun kuluessa tenure track -urajärjestelmä on levinnyt Yhdysvalloista Helsingin yliopiston ja Aalto-yliopiston kautta useimpiin Suomen yliopistoihin. Tenure track ei kuitenkaan muodosta yhtä yhteistä mallia vaan eri yliopistojen käytännöt järjestelmän toteuttamiseksi eroavat toisistaan (Välimaa ym. 2016). Tyypillisiä piirteitä tenure track malleille ovat mm. tehtävien määräaikaisuus, kansainväliset haut ja hakijoiden ulkopuolinen arviointi. Tässä selvityksessä nähtiin, että tenure track -järjestelmän yleistyminen saattaa hankaloittaa maanpuolustuksen näkökulmasta kriittisen tutkimuksen tekemistä yliopistoissa. Tenure track -professoreihin rekrytoidaan yksinomaan tieteellisten meriittien perusteella ja haut ovat yleensä kansainvälisiä. Järjestelmän onkin nähty lisäävän suomalaisissa yliopistoissa avoinna olevien tehtävien houkuttelevuutta kansainvälisesti (Ibid. 62). Seurauksena on, että yhä enemmän yliopistojen avaintehtäviin valitaan ulkomaalaisia henkilöitä, mikä on maanpuolustukseen kytkeytyvän tutkimuksen näkökulmasta ongelmallista. Toinen haasteellinen ulottuvuus on tenure track -professuurien määräaikaisuus: tehtävät ovat yleensä alkuvaiheessa määräaikaisia, mikä johtaa aiempaa epäselvempään tilanteeseen avainhenkilöiden pysyvyyden suhteen.

Kansainvälisyyttä on yleisemminkin vahvasti korostettu tiedepoliittisissa ja yliopistojen strategioissa viime vuosina, ja tutkimusjärjestelmä onkin hiljaksen kansainvälistynyt. Kansainvälistymistrendiin liittyen nousi esiin epäily siitä, missä määrin yliopistoissa voidaan jatkossa tehdä maanpuolustuksen kannalta kriittistä tutkimusta. Puolustusvoimat on pyrkinyt

tukeutumaan yliopistojen tutkimukseen ja osaamiseen yhä enemmän viime vuosina, mutta jatkossa se voi olla aiempaa hankalampaa.

Toinen keskeinen poikkileikkaava havainto liittyy osaajien eläköitymiseen. Useilla teknologia-alueilla merkittävä joukko osaajia on jäämässä lähivuosina eläkkeelle. Osaamisen jatkuvuuden näkökulmasta hiljaisen tiedon siirtäminen nuoremmille tekijöille on tässä tilanteessa tärkeää. Selvityksen perusteella eräillä osaamisalueilla tietyissä organisaatioissa on menettelyjä osaamisen siirtämisen tukemiseksi. Laajemmassa mittakaavassa systemaattisia järjestelyjä ei kuitenkaan mitään luultavimmin ole luotu ja tähän olisi hyvä kiinnittää huomiota.

Kolmas yleinen huomio koskee yliopistojen ja tutkimuslaitosten viimeaikaisten leikkausten ja irtisanomisten aiheuttamaa ”sekaannusta”. Useammalla teknologia-alueella tutkimusorganisaatioissa tapahtuneet muutokset ovat olleet sikäli merkittäviä, ettei alueen toimijoilla ole välttämättä enää kokonaiskuvaa siitä missä mitään osaamista ja infrastruktuureja on ja mikä niiden tilanne on. Tämä on sikäli merkittävää, että Suomen kaltaisessa pienessä maassa asiantuntijoilla oman erikoisosaamisalueensa yleiskuva yleensä todennäköisesti pysyy yllä varsin hyvin, mutta näin ei ole viime aikoina ollut. Tilanne kuvastaa tutkimuskentän muutosten rajuutta viime vuosina.

Neljäntenä yleisenä huomiona voi nostaa esiin useiden haastateltavien esiin tuoman huolen korkeakouluopetuksen tilasta. Haastatteluissa tuotiin esiin näkemyksiä joiden mukaan yliopistoissa kurssivaatimuksia olisi helpotettu opiskelijoiden valmistumisen nopeuttamiseksi. Tämän tutkimuksen puitteissa ei ole ollut mahdollista tutkia tilannetta laajemmin ja tarkemmin, mutta asiaan tulisi kiinnittää huomiota huoltovarmuuden kannalta kriittisen osaamisen osalta.

Taulukko 1. Lista maanpuolustuksen kannalta kriittisistä teknologioista ja niihin perustuvista järjestelmäkokonaisuuksista (PLM 2016)

1) Johtamisen ja verkostotoiminnan- sekä tiedustelun, valvonnan ja maalittamistuen teknologiat (C4ISTAR) sisältäen: <ul style="list-style-type: none">• ohjelmistoteknologiat, mukaan lukien tiedon käsittelyn sovellusalueet, vaativa ohjelmistotuotanto sekä ohjelmistotuotannon turvallisuuden varmistaminen• tietoliikenne, erityisesti radiotiedonsiirto sekä tietoliikenneverkkojen teknologiat• tiedon salaukseen ja suojaukseen sekä kyber-toimintaympäristössä toimimiseen liittyvät teknologiat• elektronisen vaikuttamisen järjestelmien teknologiat ja muut sähkö- magneettisen spektrin käyttöön liittyvät teknologiat• sensorijärjestelmien sekä sensoritiedon käsittelyn (signaalinkäsittely) ja yhdistämisenteknologiat.
2) Materiaali- ja rakenneteknologiat sisältäen: <ul style="list-style-type: none">• häiveteknisen ja ballistisen suojan materiaaliteknologiat sekä herätteiden hallinnan teknologiat• erikoismateriaalien teknologiat ja -materiaalien vauriokorjauskyky• sotilaskäyttöön tarkoitettujen energettisten materiaalien teknologiat• Itämerellisen tai Suomen pohjoisen sijainnin erityisolosuhteiden materiaali- ja rakenneteknologiat• rakenteiden mekaniikka ja niihin liittyvä mallinnus- ja simulointikyky.
3) Moniteknologisten järjestelmien sekä järjestelmähallinnan teknologiat sisältäen: <ul style="list-style-type: none">• laajojen järjestelmäkokonaisuuksien teknis-toiminnallisen määrittelyn, suunnittelun, integroinnin, ylläpidon ja elinjakson hallinnan tarvitsemat ja hallinnan liittyvät insinööriyön teknologiat ja menetelmät• autonomisten ja autonomisia piirteitä sisältävien järjestelmien teknologiat.
4) Bio- ja kemian teknologiat sisältäen: <ul style="list-style-type: none">• kemiallisten aseiden vaikutuksilta sekä biouhkalta suojautumisen sekä suojele-tiedustelun teknologiat• energettisten materiaalien teknologiat erityisesti ruuti-, räjähd- ja ampumatarviketuotantoon ja räjähdeturvallisuuteen liittyen.

Lisähaastetta tuovat uudet teknologiat ja niiden hyödyntämismahdollisuudet, joiden osaamistarpeen ennustaminen on haastavaa tarvittavan osaamisen laaja-alaisuuden vuoksi. Nämä luovat myös uusia uhkakuvia, joiden ymmärtämiseen vaaditaan uutta osaamista. Tunnistettuja uusia osaamisalueita ovat muun muassa kompleksisuuden ja riippuvuuksien lisääntyminen, uudet toimijaverkot ja toimintamallit. hybridiuhat, sosiaalinen media ja trollit, tekoäly ja synteettinen biologia, joiden osaajia tarvitaan tulevaisuudessa.

Osaamisen pullonkauloja huoltovarmuuden kannalta luo myös tukeutuminen kolmanteen sektoriin ja vapaaehtoiisiin. Kriisitilanteessa kolmannen sektorin resurssit eivät ole käytössä, koska moni on työllistetty jo työnsä/virkansa puolesta. Toisaalta kolmannella sektorilla on jopa vapaaehtoisista eikä koulutautumista tapahdu. Lisäksi samat henkilöt ovat usein mukana monessa toiminnassa eli jäsenmäärät eivät kerro oikeaa käytettävissä olevaa resursssia.

Muita esiin nousseita epäjatkuvuuskohtia oli osaajien siirtyminen työelämässä muille aloille, joissa kriittinen osaaminen ei enää säily. Tätä kehitystä tukevat niin normaali urakehitys kuin

viime vuosina yleiset henkilökunnan vähennykset, jotka hävittävät niin osaajia kuin osaamisia. Joillain aloilla heikko työllistyminen Suomessa ajaa osaajia etsimään työuraa ulkomailta, jolloin he eivät välttämättä ole kansallisesti käytettävissä.

4. OSAAMISEN TILA - TARKASTELU KOLMESTA KRIITTISESTÄ TEKNOLOGIA-ALUEESTA

Tässä luvussa tarkastellaan osaamisen tilaa kolmella maanpuolustuksen kannalta tärkeällä teknologia-alueella: 1) rakenne- ja materiaalitekniikat, 2) kemialliset ja biologiset uhat terveydenhuollossa sekä niihin liittyvät teknologiat sekä 3) sensorijärjestelmiin ja sensoritiedon käsittelyyn liittyvät teknologiat. Kullakin teknologia-alueella tarkastellaan alan toimijakenttää, osaamisen nykytilaa ja kehitysnäkymiä sekä osaamisen jatkuvuutta ja mahdollisia osaa-
misaukkoja.

4.1 Rakenne- ja materiaalitekniikat

Tässä luvussa tarkastellaan kansallista osaamista rakenne- ja materiaalitekniikan alu-
eella. Rakenne- ja materiaalitekniikan määrittelyssä lähtökohtana on ollut Valtioneuvos-
ton periaatepäätöksessä Suomen puolustuksen teknologisen ja teollisen perustan turvaami-
sesta (Valtioneuvosto 2016) esitetty jaottelu. Sen mukaisesti analyysi on kohdistettu seura-
aviin osa-alueisiin: häivetekniikan ja ballistisen suojan materiaalitekniikat sekä herätteiden
hallinnan teknologiat, erikoismateriaalien teknologiat ja -materiaalien vauriokorjauskyky, so-
tilaskäyttöön tarkoitettujen energiseettisten materiaalien teknologiat, itämerellisen tai Suomen
pohjoisen sijainnin erityisolosuhteiden materiaali- ja rakennetekniikat, rakenteiden meka-
niikka ja niihin liittyvä mallinnus- ja simulointikyky. Tämä luku seuraa tätä jaottelua.

Tutkimuksessa tarkastellaan rakenne- ja materiaalitekniikan osaamista siis yllä mainittu-
jen osa-alueiden kautta, eikä siinä ole tehty geneerisempää tarkastelua esim. materiaalitu-
kimuksen ja -tieteen tilasta Suomessa. Yllämainitut osa-alueet ovat varsin spesifejä ja vaati-
vat erikoistunutta osaamista ja näin ollen tarkastelu on kohdistettu tarkempiin osaamisiin.
Samalla luonnollisesti huomioidaan se, että erikoistuneen osaamisen taustalla on yleisem-
pää kyseisen tieteen- ja tutkimusalueen osaamista. Yleisemmän materiaalitekniikan tutkimuk-
sen tason osalta voidaan yleisellä tasolla viitata Suomen Akatemian muutaman vuoden ta-
kaiseen Suomen tieteen tila -raportin materiaalitekniikan tieteenalaraporttiin, jossa todetaan,
että materiaalitekniikan ja niihin liittyvien luonnontieteiden taso on varsin hyvää kansainvä-
listä tasoa Suomessa (Suomen Akatemia 2012). Suomessa on raportin mukaan hyvä perus-
koulutustaso, joka tuottaa vahvaa tutkimusta laajalla alueella ja synnyttää geneeristä osaa-
amista. Raportin mukaan tietyt osa-alueet, kuten esimerkiksi materiaalien mallinnus ja simu-
lointi, ovat selkeästi kansainvälisellä huipulla.

Häivetekniikan suojan materiaalitekniikat

Häivetekniikan ratkaisujen tarkoituksena on estää tai vaikeuttaa vastustajan tiedustelua pyr-
kimällä saattamaan suojattavan kohteen synnyttämät herätteet yhteneväisiksi kohteen ym-
päristön kanssa (Hallenberg ym. 2008, 439). Häivetekniikalla pyritään siis estämään vastus-
tajan rakentamasta tilannekuvaa, johtaa toimintaansa ja päästä vaikuttamaan. Erilaisilla häi-
vemateriaaleilla ja rakenteilla on erilainen merkitys häivetekniikassa riippuen sähkömag-
neettisen spektrin aallonpituudesta (ibid). Optisella alueella (UV-VIS-NIR) häivetekniikka pe-
rustuu perinteisesti pinnoitteisiin ja naamiokuvaointiin ja -maalaukseen. Uudempia ratkaisuja
ovat adaptiivisen häivetekniikan tuotteet ja materiaalit kuten ohuet ja taipuisat näytöt, älyk-

käät tekstiilit ja materiaalit sekä elektrokromiset materiaalit (ibid.). 2000-luvulla sensorien kehitykseen vastaamiseksi uusia häivemateriaalisia ratkaisuja optisella alueella on etsitty mm. lehtivihreän käytöstä naamiomaalissa (esim. hyperspektrikuvausta vastaan) (Tuohimaa 2014; Puolustusvoimien tutkimuslaitos 2015). Termisellä infrapuna-alueella häivemateriaalisina ratkaisuin voidaan käyttää esimerkiksi matalaemissiivisiä pinnoitteita, monitoiminnallisia kerrosmateriaaleja, erikoisrakenteita tai adaptiivisia materiaaleja (ibid.).

Tutkataajuuksilla häivemenetelminä voidaan käyttää muotoilua, tutkasäteilyn absorboimista (tutkasäteilyn vaimentaminen absorptiomateriaaleilla), vaimennusrakenteita tai tutkasäteilyä läpäiseviä rakenteita (Hallenberg ym. 2008, 456; Kosonen & Solante 2013, 331-332). Tutkasäteilyä absorboivat materiaalit (RAM, Radar Absorbent Material) pyrkivät estämään tutkasäteilyn heijastumisen materiaalin pinnasta ja vaimentamaan säteilyä. Tutkasäteilyä absorboiva materiaali voi olla osa kohteen rakennetta (esim. hiilikuiturunko). Metallirakenteet voidaan pinnoittaa erillisellä absorboivalla pinnoitteella tai tutkasäteilyä vaimentavalla maalilla (ibid. 333). RAM-materiaalit jaetaan perinteisesti dielektrisiin materiaaleihin, joilla pyritään kumoamaan tutkapulssin vaihe ja magneettisiin materiaaleihin, joilla pyritään muuttamaan tutkasäteily lämmöksi. Tunnettuja perinteisiä absorboivia materiaaleja ovat esimerkiksi ns. salisbury screen, Jaumann-rakenteet, rautaoksidit ja karbonyylirauta. Edistyneempinä absorboivina materiaaleina voidaan pitää esimerkiksi komposiitteja ja metamateriaaleja (Haapamaa 2015; Hallenberg ym. 2008, 459). RAM-materiaalien ohella yhä suuremman merkityksen ovat saamassa tutkavaimennusrakenteet (Radar Absorbent Structure, RAS), sähköä johtavat elastomeerit, älykkäät tutkavaimennusmateriaalit ja plasma (Hallenberg ym. 2008, 460-462).

Häivemateriaalisissa ratkaisuissa on kyse sähkömagneettisen säteilyn ja materiaalien vuorovaikutuksesta ja ratkaisuissa tarvitaan sekä signaalikäsittelyn osaamista että materiaali-tekniikasta osaamista. Aihealue on hyvin poikkeuksellinen ja vaatii erilaisten osaamisten yhdistämistä. Perustieteenaloja, joihin osaaminen perustuu, ovat erityisesti antennitekniikka, sähkömagneetiikka (RF-taajuudet) ja tietoliikennetekniikka sekä materiaali-tekniikka. Lisäksi on huomioitava, että häivetekniset ratkaisut riippuvat sovelluskohteesta (laivat, lentokoneet, ajoneuvot jne.), ja tämä asettaa lisää vaatimuksia osaamisen suhteen.

Häivetekniseen suojaan liittyvää materiaali-tekniikasta osaamista on sekä korkeakouluissa, tutkimuslaitoksissa että yrityksissä ja Puolustusvoimien taistelukeskuksissa. Tässä selvityksessä tarkasteltiin mm. seuraavia organisaatioita: Aalto-yliopisto, Tampereen teknillinen yliopisto, Oulun yliopisto, VTT, Puolustusvoimien tutkimuslaitos, FY-Composites, Patria, Scantarp ja Conlog.

Ballistisen suojan materiaali-tekniikat

Ballistisen suojan materiaali-tekniikoilla on tarkoitus tuottaa kineettistä suojaa erilaisia ammuksia ja iskuja vastaan. Suojamateriaalien suojausominaisuus perustuu joko materiaalin kykyyn absorboida iskuenergiaa tai muuttaa ammuksen suuntaa ja hajottaa itse ammusta (Erkkilä ym. 2008, 430). Teräs on käytetyin ballistinen suojamateriaali ja sen etuina ovat mm. moniosumakestävyys ja kustannustehokkuus suurien pinta-alojen suojauksessa. Muita ballistisia suojamateriaaleja ovat komposiittimateriaalit ja lujitekuidut (mm. aramidikuidut, hiilikuidut ja niistä muodostetut hybridilujitteet), keraamit, titaani, alumiini ja nanomateriaalit. Komposiittimateriaalien etuna on niiden monifunktionaalisuus ja suojauskyky (massatehokkuus, ml. ominaisjäykkyys, ja -lujuus, sitkeys), ja niitä on käytetty esimerkiksi kypärien ja suojaliivien valmistukseen. Titaaniseosten etuina ovat mm. suuri ominais- ja väsymislujuus

ja sitkeys (myös alhaisissa lämpötiloissa) sekä korroosion kesto (pintaa suojaavan oksidikerroksen ansiosta). Haittapuoliksi voidaan lukea haasteellinen valmistustekniikka (taipumus sitoa itseensä happea ja vetyä sekä voimakas muokauslujittuminen, mikä vaikeuttaa lastuamista). Tämä osaltaan kasvattaa titaanin kohdalla lopputuotteen hintaa. Keraameja käytetään esimerkiksi komposiittirakenteen pintamateriaalina luodinkestävässä henkilösuojaimissa ja yleisemmin suojamateriaalina kovia panssariammuksia vastaan. Ballistissa suojaratkaisuisissa käytetyin keraamimateriaali on alumiinioksidi. (ibid.). Viime vuosina keskeisiä suojamateriaaleja ovat olleet alumiinioksidin ohella myös piikarbidi ja boorikarbidi (Alhava 2014).

Ballistisen suojan materiaaliteknologian osaamisen kannalta keskeisiä perustieteenaloja ovat teknillinen mekaniikka/lujuusoppi, materiaalitekniikka, metallurgia sekä yleisemmin fyysikka ja kemia. Tärkeää on ymmärrys materiaalien käyttäytymisestä sekä energian absorptiosta.

Ballistisen suojan materiaaliteknologian osaaminen on Suomessa keskittynyt tutkimuslaitoksiin ja muutamiin yrityksiin. Tässä selvityksessä tarkasteltiin mm. seuraavia organisaatioita: VTT, Puolustusvoimien tutkimuslaitos, Tampereen teknillinen yliopisto, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, FY Composites, Exote, Patria, SSAB/Ruukki, Outokumpu, Miilux, Scantarp, Fincon, Protolab, Verseidag Ballistic Protection Oy, Kimmelux, Conlog ja C.P.E. Production Oy.

Erikoismateriaalien teknologiat ja -materiaalien vauriokorjauskyky

Erikoismateriaalien teknologioilla ja erikoismateriaalien vauriokorjauskyvyllä viitataan tässä erityisesti ilma-alusten, mutta myös laivojen, kevytrakenteisiin, ja tässä kontekstissa ne erityisesti kytkeytyvät Ilmavoimien pääkaluston rakenteiden elinkaaren turvaamiseen. Lentokoneiden kuormaa kantavien rakenteiden osalta materiaalimaailma voidaan karkeasti jakaa kahteen, metallimateriaaleihin ja muovikomposiittimateriaaleihin (Lahtinen ym. 2008). Kuormaa kantavissa rakenteissa nykyaikaisen ilmailuteollisuuden keskeisiä materiaaleja ovat olleet alumiini-, teräs- ja titaaniseokset sekä kasvavassa määrin myös muovikomposiittimateriaalit ja -rakenteet mukaan lukien monoliittiset rakenteet ja kerroslevyrakenteet. Lujitteista hiilikuitu on tärkein, ja matriisiaineista keskeisin on epoksi. Titaaniseosten käyttöä rajoittaa niiden korkea kustannustaso, mutta niitäkin käytetään. Sotilasalan lentokoneissa muovikomposiittien rooli on ollut merkittävä jo pitkään, ja niiden merkitys kasvaa jatkossa (vrt. Hornetin seuraaja ja uusi Grob-alkeiskoulukone). Muovikomposiittimateriaalien käytön etuina metallimateriaaleihin verrattuna ovat mm. kantavien rakenteiden tehokas valmistus materiaalin mekaanisten ominaisuuksien suuntausmahdollisuuksien ansiosta, painon säästö, erinomainen väsymiskestävyys ja häiveominaisuudet. Haittapuolina voidaan mainita mm. korkeat valmistuskustannukset (sisältäen mm. kattavat laadunvarmistustoimenpiteet), rajoitettu iskuvaurioiden sietokyky² sekä alhaisempi lämpötilan kesto. (Ibid.). Muovikomposiittirakenteet ovat tyypillisesti metallirakenteita vaativampia myös vauriokorjausten näkökulmasta, sillä vauriomekanismien monimuotoisuus lisää korjaustoimenpiteiden haastavuutta. Muovikomposiittirakenteita voidaan korjata mekaanisin liitoksien ja/tai liimaliitoksien.

Tieteenaloista erikoismateriaalien teknologioihin liittyvä osaaminen kytkeytyy erityisesti lentotekniikkaan (aeronautical engineering) ja koneenrakennukseen (kevytrakenteet, erityisesti

² Vrt. BVID (Barely Visible Impact Damage) -vauriot: Matalaenergisien iskun seurauksena rakenteen pinta saattaa näyttää ehjältä, mutta syntyneiden delaminaatioiden vuoksi rakenne ei enää kannu kuormaa suunnitellusti.

muovikomposiittirakenteet, mekaniikka, lujuusoppi, mittaustekniikka, materiaalitekniikka, virtausdynamiikka).

Yliopisto- ja tutkimuspuolella erikoismateriaalien teknologioihin ja -materiaalien vauriokorjauskykyyn liittyvä kenttä on viime vuosina ollut myllerryksessä. Taustalla on erityisesti Aalto-yliopistossa 2010-luvun alussa tehdyt lentotekniikan ja komposiittien opetukseen ja tutkimukseen tehdyt muutokset, jonka seurauksena mm. kevytrakennetekniikan laboratorio lopetettiin. Alueeseen liittyvää osaamista on Suomessa yliopistoissa, tutkimuslaitoksissa ja yrityksissä. Tässä selvityksessä tarkasteltiin mm. seuraavia organisaatioita: Aalto-yliopisto, Tampereen teknillinen yliopisto, VTT, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Tampereen ammattikorkeakoulu, Ilmavoimat, Patria, Finflo, Finnair, TrueFlaw, Emmecon, Millidyne ja Insta ILS.

Sotilaskäyttöön tarkoitettujen energeettisten materiaalien teknologiat

Energeettisten materiaalien teknologioilla tarkoitetaan tässä räjähteitä, räjähdysaineita, ruuteja ja pyroteknisiä aineita.³ Räjähdysaine on sellainen aine, joka pystyy kemiallisesti reagoimalla tuottamaan kaasua, jonka lämpötila, paine ja muodostumisnopeus ovat sellaisia, että niistä muodostuu vahinkoa aineen ympärillä. Ruudiksi kutsutaan ajoaineena käytettävää räjähdysainetta, joka tuottaa esimerkiksi ammuksen, ohjuksen tai raketin liike-energian. Ruudit jaetaan käyttötapaansa ja -tarkoituksensa perusteella raketiruutiin ja aseruutiin. Pyrotekninen aine on puolestaan aine, jonka tarkoituksena on tuottaa itsestään etenevien, lämpöä kehittävien kemiallisten reaktioiden seurauksena lämpöä, valoa, ääntä, kaasua, savua tai näiden yhdistelmiä ilman, että tapahtuman aiheuttajana olisi varsinainen räjähdys (Tuukkanen ym. 2008).

Energeettisten materiaalien teknologioiden osaamisen kannalta keskeisessä roolissa ovat kemian ja materiaalitekniikan osaaminen. Räjähdetekniikka perustuu ennen kaikkea kemian osaamiseen. Patruunoiden, kranaattien ja miinojen osalta tärkeitä osaamisaloja ovat metallurgia, materiaalitekniikka, konepajatekniikka ja valmistusteknologiat.

Energeettisten materiaalien osalta tarkasteltiin mm. seuraavia organisaatioita: Puolustusvoimien tutkimuskeskus, Nammo Lapua Oy, Nammo Vihtavuori Oy, Forcit Oy, Raikka Oy ja Sako sekä eräitä viranomaistoimijoita (Keskusrikospoliisi, Turvatekniikan keskus).

Itämerellisen tai Suomen pohjoisen sijainnin erityisolosuhteiden materiaali- ja rakenneteknologiat

Itämerellisen tai Suomen pohjoisen sijainnin erityisolosuhteiden materiaali- ja rakenneteknologiat rajataan tässä tarkoittamaan lähinnä arktisen merenkulun osaamista. Aihealueeseen voitaisiin lukea kuuluvaksi myös muita alueita, kuten esimerkiksi meritekniologian osaaminen laajemmin, mutta seuraavassa tarkastelu on rajattu arktiseen merenkulkuun liittyvään materiaali- ja rakenneteknologiseen osaamiseen.

Aihealueen osaamisessa keskeisiä osa-alueita ovat lujuusoppi, metallioppi, virtausmekaniikka, jäämekaniikka, laivahydrodynamiikka ja laivanrakennus. Aihealueen keskeisin materiaali on teräs (erityisesti erikoislujat seokset) sen mekaanisten (jää) ja termisten (kylmyys)

³ Tässä tarkastelussa ei ole rajoitettu puhtaasti sotilaskäyttöön tarkoitettujen energeettisten materiaalien teknologioiden osaamiseen vaan on tarkasteltu jossain määrin yleisemmin energeettisiin teknologioihin liittyvää osaamista.

kuormitusten kestävyys takia. Muista materiaaleista jään ja kylmän kestävyys näkökulmasta alumiini ja komposiitti ovat teräkseen verrattuna hauraampia. Titaani puolestaan on kalliimpi. Potkureiden kohdalla mm. pronssi on tärkeä.

Alan osaamista on Suomessa laajasti yritys kentällä sekä tutkimusorganisaatioissa. Tässä selvityksessä tarkasteltiin mm. seuraavia organisaatioita: Aalto-yliopisto, Oulun yliopisto, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Tampereen teknillinen yliopisto, VTT, Ilmatieteen laitos, Aker Arctic, Arctech Helsinki Shipyard, Rauma Marine Constructions, Meyer Turku, Elomatic, Deltamarin, ABB Marine & Ports, Rolls Royce, Tevo, Steerprop, Wärtsilä, SSAB, Uudenkaupungin työvene sekä Puolustusvoimat ja eräät viranomaistahot (esim. Trafi).

Rakenteiden mekaniikka ja niihin liittyvä mallinnus- ja simulointikyky

Materiaalien mallinnusta tehdään karkeasti kolmella tasolla: makro, mikro tai meso ja nano. Makrotason mallinnuksessa kyse on millemistä ja senteistä, ja sitä tehdään paljon mm. teollisuudessa. Mikro- tai mesotason mallinnuksessa kyse on mikrometreistä ja siinä tarkastellaan rakenteiden mikrorakennetta, ja rakenteiden kestävyys on keskeinen ulottuvuus. Nanotasolla liikutaan atomi- ja molekyyli tasolla ja nanotason mallinnus kytkeytyy usein fysiikan ja kemian perustutkimukseen.

Rakenteiden mekaniikan ja materiaalien mallinnuksen ja simuloinnin osaaminen perustuu ennen kaikkea materiaalitekniikkaan ja ohjelmisto-osaamiseen (koodaus). Rakenteiden mekaniikka edellyttää fysiikan, lujuusopin ja materiaalitieteen osaamista. Mallinnuksessa ja simuloinnissa avainasemassa on koodausosaaminen ja laskennallinen osaaminen. Mallinnus- ja simulointiosaamista voidaan pitää pitkälti myös työkaluna rakenne- ja materiaalitekniikan kokonaisuuden muille osa-alueille.

Materiaalitekniikan mallinnus- ja simulointiosaamista on Suomessa sekä tutkimusorganisaatioissa että yrityksissä. Tässä selvityksessä tarkasteltiin mm. seuraavia organisaatioita: VTT, Aalto-yliopisto, Tampereen teknillinen yliopisto, Jyväskylän yliopisto, Helsingin yliopisto, Oulun yliopisto, Lappeenrannan teknillinen yliopisto sekä eräitä yrityksiä.

Julkisuuslain (621/1999) 24.1§:n 10 kohdan mukaisesti salassa pidettävä aineisto on erillisessä liitteessä.
--

4.2 Kemialliset ja biologiset uhat terveydenhuollossa sekä niihin liittyvät osaamiset

Tässä osiossa keskitytään B ja C uhkiin (www.unog.ch/bwc, EU 2008, Verifin 2009, THL 2014, TTL 2016, Sissonen et al. 2012) painottaen terveydenhuollon näkökulmaa. Suomessa biologisiin ja kemiallisiin uhkiin liittyvät tehtävät löytyvät useammasta lainsäädännöstä. Näin sekä B- että C-uhkiin varautuminen ja reagointi on organisoitu useamman toimijan yhteistyönä. 23.11.2003 julkaistu Yhteiskunnan elintärkeiden toimintojen turvaamisen (YETT) strategia (YETT-strategia) nimesi yhtenä kehittämisen painopistealueena valmiuden kehittämisen äkillisten vakavien infektioepidemioiden ja muiden kansanterveyttä vaarantavien uhkien varalta. Tarttuvia tauteja aiheuttavien mikrobin lisäksi vakavia uhkia voivat aiheuttaa myös kemikaalit mahdollisten joukkomyrkytysten muodossa. YETT-strategian mukaan biologisia ja kemiallisia uhkatekijöitä varten tuli kehittää valtakunnallisia päivystysjärjestelmiä ja osaamiskeskuskeskuksia. Tänä päivänä Suomessa toimii Biologisten uhkien osaamiskeskus BUOS

(THL 2014) sekä Vakavien kemiallisten uhkien osaamiskeskus C-osaamiskeskus, (TTL 2016).

Tässä yhteydessä biologinen uhka eli biouhka on mikrobin tai biologisen materiaalin aiheuttama joukkosairastuminen tai sen uhka, kun tauti ei tartuntavaaransa vuoksi ole hoidettavissa normaalitoiminnan puitteissa tai kun kyseessä on laaja joukkosairastuminen, jonka hallitsemiseen tavanomaiset resurssit eivät riitä. Kyseessä voi olla myös mikrobin tai toksinin eli biologisen organismin tuottaman myrkyllisen aineen tahallinen levitys. (THL 2014)

Vaarallisten kemikaalien valmistuksessa, varastoinnissa, kuljetuksessa ja käytössä voi onnettomuuden ja muiden tahattomien päästöjen seurauksena syntyä vakavia uhkia väestön terveydelle ja turvallisuudelle. Lisäksi vaarallisen kemikaalin salakuljetus, välittäminen, valmistaminen tai levittäminen tahallisessa, rikollisessa tarkoituksessa on osa ajankohtaista uhkakuvaa. Jos tarkoituksena on vahingoittaa ihmisiä, voidaan käyttää kemikaaleja, jotka ovat erityisen myrkyllisiä ja joista on hyvin vähän kokemuksia normaaleissa oloissa tai niitä voidaan käyttää sellaisina määrinä, seoksina tai tavoilla, joita on vaikea ennakoida. Siksi myös niiden aiheuttamien vaarojen torjunnan osaaminen voi olla puutteellista. Kemikaalien muodostamat uhkat terveydelle ja turvallisuudelle on tiedostettu sosiaali- ja terveysministeriön, sisäministeriön ja puolustusministeriön toimialoilla, mikä on johtanut yhteistyön kehittämiseen ja yhteistyöverkoston luomiseen aihealueen ympärille. (TTL 2016)

Suomen terveydenhoidon valmiutta B- ja C-uhkien hallinnassa on arvioitu WHO:n maareportissa (WHO 2017). Suomessa asiat on hoidettu hyvin ja tarvittavat toiminnot on rakennettu kansainvälisten sopimusten mukaisesti, mutta parannettavaakin meillä vielä on muun muassa osaamisen säilymisen varmistamisessa tulevaisuudessa.

Tällä aihealueella osaaminen perustuu perustieteisiin ja varsinainen osaaminen kehittyy vasta työelämässä. Osaamista kehittävä toimijakenttä on myös vahvasti kansainvälisesti verkottunut. Toiminta on globaalia ja kansainvälisistä yhteyksistä keskeisiä ovat BCW (Biological Weapons Convention), OPCW (Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons) ja WHO (World Health Organization). Erilaisia kansainvälisiä yhteyksiä hyödynnetään laajasti EU:n sisältä ja mm. USA:n ja Kanadan kanssa on yhteistyötä.

Tässä osiossa ei ole tarkasteltu B- ja C-sensortechnologiaa, vaan se löytyy luvusta 4.3.

Toimijakenttä tällä aihealueella koostuu alan perustieteitä opettavista yliopistoista, alaan liittyvistä tutkimuslaitoksista ja osaamiskeskitymistä, yliopisto- ja keskussairaaloista, pelastuslaitoksista sekä alan yrityksistä ja puolustusvoimista. Tässä selvityksessä tarkasteltiin Biologisten uhkien osaamiskeskukseen (BUOS), Suomen bioturverkoston, Vakavien kemiallisten uhkien osaamiskeskukseen (C-osaamiskeskus) ja Zoonosikeskuksen toimintaa, sekä mm. seuraavia organisaatioita: Terveyden ja hyvinvoinnin laitos (THL), Työterveyslaitos (TTL), Elintarviketurvallisuusvirasto Evira, Helsingin yliopiston Kemiallisen aseiden kieltosopimuksen instituutti (Verifin), Myrkytystietokeskus, Suomen ympäristökeskus (SYKE), Pelastusopisto, Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes), Huoltovarmuuskeskus, Puolustusvoimien yksiköistä Sotilaslääkätieteen keskus (SOTKL) ja Puolustusvoimien tutkimuslaitos (PVTUTKL), Environics Oy, Samplion Oy ja CBRN-Finland.

Suomessa on myös yrityksiä, jotka eivät toimi C- tai B-uhkien aihealueella, mutta joiden osaaminen hyödyttäisi kehitystä. Erityisesti teknologisen kehityksen tuomat uudet mahdollisuudet luovat tarvetta uusille osajille, osaamisyhdistelmille ja yrityksille.

Julkisuuslain (621/1999) 24.1§:n 10 kohdan mukaisesti salassa pidettävä aineisto on erillisessä liitteessä.

4.3 Sensorijärjestelmiin ja sensoritiedon käsittelyyn liittyvät teknologiat

Sensorijärjestelmät

Sensori, toiselta nimeltään anturi, on laite, joka mittaa ympäristöstä muun muassa lämpötilaa, valoa, ääntä, painetta, magneettisuutta tai liikettä, ja välittää mittaustiedon eteenpäin mittarille tai automaatiolle, tyypillisesti muuttamalla mittaustiedon sähköiseksi signaaliksi⁴ (Nenonen 2009).

Mikroanturit (Micro Electro Mechanical Systems, MEMS-anturit) ovat antureita, joiden yksittäisten rakenneosien koosta puhutaan millimetrin tuhannesosina (mikrometri, μm). MEMS-antureiden etuja ovat pieni koko ja massa, vähäinen tehonkulutus, herkkyys ja tarkkuus. Niihin pystytään myös integroimaan jo valmistusvaiheessa signaalinkäsittelyelektronikkaa. Esimerkiksi Murata valmistaa kapasitiivisia MEMS-kiihtyvyyden- ja paineantureita, joita käytetään muun muassa ajovakaudenjärjestelmissä ja lukkiutumattomissa jarrujärjestelmissä. MEMS-anturit valmistetaan piikiekolle (Nenonen 2009).

Piikiekon valmistus alkaa kiteenkasvatuksesta. Puhdistetusta ja sulatettuun polypiihin kastetaan siemenkide, josta alkaa hitaasti kasvaa tanko (sylinterimäinen erilliskide). Czochralski-menetyksessä tanko syntyy nostamalla siemenkidettä inertissä (kemiallisesti kyvytön reagoimaan muiden aineiden kanssa) kaasussa sulasta ylös. Valmis tanko (kide) katkaistaan, hiotaan ja sahataan timanttiterällä tai metallilangalla, johon on sijoitettu leikkaavia timantteja. Tankoja kasvatetaan eri paksuuksilla. Piikiekon halkaisija on tyypillisesti 25 - 300 millimetriä, ja tyypillinen paksuus 0,3 - 0,8 millimetriä. Kiekkoa käsitellään mekaanisesti ja kemiallisesti virheettömän pinnan takaamiseksi, ja jatkojalostetaan eri vaiheilla. Suuri osa kiekon prosessoinnista tapahtuu puhdistilassa, sillä puhtaus on piikiekon tärkein ominaisuus. Yhdellä kiekolla saadaan kerralla valmistettua kiekon koosta riippuen jopa useita tuhansia antureita. Suurempia kiekkoja kehitetään isomman tuotantokapasiteetin saavuttamiseksi. Pienempiä kiekkoja käytetään yleensä erikoisempien antureiden valmistuksessa, kun tuotantoerien koko ei ole tavoite. Piikiekkoja käytetään erilaisten mikroelektronikan komponenttien kuten puolijohteiden, transistorien, CMOS-piirien ja mikropiirien pohjalevynä ja kasvatusalustana.⁵

SOI-kiekko (Silicon On Insulator) on piikiekko, jossa kaksi piikiekkoa on liitetty toisiinsa ja niiden välissä on kerros eristävää piidioksidia. SOI-kiekoilla valmistetaan useimmiten anturielementit ja puolikohdekomponentit.⁶ Niiden tehonkulutus voi olla jopa 80 % pienempi kuin tavalliselle piikiekolle valmistettujen komponenttien, ja ne voivat olla jopa 50 % nopeampia.⁷

Terahertsiteknologiassa puhutaan sähkömagneettisen spektrin taajuusalueesta 300 - 3000 GHz, joka vastaa aallonpituuksia 0,1 - 1 mm, kun taas millimetriaallot ovat taajuudella 30 - 300 GHz, joka vastaa aallonpituuksia 1 - 10 mm. Terahertsialuetta kutsutaan toisinaan alimillimetriaalloksi (submillimeter-wave). Terahertsikameraa käytetään esimerkiksi turvatarkastuksissa kuvaamaan kohteita säteilyttämättä niitä. Laitteella nähdään, onko henkilöllä

⁴ <https://www.merriam-webster.com/dictionary/sensor>

⁵ <https://www.okmetic.com/fi/yritys/piikiekon-tarina>, <https://fi.wikipedia.org/wiki/Piikiekko>

⁶ <https://www.okmetic.com/fi/tuotteet/tuotevalikoima/soi-kiekot>

⁷ <http://www.courses.physics.helsinki.fi/fys/lukseminaari/kl2012/Ilmola-kooste.pdf>

metalliesineitä vaatteidensa alla. Terahertsikameraa on käytetty myös muun muassa seuraamaan palovammojen kehittymistä iholla⁸. Millimetriaaltoja käytetään muun muassa varashälyttimissä ja autojen pysäköintitutkissa.

Fotoniikka on teknologia, joka keskittyy valon tuottamiseen, muokkaamiseen ja tarkkailuun. Sen sovelluksia ovat esimerkiksi valokuitu, konenäkö, virtuaalitodellisuus, elekäyttöliittymät sekä mittalaitteet, kuten nopeus- ja etäisyystutkat. Tekniikka ja Talous uutisoi lokakuussa 2017, että Suomi on optiikan ja optoelektroniikan tutkimuksen kärkimaita, ja kertoo alan kasvavan seuraavan kolmen vuoden aikana 30 prosenttia vuosittain. Lehti kertoo myös Suomessa olevan 200 fotoniikka-alan yritystä, ja alan työllistävän noin 4 000 henkilöä. Alalla toimii 700 tutkijaa. Fotoniikan instituutti toimii Itä-Suomen Yliopiston Joensuun kampuksella, ja osaamiskeskittymiä on myös Oulussa (esim. Oulun yliopiston Optoelektroniikan ja mittaustekniikan yksikkö OPEM), Tampereella (Tampereen teknillisen yliopiston fotoniikan laboratorio) ja Espoossa (Aalto-yliopiston Elektroniikan ja nanotekniikan laitoksen fotoniikan tutkimusyksikkö) sekä VTT:llä (fotoniikan tutkimusryhmä Espoossa ja Oulussa).

Hiukkasilmäimet, toiselta nimeltään säteilyilmäimet, perustuvat säteilyn ja aineen vuorovaikutukseen. Siinä havainnoidaan väliaineen - kaasun, nesteen tai kiinteän aineen - muutoksia ja muunnetaan ne signaalinkäsittelyjärjestelmän avulla sellaiseen muotoon, jota voidaan laskea, kerätä tai lajitella sen mukaan, mitä tietoa säteilystä halutaan saada. (STUK 2002).

Sensorialan tutkimusta vauhdittaa tällä hetkellä Suomessakin eniten ajoneuvopuoli. Pienet miehittämättömät ilma-alukset eli dronet automatisoituvat ja niitä saa jo parilla sadalla eurolla. 80-90 -luvulla sensoreiden ensimmäinen aalto käynnistyi autoteollisuudessa, yhtenä esimerkkinä turvatyynyissä. 2000-luvulla tuli kulutuselektroniikan buumi, minkä seurauksena antureiden määrä esim. matkapuhelimissa on kasvanut. MEMS-anturipuolella odotetaan kovasti seuraavaa isoa buumia esineiden internetistä (IoT) ja pilveen siirrettävästä tiedosta sekä paineantureista ja liikkeentunnistuksesta. Erilaiset itsetestit ovat yleistyneet ja apteekista voi ostaa testejä, joista tuloksen näkee heti, tai sen voi lähettää analysoitavaksi. Tyypillisesti sensorit ovat aluksi olleet puolustusteollisuuden käytössä ennen kuin niiden hinta on laskenut siihen, että ne on otettu kuluttajienkin käyttöön. Haastatteluissa heitettiin ilmaan näkemys, että tilanne saattaisi olla muuttumassa toisinpäin.

Turvallisuusteknologioiden kysyntä ja tutkimus on kasvanut esimerkiksi terrorismin vuoksi. Rajavalvontateknologioita kehitetään muun muassa siihen, että nähdään missä päin merellä pakolaiset ovat menossa. Samalla myös mahdollisimman paljon ei-yksityisyyttä -häiritsevien turvallisuusteknologioiden, kuten terahertsikameroiden kysyntä kasvaa. Terahertsikamerat voivat olla esimerkiksi ohikäveltäviä sensoreita, joilla saadaan lisää turvallisuutta suuriin yleisötilaisuuksiin, tekemättä kuitenkaan yhtä perusteellista ja aikaa vievää turvatarkastusta kuin lentokentillä. Optiikka ja MEMS:iin perustuva fotoniikka ovat Suomessa ja maailmalla tällä hetkellä aktiivisia tutkimusaiheita. Pii-integrointitekнологioita pyritään kehittämään, jotta optiset komponentit saataisiin kutistettua pienemmiksi. Alaa vie eteenpäin erityisesti optinen tietoliikenne. Tällä hetkellä on tarjolla runsaasti kuituteknologiaa, mutta sen ongelmana on kuidun jakaminen, johon ratkaisuksi pitäisi kehittää optiikkaa. Okmeticin tavoitteena on valmistaa piikiekoja, joissa on tätä lisäarvoa. Tutkateknologia keskittyy Suomessa millimetriaaltoteknologiaan.

⁸ http://www.aalto.fi/fi/current/current_archive/news/2011-05-23-002/

Sensorijärjestelmien osaamista on Suomessa sekä tutkimusorganisaatioissa että yrityksissä. Tässä selvityksessä tarkasteltiin mm. seuraavia organisaatioita: Aalto-yliopisto, Advacam, Ajat, Ametek Finland, Asqella, Detection Technologies, Environics, Helsingin yliopisto, Hitachi High-Tech Analytical Science, Jyväskylän yliopisto, Murata Electronics, Okmetic, Oulun yliopisto (Centre for Wireless Communications, CWC), Oxford Instruments Technologies, Senop, Specim Spectral Imaging, Spectral Engines, Säteilyturvakeskus, Tampereen teknillinen yliopisto, Timegate Instruments, Turun yliopisto, Vaisala ja VTT.

Sensoritiedon käsittelyn teknologiat (signaalinkäsittely)

Signaalinkäsittelyllä tarkoitetaan yleensä digitaalista signaalinkäsittelyä (DSP). Tyypillisessä DSP-sovelluksessa A/D-muunnin (analoginen/digitaalinen) muuntaa vastaanotetun analogisen signaalin digitaalseksi, minkä jälkeen sitä voidaan muokata (eli suodattaa) tarpeesta riippuen käyttökelpoisempaan muotoon. Tämä tarkoittaa esimerkiksi signaalissa olevan kohinan poistamista, tai haluttujen asioiden erottamista. Muokkaamisen jälkeen signaali voidaan muuttaa takaisin analogiseksi D/A-muuntimella, tai hyödyntää digitaalisessa muodossa.

Käsiteltävä signaali voi esittää esimerkiksi kuvaa, ääntä, puhetta, pulssia, aivokäyrää, maanjäristystä, pörssikursseja tai mitä tahansa mitattavissa olevaa aikasarjaa. Esimerkiksi mikrofoni muuntaa mitatut pienet ilmanpaineen vaihtelut sähköiseen muotoon, josta tietokone muuntaa ne edelleen digitaaliseen muotoon tallentamalla jännitteen hetkelliset lukuarvot.

Analogista signaalia voi myös muokata muuttamatta sitä digitaalseksi. Tällöin se toteutetaan komponenteilla, jotka poimivat signaalista halutut taajuudet. Tässä, toisin kuin digitaalisessa muokkaamisessa, kertoimet voivat kuitenkin muuttua ajan myötä tai lämpötilan vaihdeltaessa, jolloin muunnos ei ole yhtä tarkka. Analogisista järjestelmistä voidaan kuitenkin tehdä yhtä tarkkoja, mutta tällöin niissä on käytettävä kalliimpia ja laadukkaampia komponentteja. Toinen digitaalimuunnoksen etu kustannusten suhteen on sen uudelleenkäytettävyys, kun samaa signaaliprosessoria voidaan käyttää useisiin eri sovelluksiin. Tällöin signaaliprosessoreita voidaan tehdä suuremmissa erissä, mikä laskee niiden hintoja.

Kaikissa tapauksissa analogista järjestelmää ei kuitenkaan kannata tai voi korvata digitaalisella. Tällaisia ovat esimerkiksi hyvin suuria taajuuksia sisältävät signaalit tai kun tarvitaan suurta laskentanopeutta tai alhaista virrankulutusta. Myös hyvin yksinkertaiset järjestelmät on helpointa toteuttaa analogisilla komponenteilla, jolloin ei tarvita A/D-, D/A-muuntimia eikä prosessoria. (Huttunen 2005) Radiotaajuisissa laitteissa on käytössä myös sekamuotoisia eli sekä analogisia että digitaalisia signaalinkäsittelypiirejä.

Suomessa signaalinkäsittelyä vauhdittaa eniten tietoliikenne, jossa matkapuhelinteknologiakehityksellä on merkittävä rooli. Aiemmin myös hahmontunnistus (pattern recognition) teki kovasti nousua, ja jatkaa sitä erityisesti globaalilla tasolla, kun hahmontunnistustekniikkaa sovelletaan esimerkiksi terroristien tunnistamiseen videokuvista. Esimerkiksi suomalainen Teleste-yritys on myynyt videovalvontajärjestelmät kaikille Pariisin rautatieasemille. Näillä havaitaan esimerkiksi anomaliaita ihmisten käyttäytymisessä liukuportaissa. Jos ihmisvirran normaali liikehdintä muuttuu epäilyttäväksi, siirretään kuvaa tapahtumista heti valvomoon. Myös tällainen kuvankäsittely voidaan laskea yhdeksi esimerkiksi signaalinkäsittelyn eri aloista.

Myös pelienkehityksessä kuvankäsittely ja interaktiivinen pelimaailma ovat yhdenlaista signaalinkäsittelyä, vaikkakin erilaista kuin telekommunikaatiopuolella. Lääketiede voisi olla Suomessa nouseva signaalinkäsittelyä käyttävä ala, ja eräät isot yritykset ovat jo perustaneet alan tutkimuskeskuksia Suomeen. Esimerkiksi röntgenkuvien käsittelyssä on olemassa valtava määrä erilaisia algoritmeja, mutta uusia tarpeita alalla voi nousta, kun ihmisiä varustetaan sensoreilla.

Teollisuusautomaatio tuo mukanaan erilaista signaalinkäsittelyä. Robotiikka, sisältäen autonomiset autot, tarvitsevat toimiakseen monenlaisia eri taajuusalueilla toimivia tutkia ja muita sensoreita toimiakseen. Tällainen vaatii todella tasokasta reaaliaikaista signaalinkäsittelyä. Yhtenä sovellusesimerkkinä on myös VTT:n tutkimusprofessori Tuomas Hämeen satelliittikuvien käsittelyn kehittäminen, minkä avulla voidaan seurata esimerkiksi sademetsien metsäkatoa (VTT 2013).

Sensoritiedon käsittelyn (signaalinkäsittelyn) osaamista on Suomessa sekä tutkimusorganisaatioissa että yrityksissä. Tässä selvityksessä tarkasteltiin mm. seuraavia organisaatioita: Aalto-yliopisto, Bittium, Coriant, Ericsson, Helsingin yliopisto, Huawei, Itä-Suomen yliopisto, Jyväskylän yliopisto, Nokia Bell Labs, Oulun yliopisto, Tampereen teknillinen yliopisto, Telete, Turun yliopisto, Vaisala ja VTT.

Julkisuuslain (621/1999) 24.1§:n 10 kohdan mukaisesti salassa pidettävä aineisto on erillisessä liitteessä.

5. OSAAMISEN ENNAKOINTI PITKÄLLÄ AIKAVÄLILLÄ

Osaamisen ennakkoinnissa on tarpeen tarkastella nykyisten osaamisalueiden kehityksen lisäksi tarpeita, joita nousee toimintaympäristön muutoksesta ja teknologian kehityksestä. Tässä luvussa tarkastellaan mitkä ovat kansallisen teknologisen osaamisen huoltovarmuuden kannalta keskeiset muutostrendit aikajänteellä 2030. Nämä muutostrendit kattavat kansallisen ja kansainvälisen kehityksen ja poliittiset, taloudelliset, yhteiskunnalliset, teknologiset, ja ympäristöön liittyvät tekijät ja trendit.

Huoltovarmuuden kannalta on tarpeen tarkastella maailman muuttumista kolmelta toisistaan täydentävältä näkökulmalta. Toimintaympäristön yleisten, suhteellisen hitaiden muutosten hahmottaminen luo pohjan pitkän aikavälin osaamistarpeiden ennakointiin. Tätä voidaan täydentää ottamalla ns. heikkoja signaaleja ja villejä kortteja huomioon. Nämä kuvastavat epätodennäköiseltä tuntuvia, mutta toteutuessaan äkkinäisiä ja merkittäviä muutoksia. Lisäksi osaamisen ennakkoinnin ollessa kyseessä on tarpeen tarkastella erikseen teknologian kehittymistä.

5.1 Muutostrendit

Ennakointimateriaalista ei ole nykyisin pulaa, vaan ongelmana on pikemminkin, miten tunnistaa oleellinen ja tulkita esitetyt kehityskulut huoltovarmuuteen liittyvien osaamistarpeiden kannalta. Seuraavaksi esitetyt muutosajurit perustuvat viimeaikaiseen yleiseen ennakointimateriaaliin. Materiaalin valinnassa on painotettu erityisesti puolustuksen ja huoltovarmuuden kannalta merkityksellisiä raporteja.

Muutosajurit ja trendit PESTEV-kehikossa

Eräs suosittu ja hyödyllinen tapa jäsentää erilaisia muutoksia on ns. PESTEV-kehikko (PESTEV: Political, Economic, Social, Technological, Environmental, Values). Siinä muutokset jaotellaan poliittisiin, taloudellisiin, yhteiskunnallisiin, teknologisiin, ympäristöön ja arvojen muutokseen liittyviin tekijöihin. Toisinaan tarkastellaan erikseen myös kulttuurisia ja lainsäädännöllisiä muutoksia. Tarkan kategorisoinnin sijaan oleellisempaa on saada kattava kuva mahdollisista muutoksista.

Kuvassa (Kuva 2) on esitetty aineiston pohjalta tunnistetut yleiset muutostrendit. Poliittista toimintaympäristöä kuvaa lisääntyvä geopoliittinen epävarmuus ja valta-asetelmien muuttuminen. Kylmän sodan aikaisesta kaksinaipaisesta geopolitiikasta on siirrytty moninaipaiseen ja edelleen yhä fragmentoituneempaan ja nopeammin muuttuvaan valtapoliitiikkaan. Konfliktit eivät ole enää vain kansallisvaltioiden välisiä, vaan mukana on yhä enemmän verkostomaisesti organisoituneita ei-valtiollisia liikkeitä. Huoltovarmuuden kannalta tämä tarkoittaa varautumista tilanteeseen, jossa konfliktit ja häiriöt voivat tulla useilta ja yllättäviltä tahoilta.

Talouden osalta suurimmat muutokset ja epävarmuudet liittyvät digitalisaation mukanaan tuomiin uusiin toimintatapoihin ja talouskasvuun perustuvan ajattelun pätevyyyteen tulevaisuudessa. Tietotyön automatisaatio oppivan koneällyn myötä muuttaa toisaalta ammattikennettä ja toisaalta tuo mukanaan toisenlaisia työskentelyn muotoja. Työn tuottavuuden

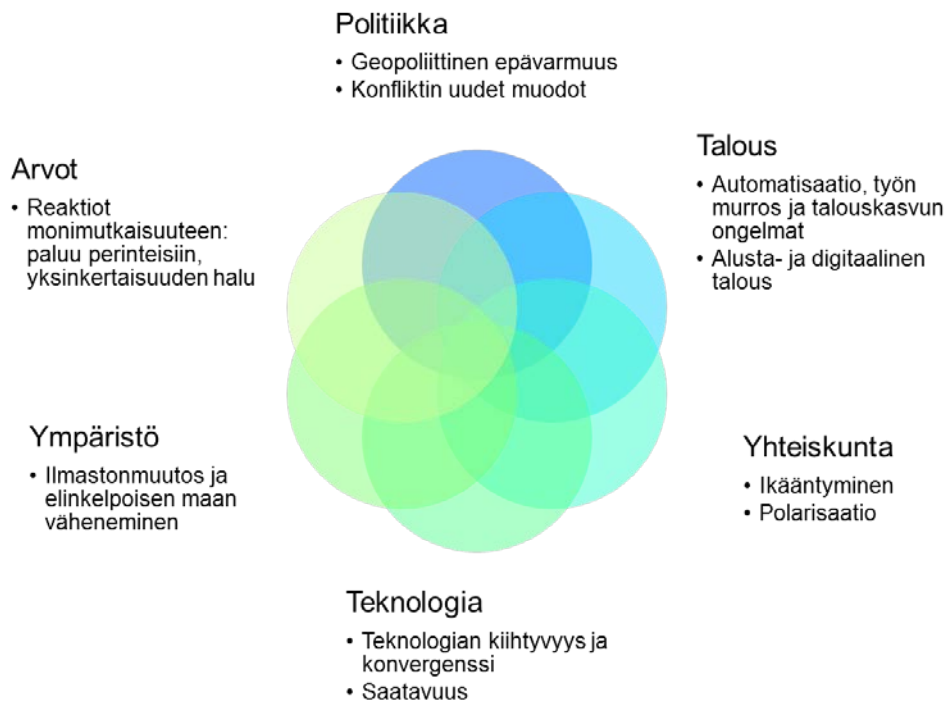
nousu tulee lähinnä teknologisesta kehityksestä, ei niinkään työvoimasta. Alustatalous globaalissa mittakaavassa saattaa johtaa joko kansainvälisen kilpailun kiristymiseen, palkkojen alasajoon ja työn pirstoutumiseen tai uudenlaisiin taloudellisen arvon jakamisen muotoihin. Se millaista työtä tehdään, kuka sitä tekee ja miten, on muutoksessa, jonka suuntaan vaikuttavat vallalla olevat ajattelumallit.

Länsimaissa keskeiset yhteiskuntaan liittyvät muutokset ovat väestön ikääntyminen ja mieliteiden polarisoituminen. Ihmiset elävät pidempään ja työikäistä väestöä on yhä vähemmän. Samalla illuusio yhtenäisestä kansakunnasta on murtunut ja mm. maahanmuutto ja varallisuuden jakautuminen jakavat mielipiteitä. Tuloerot ja taloudellinen epätasa-arvo ovat kasvussa ja maahanmuutto on lisääntymässä.

Teknologinen kehitys on jo pitkään ollut nopeaa ja joillain aloilla, kuten informaatioteknologiassa, bioteknologiassa ja nanoteknologiassa kehitys kiihtyy edelleen. Nopean kehityksen lisäksi oleellista on erilaisten teknologioiden yhdistyminen, esimerkiksi automatisaation ja informaatioteknologian vahva hyödyntäminen biotekniikassa, josta ns. synteettinen biologia on hyvä esimerkki. Uudet teknologiat ovat myös nopeasti laajan joukon saatavilla, koska vaadittavat alkuinvestoinnit ovat tulleet merkittävästi alas ja tietoa on helppo jakaa tietoverkkojen kautta.

Ympäristön suhteen pitkään vallalla ollut resurssien ylikäyttö jatkuu, ja ongelmat kuten ilmastomuutos ja elinkelpoisen maan väheneminen pahentuvat entisestään. Samalla kun yritetään löytää ja panna käytäntöön kestävämpiä tapoja tuottaa ja kuluttaa, pyritään sopeutumaan tilanteeseen, jossa äärimmäiset sääolosuhteet ja muut ääri-ilmiöt tulevat entistä tavallisemmiksi. Kuivuudet, tulvat ja muut luonnonilmiöt aiheuttavat jo nyt pakolaisuutta, ja tämä tulee jatkossa kasvamaan.

Edellä kuvatut muutokset heijastuvat myös arvoihin. Alati monimutkaisempana näyttäytyvä maailma aiheuttaa halun palata yksinkertaisempiin aikoihin. Perinteet korostuvat ja monimutkaiset ongelmat halutaan nähdä mustavalkoisina, mikä puolestaan aiheuttaa lisää mieliteiden polarisoitumista ja vaikeuttaa uusien ratkaisuiden kokeilua ja toteuttamista. Yhteen vetäen voisi todeta, että murrosaika herättää paljon epävarmuutta, ja paluu ideaalisiin vanhoihin hyviin aikoihin on luonnollinen reaktio tähän epävarmuuteen.



Kuva 2. Toimintaympäristön muutostrendit.

Toimintaympäristön muutos huoltovarmuuden kannalta

Huoltovarmuuden kannalta on oleellista tarkastella edellä kuvattuja muutoksia kokonaisuutena ja tarkastella niiden yhteisvaikutuksia. Tätä varten hankkeessa muodostettiin neljä yhteenvedoa toimintaympäristön muutoksesta. Yhteenvedot muodostettiin kahden kriteerin perusteella: onko muutos toimintaympäristön sisäinen vai ulkoinen ja onko se tahallisen ihmis-toiminnan seurausta vai enemmän muista muutoksista johtuvaa. Lisäksi katsottiin, että kukin muutostrendi tulee huomioitua. Yhteenvedoille annettiin kuvaavat ja perusidean kiteyttävät nimet: pienet mahdit, luottamus kovilla, muuttuva väestö ja globaalien ketjujen epävarmuus. (Taulukko 2). Yhteenvedot muodostettiin tutkijatyönä.

Taulukko 2. Trendien yhteisvaikutusten tarkastelu

	Pienet mahdit	Luottamus kovilla	Muuttuva väestö	Gloaalien ketjujen epävarmuus
Muutoksen kuvaus				
Toimintaympäristön sisäinen vai ulkoinen?	ulkoinen	sisäinen	sisäinen	ulkoinen
Muutoksen lähde	intentionaalinen	intentionaalinen	passiivinen	passiivinen
Trendit				
Geopoliittinen epävarmuus	x	x		x
Konfliktin uudet muodot	x	x		
Automatisaatio, työn murros ja talouskasvun ongelmat	x	x	x	
Alusta- ja digitaalinen talous				x
Ikääntyminen			x	
Polarisaatio	x	x		
Teknologian kiihtyvyys ja konvergenssi		x		x
Teknologian saatavuus	x			
Ilmastonmuutos ja elinkelpoisen maan väheneminen	x		x	x
Paluu perinteisiin, yksinkertaisuuden halu		x	x	

Seuraavassa kuvataan nämä neljä toimintaympäristön muutosta, sekä niiden merkitys osaamistarpeisiin huoltovarmuuden näkökulmasta. Erityisesti huomioidaan edellisessä luvussa kuvatut kolme kriittistä teknologia-aluetta.

Pienet mahdit

Huoltovarmuuden kannalta on oleellista tarkastella tahallisten häiriöiden lähteitä. ”Pienet mahdit” kuvaa tilannetta, jossa häiriötilanteen hallinta vaikeutuu valtiotasolla, koska sen aiheuttajina ovat ei-valtiolliset, pienet ryhmät. Konfliktin uudet muodot, teknologian saatavuus ja yhteiskunnan polarisaatio johtavat siihen, että yksilö tai ryhmä voi aiheuttaa suurta häiriötä yhteiskunnassa. Teknologiat kuten helpon, nopean ja halvan geenien muokkauksen mahdollistavat CRISPR-geenisakset sekä oppivat algoritmit luovat uudenlaisia uhkia räätälöidyistä patogeeneista itseohjautuviin aseistettuihin lennokkeihin. Yhteiskunnan digitalisoiduessa kyberturvallisuus ja medialukutaito (lähdekritiikki) korostuvat.

Yleiset osaamistarpeet: Pienten mahtien maailmassa korostuvat digitaidot, perinteiset taidot ja tietokriittisyys. Digitaitojen suhteen oleellista on laaja tietoisuus kyberturvallisuudesta ja tietoverkkojen ja fyysisen infrastruktuurin suhteesta. Tämä tarkoittaa kansalaisen kohdalla niinkin arkista asiaa kuin oletussalasanojen vaihtamista tietoverkkoon kytketyistä laitteista, mutta myös tietoisuutta infrastruktuurin luotettavuudesta ja haavoittuvuudesta. Lisäksi tarvitaan osaamista tietoverkoissa tapahtuvan epäilyttävän toiminnan havaitsemiseen ja torjuntaan.

Digitaalojen lisäksi tarvitaan kykyä toimia tilanteessa, jossa tietoverkot tai koko sähköverkko ovat alhaalla. Millaisia varajärjestelmiä on olemassa ja kuinka toimia sähköttömässä yhteiskunnassa? Lisäksi tarvitaan tietokriittisyyttä ja vastustuskykyä propagandaan. Pienet mahdit pyrkivät vaikuttamaan ihmisten uskomuksiin ja luomaan itsestään suurempaa kuvaa kuin todellisuudessa ovat. Medialukutaito ja lähdekriittisyys ovat tulevaisuudessa entistä tärkeämpiä taitoja, samoin kuin taustaoletusten ja –motivaatioiden tunnistaminen.

Yleisesti ottaen riskianalyysi ja uhkien laaja tunnistus korostuvat. Päätöksentekijöiden suhteen tarvitaan ymmärrystä siitä mitä teknologioita ja materiaaleja on vapaasti saatavilla ja miten lainsäädännöllä voidaan vaikuttaa niihin.

Sensorijärjestelmien sekä sensoritiedon käsittelyn ja yhdistämisen teknologiat: Tietoliikenteen ja toisaalta sensorien lisääntyessä oleellinen haaste on tunnistaa epäilyttävä toiminta suuresta datajoukosta. Tähän tarvitaan data-analytiikan osaamista ja erilaisten tietolähteiden yhdistämistä. Toisaalta oleellista on kyky estää tietoverkkojen häirintä ja alasajo ja toisaalta valmius saada verkko nopeasti toimintakuntoon häiriön sattuessa. Häirinnän tunnistus ja esto koskevat myös GPS-signaalia, jota käytetään enenevässä määrin.

Rakenneteknologiat: Rakenteisiin upotettavat sensorit ja toiminnallisuus voivat osaltaan auttaa vähentämään pienistä mahdeista tulevia uhkia. Tarvitaan osaamista etäsensorien lisäämisestä osaksi rakenteita. Lisäksi esimerkiksi antibakteeripinnoitteet tai patogeeneja hylkivät materiaalit ovat entistä hyödyllisempiä tulevaisuudessa.

Terveydenhuollon teknologiat (kemialliset ja biologiset uhat): Uusien patogeeneiden havaitsemiseen, tunnistamiseen ja vastalääkkeiden valmistukseen liittyvä osaaminen korostuu tulevaisuudessa. Toisaalta tarvitaan osaamista myös vanhojen, Suomesta jo poistuneiden tautien tunnistamiseen lisääntyvän rokottamattomuuden ja patogeeneiden valmistamisen helpottumisen myötä.

Luottamus kovilla

Huoltovarmuuteen liittyy olennaisesti viestintä kansalaisille ja ajantasaiset ja luotettavat tiedot resursseista. ”Luottamus kovilla” kuvaa tilannetta, jossa viestintään ja tietoon ei voi luottaa entiseen tapaan. Väärät tiedot leviävät tietoverkoissa nopeasti ja entistä laajemmalle. Taustamotivaationa voi olla klikkausten tuottamat mainostulot tai informaatioidankäynti. Teknologia mahdollistaa entistä uskottavimmat kuva-, ääni- ja videomanipulaatiot ja keskustelu tekstimuodossa tietoverkkojen yli kärjistää näkökulmia. Työn murroksen tuoma epävarmuus tulevaisuudesta ja kasvava eriarvoisuus johtavat yhteiskunnan polarisoitumiseen ja yksinkertaisuuden kaipuuseen. Omalla tavalla ajattelevat on entistä helpompi löytää ja mielipiteet kärjistyvät. Tästä kaikesta on seurauksena, että luottamus perinteisiin auktoriteetteihin ja tiedonvälityksen kanaviin rapautuu. Keskeinen kysymys jatkossa onkin kehen ja mihin luotetaan ja voi luottaa?

Yleiset osaamistarpeet:

Jo aiemmin mainitut medialukutaito ja lähdekriittisyys korostuvat tässäkin kehityskulussa. Toisaalta tarvitaan sosiaalisen etiketin päivittämistä niin, että ehkäistään keskustelun tarpeetonta polarisoitumista, vahvistetaan kommentoitavan asian ymmärtämistä ja vältetään väärän informaation levittämistä. Digitaalisiin alustoihin rakennettavat mekanismit, kuten kyseenalaisten väitteiden merkitseminen ja linkitys erilaisiin faktantarkistuspalveluihin, voivat tukea rakentavamman keskustelukulttuurin syntymistä ja toisaalta vähentää tahallista disinformaation levittämistä.

Sensorijärjestelmien sekä sensoritiedon käsittelyn ja yhdistämisen teknologiat:

Kuva-, ääni- ja videomanipulaatioiden yleistyessä tarvitaan entistä enemmän osaamista väärennösten tunnistamiseksi. Lisäksi tarvitaan keinoja varmistaa yleisemminkin tiedon alkuperä. Tämä pitää sisällään myös luotettujen alustojen luomisen ja ylläpidon. Tässä osaamista tarvitaan niin laitteisto- kuin ohjelmistopuolella. Lohkoketjuteknologia ja vahvat salausteknologiat edellyttävät osaamista toisaalta teknologian suhteen ja toisaalta sovelluskohdeiden tunnistamisen ja toteutuksen suhteen.

Rakenneteknologiat:

Rakenneteknologioissa kehityskulun luomat uudet osaamistarpeet liittyvät toimitusketjun luotettavuuteen ja kunnan valvontaan ja materiaalien uusiin toiminnallisiin. Luottamuksen rapautuessa tarvitaan keinoja varmistaa osien alkuperä ja aitous esimerkiksi ns. elektronisen tatuoinnin avulla. Vastaava aitousvaatimus koskee 3D-tulostettavaksi tarkoitettujen komponenttien valmistusohjetiedostojen tietoja. Lisäksi laitteiden ja rakennusten kunnan valvominen läpinäkyvästi ja luotettavasti korostuu. Sen suhteen tarvitaan myös osaamista rakenteiden mekaniikan mallinnuksesta ja simuloinnista. Toisaalta materiaaleihin upotettava toiminnallisuus, esimerkiksi kuntoa valvovat tai räjähdettäviä tunnistavat sensorit voivat tukea luottamuksen rakentumista.

Terveydenhuollon teknologiat (kemialliset ja biologiset uhat):

Toimitusketjun luotettavuus korostuu myös terveydenhuollossa esimerkiksi lääkkeiden alkuperän varmistamisen osalta. Toisaalta myös laboratorio- ym. palveluiden luotettavuuden varmistamiseen tarvitaan osaamista ja toimintatapoja, erityisesti ulkoistustilanteissa. Elintarviketeollisuuden puolella antibioottien käytön valvonta on avainasemassa, myös globaaleissa toimitusketjuissa.

Muuttuva väestö

Väestön muutokset vaikuttavat luonnollisesti myös huoltovarmuuden varmistamiseen. ”Muuttuva väestö” vetää yhteen väestön rakenteen ja käyttäytymisen mahdollisia muutoksia. Väestön ikääntymisen lisäksi terveyserot, maahanmuutto ja tuloerojen kasvu muuttavat väestön rakennetta, kyvykkyyksiä ja mahdollisuuksia. Lihavuuden ja diabeteksen lisääntyminen ja rokottamattomuus luovat terveyseroja väestöön. Pakolaisuus ja muu maahanmuutto tulee lisääntymään merkittävästi globaalisti, ja maahanmuutto tulee koskettamaan enenevässä määrin Suomea. Tuloerojen ja alueellisten erojen kasvu lisää syrjäytymistä. Mielenpitoisten kärjistyminen ja luottamuksen rapautuminen lisäävät osaltaan ns. kuplautumista.

Yleiset osaamistarpeet:

Vaikka tekoälyyn pohjautuva automaattinen kääntäminen helpottaa viestintää eri kielillä, tarvitaan kulttuurisen kommunikoinnin taitoja, jotta saadaan viestintä kattamaan koko väestö kriisitilanteissa. Ymmärretäänkö esimerkiksi hälytysignaali ja tiedetäänkö oletusviestintäkanavat häiriötilanteessa? Yleisesti ottaen tarvitaan osaamista uusien ryhmien tunnistukseen ja huomioonottamiseen. Erilaisten ryhmien huomioiminen ei toki ole mitään uutta, mutta tarvitaan oletusten päivittämistä sen suhteen, millaisia väestöryhmiä tulevaisuudessa on ja mitkä ovat niiden valmiudet ja kyvykkyydet.

Sensorijärjestelmien sekä sensoritiedon käsittelyn ja yhdistämisen teknologiat:

Sensoreita ollaan nyt innolla lisäämässä rakennettuun ympäristöön osana esineiden internetiä (Internet of Things, IoT) ja älykkään ympäristön rakentamista (Smart City). Tulevaisuudessa tarvitaan enenevässä määrin näihin liittyvää osaamista toisaalta ylläpidon suhteen ja toisaalta käyttäjäkokemuksen suhteen. Sensorit ja laaja datan prosessointi mahdollistavat palveluiden mukauttamisen eri ryhmien tarpeisiin, jos se vain otetaan huomioon järjestelmiä rakennettaessa.

Huoltovarmuuden suhteen kiinnostavaa on erityisesti järjestelmien toimiminen häiriötilanteissa, virheellisen tiedon leviämisen ehkäiseminen ja järjestelmien hyödyntäminen eri ihmisryhmien toiminnan avustamisessa. Esimerkiksi ajankohtainen tieto sähkön saatavuudesta tai ihmisten liikehdinnästä on hyödyllistä häiriötilanteessa. Sensorijärjestelmät mahdollistavat myös huomaamattoman ja helppokäyttöisen valvonnan, mutta se täytyy toteuttaa siten, että se on yleisesti hyväksyttyä.

Rakenneteknologiat:

Sensorijärjestelmien integrointi rakennuksiin, eli ns. älykkäät rakennukset auttavat parhaimmassa tapauksessa varmistamaan eri väestöryhmien hyvinvoinnin myös häiriötilanteissa. Toisaalta niihin sisältyy myös ulkopuolisen häirinnän riski.

Muuttuva väestö tarkoittaa myös työvoiman muuttumista. Ikääntymisen myötä katoaa paljon hiljaista tietoa ja toisaalta maahanmuutto tuo erilaisia käytäntöjä esimerkiksi laadun suhteen. Tästä syntyy uusia osaamistarpeita rakentamisen tarkastamiseen ja valvontaan.

Terveydenhuollon teknologiat (kemialliset ja biologiset uhat):

Terveyserot, lisääntynyt matkustaminen ja maahanmuutto luovat osaamistarvetta aiemmin harvinaisempien tautien tunnistamiseen ja hoitoon. Uusia haasteita luovat mm. äärimmäiset sääolosuhteet, ilmastopakolaisuuden mukana tuomat taudit ja antibioottiresistentit bakteerit.

Toisaalta rokottamattomuuden yleistyminen saattaa palauttaa vanhoja tauteja. Kun väestö muuttuu, täytyy päivittää myös listaus siitä, mitä ryhmiä priorisoidaan tilanteessa, jossa resurssit eivät riitä kaikkien hoitamiseen.

Gloaalien ketjujen epävarmuus

Suomi ei ole erillään ympäröivästä maailmasta ja erityisesti toimitusketjujen muutosten tarkastelu on huoltovarmuuden kannalta tärkeää. ”Gloaalien ketjujen epävarmuus” pureutuu muutoksiin globaalissa toimintaympäristössä. Geopoliittinen tilanne on epävakaata ja puhutaan moninapaisesta maailmasta. Globalisaatio ja markkinatalous ovat lisänneet maiden välistä keskinäisriippuvaisuutta. Ilmastonmuutos ja muut ympäristön kestävyyden ylittämistä aiheuttavat yllättävät luonnonilmiöt ja ääriolosuhteet haastavat osaltaan kansainvälisten toimitusketjujen luotettavuutta. Digitalisaation myötä yhteiskunta on aiempaa riippuvaisempi sähköstä ja tietoverkkojen toimivuudesta. Yhteenvetona voisi sanoa, että suhteellisen vakaan toimintaympäristön ajasta ollaan siirtymässä hyvin ailahtelevaan aikaan, jossa muutokset ovat yllättäviä, nopeita ja suuria.

Yleiset osaamistarpeet:

Monimutkaisessa ja nopeasti muuttuvassa maailmassa oleellista on kyky pitää yllä ajantasaista tilannekuvaa ja harjoitella monia erilaisia häiriötilanteita varten. Tähän vaaditaan osaamista liittyen toimijoiden profilointiin, toimitusketjujen riskianalyysiin, monipuoliseen systemaattiseen skenaariotyöhön ja kompleksisten ongelmien hahmottamiseen.

Kontrollin sijaan korostuu resilienssi, eli erilaisiin tilanteisiin varautuminen. Toimitusketjujen osalta tämä tarkoittaa vaihtoehtoisia toimitusketjuja ja mahdollisuutta tuottaa kriittiset tarvikkeet ja teknologia paikallisesti. Ruoantuotannon suhteen esimerkiksi automatisoitu ruoantuotanto ja omavaraistuotannon uudet muodot luovat mahdollisuuksia. Ruokaa voidaan tuottaa esimerkiksi vanhoihin parkkihalleihin sijoitetuissa automaattisissa kasvihuoneissa, hyönteiskasvattamoissa tai keittiön pöydälle sijoitetussa bioreaktorissa.

Gloaaleissa toimitusketjuissa tavaran lisäksi myös kalusto ja miehistö liikkuvat sujuvasti maan rajojen yli. Poikkeustilanteita varten onkin tarpeen pitää huolta, että Suomessa on riittävästi sekä kalustoa, että osaavaa väkeä maan sisäisen logistiikan varmistamiseksi.

Sensorijärjestelmien sekä sensoritiedon käsittelyn ja yhdistämisen teknologiat:

Sensortechnologia ja sensoritieto mahdollistavat toimitusketjun entistä tarkemman ja ajantasaisen seurannan. Osaltaan seuranta liittyy aiemmin mainittuun toimitusketjun luotettavuuden arviointiin, osaltaan yleisen toimivuuden havainnointiin. Osaamistarpeet liittyvät erityisesti laajojen datamassojen analysointiin ja yhdistämiseen. Poikkeustilanteissa on tarpeen nopeasti tunnistaa missä kohtaa ketjua vika on ja voidaanko se korjata tai löytää vaihtoehtoisia resurssilähteitä. Ennaltaehkäisevästi on tarpeen arvioida nykyisten järjestelmien kestävyttä ääriolosuhteissa, eli käytännössä tarvitaan osaamista laajojen järjestelmien simuloinnin ja datan extrapoloinnin suhteen.

Rakenneteknologiat:

Rakenteiden tulee kestää jatkossa entistä paremmin monenlaisia sään ääri-ilmiöitä, kuten toistuvia kuivuuksia tai tulvia, helleaaltoja ja pakkasia. Suomessa on osaamista erityisesti arktisten olojen suhteen, mutta jatkossa korostuvat myös muiden erityisolosuhteiden materiaalteknologiat. Toisaalta itseään korjaavat materiaalit saattavat nousta entistä tärkeämmiksi.

Terveydenhuollon teknologiat (kemialliset ja biologiset uhat):

Terveydenhuollon kannalta oleellista on erityisesti kylmäketjun luotettavuus niin elintarvikkeiden kuin lääkkeiden osalta. Kuinka robusti kylmäketju on häiriötilanteissa ja toisaalta kuinka hyvin tuotteiden alkuperä pystytään jäljittämään. Tähän liittyvää osaamista tarvitaan globaalien toimitusketjujen epävarmuuden lisääntyessä, samoin kuin kykyä tunnistaa erilaisien myrkytysten oireet. Toimitusketjujen epävarmuus luo myös tarpeen pitää yllä lääkkeiden ja tarvikkeiden valmistusosaamista Suomessa.

5.2 Heikot signaalit

Nopeasti muuttuvassa ja monimutkaisessa toimintaympäristössä yllätyksiin varautuminen on olennaista. Muutostrendien systemaattinen tarkastelu antaa yleisen kuvan mahdollisista muutoksista. Yllättävien tapahtumien vaikutuksia voidaan arvioida heikkojen signaalien avulla. Hankkeessa kerättiin ja tulkittiin huoltovarmuuteen liittyvien tulevaisuuden osaamistarpeiden kannalta relevantteja signaaleja. Apuna käytettiin mm. strategisen tutkimuksen neuvoston rahoittaman Winland-hankkeen tuloksia ja Forum for the Futuren ”Signals of Change” blogia. Signaalit muutettiin tapahtumakuvauksiksi, joita voi käyttää huoltovarmuuteen liittyvän osaamisen aukkokohtien tunnistamisessa. Tarkempi kuvaus heikkojen signaalien tunnistamisesta ja tulkinnasta esitetään seuraavassa luvussa.

Poimintoja heikkojen signaalien aineistosta

Hankkeessa kehitetyt yllättävät tapahtumat on tarkoitettu haastamaan ajattelumalleja. Niiden avulla voi sekä tarkastella sitä, mitkä asiat ovat johtaneet kyseiseen tapahtumaan, että sitä mitä siitä seuraa huoltovarmuuden eri poolien kannalta. Alla on esitetty esimerkiksi joitain otoksia kehitetyistä tapahtumista:

- Eriarvoistumisen rajun kasvun seurauksena Suomi jakautuu resursseiltaan ja kyvykkyyksiltään hyvin erilaisiin alueisiin
- EU hajoaa eikä vastaavia sisämarkkinoita synny
- Geenimanipuloitu organismi syrjäyttää tai tuhoaa Suomen viljakasvit
- Huoltovarmuuskeskus hajoaa
- Meri tulvii kaupunkeihin rajujen myrskyjen takia rannikkoseuduilla
- Merkittävä osa suomalaisista menettää luottamuksensa viranomaisiin
- Suomi irtautuu EU:sta eikä pysty solmimaan samankaltaisia kauppasuhteita muiden maiden kanssa
- Tietoverkkohyökkäys ajaa alas keskeiset viralliset viestintäkanavat ja samalla muita kanavia pitkin levitetään misinformaatiota
- Toistuvat kuivuudet kasvukautena johtavat suomalaisen viljatuotannon romahtamiseen

- Vanhentunut infrastruktuuri ja kadonnut huolto-osaaminen johtavat toistuviin vedenjakelun häiriöihin

Kaikki tapahtumat on listattu liitteessä (liite 4). Tavoitteena on ollut luoda mahdollisimman monipuolinen kokoelma tapahtumia. Prosessi tapahtumien tulkitsemiseen huoltovarmuuden osaamistarpeiden kannalta on esitetty seuraavassa luvussa.

5.3 Teknologiat

Osaamistarpeiden ennakkoinnin kannalta teknologia on erityisasemassa. Teknologinen kehitys luo toisaalta uusia mahdollisuuksia vastata monimutkaisen toimintaympäristön haasteisiin, toisaalta luo uusia haasteita. Molemmissa tapauksissa on tärkeää, että uudesta teknologiasta on osaamista, jotta mahdollisuudet saadaan hyödynnettyä ja haasteisiin varauduttua. Osaamisella tarkoitetaan tässä yhteydessä siis sekä sovellus- ja kehitysosaamista, että ymmärrystä teknologian vaikutuksista laajemmin yhteiskunnassa.

Eduskunnan tulevaisuusvaliokunta julkaisi 2013 selvityksen 100 radikaalista uudesta teknologiasta ja teki vuonna 2016 siihen päivityksen. Nämä selvitykset ovat erityisen hyödyllisiä osaamistarpeiden arvioinnin kannalta, koska niissä on teknologioiden kuvaamisen lisäksi tarkasteltu teknologioiden merkitystä erilaisista näkökulmista, joita raportissa kutsutaan arvonluontiverkostoiksi. Vuoden 2013 raportissa yksi arvonluontiverkostoista on ”maanpuolustus ja terrorismin torjunta”, joka vuoden 2016 päivityksessä on yksinkertaistettu ja laajennettu termiksi ”turvallisuus”.

Uusien teknologioiden merkitys turvallisuuden kannalta näkyy siinä, että vuoden 2013 raportin sadasta teknologiasta 75 arvioitiin turvallisuuden kannalta relevanteiksi. Erityisesti kolme nostetaan erityisen tärkeiksi:

- Ihmisten tunnistus (dna, kamera)
- Ympäristön reaaliaikainen 3D-mallinnus
- Kevyet jatkuvasti lentävät laitteet

Vuoden 2016 päivityksessä näistä kahden ensimmäisen todetaan kehittyneen nopeasti.

Jos tarkastellaan teknologioita edellä esitettyjen muutostrendien valossa, voidaan tunnistaa seuraavat useimpien muutostrendien kannalta olennaiset teknologiat:

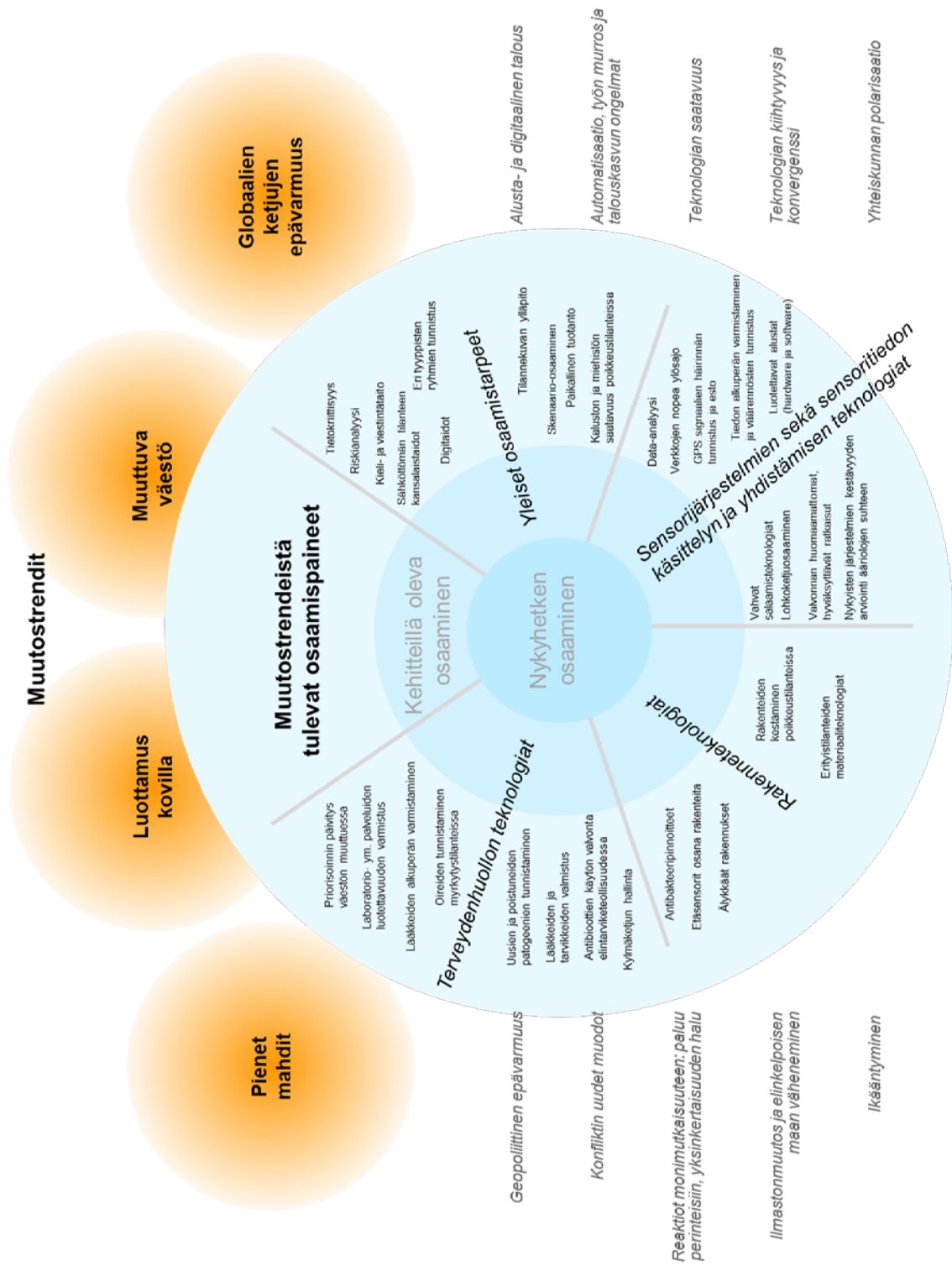
- Vapaasti organisoituvat etätö ja netissä muodostuvat organisaatiot
- Avoin data ja Big data
- Lohkoketju yms. p2p-ratkaisut
- Pilvilaskenta, massiivinen keskitetty data ja prosessointiteho
- Hahmontunnistus ja hahmojen hakupalvelut
- Ihmisten tunnistus
- Ubiikki ympäristö (IoT)
- Yleinen AI
- Tauteja, fysiologisia tiloja ja organismien ominaisuuksia nopeasti ja tunnistavat biosensorit tai biosensorit

Yleisesti osaamistarpeita on erityisesti bioteknologian, data-analyysin ja hajautettujen toimintamallien alueella. Tulevaisuusvaliokunta tulee luultavimmin jatkossakin päivittämään ra-

dikaalien teknologioiden listausta, joten se tarjoaa hyvän taustamateriaalin osaamistarpeiden tunnistamiseen. Teknologiaennakointiin liittyvät kehitystarpeet huoltovarmuuteen liittyvän osaamisen ennakkoinnin kannalta on esitetty seuraavassa luvussa.

5.4. Pidemmän aikavälin osaamistarpeiden yhteenveto osaamistutkaan

Kokonaiskuva huoltovarmuuteen liittyvän pidemmän aikavälin osaamistarpeista voidaan esittää ns. osaamistutkan avulla. Siinä vedetään yhteen toimintaympäristön muutostrendit ja niistä nousevat yleiset ja fokusalueiden osaamistarpeet. Näitä voidaan sen jälkeen verrata olemassa ja kehitteillä olevaan osaamiseen. Lisäksi edellä mainittuja heikkoja signaaleja voidaan käyttää täydentämään tunnistettuja osaamistarpeita. Muutostrendit ja niistä nousevat osaamistarpeet on esitetty osaamistutkan avulla kuvassa (Kuva 3).



Kuva 3. Muutostrendit ja niistä nousevat osaamistarpeet osaamistutkassa

5.5 Ennakointimalli

Ennakointimallilla tarkoitetaan tässä raportissa sen prosessin kuvausta, jolla voidaan tunnistaa huoltovarmuuteen liittyvät pitkän aikavälin osaamistarpeet. Prosessi kattaa yleisen toimintaympäristön muutosten tunnistamisen, tulkinnan osaamistarpeiden kannalta ja nykyisen osaamisen tilanteen arvioinnin yllätysten valossa. Ennakointimallissa kuvataan prosessin lisäksi lyhyesti myös tarvittavat menetelmät ja niihin tarvittava osaaminen.

Ennakointimallista esitetään kaksi versiota, jotka molemmat perustuvat ns. ennakkoinnin silmukkamalliin (Dufva & Ahlqvist 2015). Ensimmäinen versio (Kuva 4) on tarkoitettu jatkuvaan sisäiseen ennakkointiin ja keskittyy olemassa olevan ennakkointitiedon päivittämiseen ja kerryttämiseen. Toisessa versiossa (Kuva 5) kuvataan mahdollinen prosessi ennakkoinnin ulkoistamiseksi ja siinä huomioitavat asiat. Ennakkoinnin ulkoistaminen tulee ajankohtaiseksi, kun tarvitaan ulkopuolista näkemystä, toimintaympäristön arvellaan muuttuneen merkittävästi tai halutaan virittää laajempaa keskustelua tulevaisuuden osaamistarpeista.

Versio 1: sisäinen päivitys



Kuva 4. Ennakkoinnin vaiheet sisäisen päivityksen versiossa.

Sisäinen päivitys on tarkoitettu esimerkiksi kerran vuodessa toistuvaksi prosessiksi, joka on mahdollista toteuttaa joustavasti ja kevyesti, hyödyntää muualla tuotettua ennakkointitietoa ja kerryttää huoltovarmuuden osaamistarpeiden pitkän aikavälin ennakkointitietoa. Prosessi alkaa toimintaympäristön muutostrendien päivityksestä. Edellisen päivityksen jälkeen ilmestynyt uusi materiaali käydään läpi, siitä tunnistetaan keskeiset muutostrendit ja tuloksia verrataan aiemmin tunnistettuihin trendeihin. Miten trendien painotukset ovat muuttuneet? Mitä uutta on ilmestynyt? Mikä ei ole enää relevanttia? Samalla arvioidaan, miten aiemmin tunnistettujen osaamisen aukkokohtien täyttäminen on onnistunut: ovatko aiemmin tunnistettujen osaamistarpeet vielä relevantteja. Muutostrendien päivitys ja edellisten toimenpiteiden arviointi voidaan tehdä pienellä asiantuntijajoukolla. Tuloksena on kuvaus toimintaympäristön keskeisistä muutoksista.

Analyysivaiheessa valitaan 1-3 fokusaluetta, joihin keskitytään tarkemmin. Joka kierroksella voidaan keskittyä eri fokusalueisiin, jolloin ajan mittaan kertyy kattavasti tietoa. Oletuksena on, että aiemmin tarkastellulla fokusalueella ei tapahdu mitään niin yllättävää lyhyellä aikavälillä (1-3v), että se vaatisi uuden tarkastelun. Fokusalueen tarkastelu toteutetaan alueen asiantuntijoiden toimesta hyödyntäen muutostrendejä. Tuloksena on fokusalueelle tunnistetut pitkän aikavälin osaamistarpeet.

Tuloksista keskustelu pysyy sisäisenä ja keskittyy mahdollisten sokeiden kohtien tunnistamiseen heikkojen signaalien avulla. Tässä tarvitaan aiempia vaiheita laajempaa osallistumista, esimerkiksi työpajamuotoista työskentelyä. Heikkoihin signaaleihin perustuvia yllättäviä tapahtumia käydään yhdessä läpi ja tunnistetaan mitä huoltovarmuuden alueita tapahtuma erityisesti koskee ja millaista osaamista sen hoitaminen vaatii. Tuloksena on listaus osaamistarpeista.

Toimeenpanovaiheessa keskitytään tärkeimpiin osaamistarpeisiin ja muodostetaan toimenpiteitä, joilla niihin voidaan vastata. Fokusalueiden tarkastelun ja heikkojen signaalien työpajan perusteella valitaan kriittisimmät osaamistarpeet, joihin tulee välittömästi puuttua. Osaamisen turvaamiseksi mietitään erilaisia ratkaisuita. Samalla tunnistetaan tahot, joiden kanssa tulee neuvotella, jotta tunnistettu osaamisen puute saadaan täytettyä.

Versio 2: ulkopuolinen syväluotaus



Kuva 5. Ennakoinnin vaiheet ulkopuolisen syväluotauksen versiossa.

Toinen versio on samankaltainen kuin ensimmäinen, mutta siinä mennään syvemmälle analyysissä ja siihen osallistuu laajempi joukko. Prosessi alkaa viimeaikaisen ennakointimateriaalin läpikäynnillä. Huomioon otetaan niin suomalaista kuin kansainvälistä aineistoa. Aineistosta tunnistetaan keskeiset trendit ja analysoidaan niiden yhteisvaikutukset. Samalla voidaan myös tunnistaa heikkoja signaaleja ja tehdä niiden pohjalta yllättäviä tapahtumia. Työn voi toteuttaa esimerkiksi ulkopuolinen tutkimuslaitos ja tuloksena on yhteenveto keskeisistä muutostrendeistä.

Analyysivaiheessa muutostrendien pohjalta tunnistetaan yleiset osaamistarpeet. Lisäksi tarkastellaan 3-5 fokusaluetta tarkemmin. Työ edellyttää eri fokusalueiden asiantuntijoiden

haastattelua tai työpajatyöskentelyä. Osallistujien joukkoa laajennetaan seuraavassa vaiheessa, jossa viritellään keskustelua osaamistarpeista ja niihin vastaamisesta keskeisten sidosryhmien kanssa. Tavoitteena on yhteinen näkemys aukkokohtista, viimeaikaisesta kehityksestä ja eritoten siitä, millaisia toimenpiteitä vaaditaan.

Viimeisessä vaiheessa toimenpiteet konkretisoidaan, priorisoidaan ja vastuutetaan. Lisäksi tarkastellaan niiden keskinäisriippuvaisuuksia. Strateginen tiekartta on tähän vaiheeseen soveltuva menetelmä, jolla saadaan selkeä yhteenveto aikaiseksi.

Ennakointimallin suhde kansalliseen ennakointiin

Huoltovarmuuteen liittyvän osaamisen ennakointi ei tapahdu tyhjiössä. Suomessa on vahva ennakkoinnin perinne, useita ennakointia harjoittavia toimijoita ja sen seurauksena myös valtavasti ennakointitietoa. Edellä esitetty ennakointimalli onkin syytä sitoa osaksi Suomen kansallisen ennakkoinnin kenttää.

Suomen ennakointijärjestelmästä ei ole olemassa kovin selkeää yleiskuvaa⁹, osittain johdun ennakkoinnin pitkästä perinteestä ja osittain ennakointitoimijoiden hajautuneisuudesta. Sitran ja Valtioneuvoston kanslian koordinoima kansallinen ennakointiverkosto on yksi keskeinen eri toimijoita yhdistävä foorumi. Se keskittyy erityisesti tiedon levittämiseen ja verkostoitumiseen, ei niinkään ennakointitiedon tuottamiseen. Kansallisen ennakointiverkoston rinnalle on viime aikoina perustettu ns. ennakointikeskittymiä, mm. kokonaisturvallisuuden ennakointikeskittymä. Edellä mainittujen lisäksi ennakointitoimijoita ja ennakkoinnista kiinnostuneita yhdistävät alueelliset ennakointiverkostot, tulevaisuuden tutkimuksen seura ja Futures Specialists Helsinki –verkosto. Turun yliopiston alaisen tulevaisuuden tutkimuskeskuksen koordinoima tulevaisuudentutkimuksen verkostoakatemia (TVA) järjestää tulevaisuudentutkimuksen yliopistotasoisia opetusta ja yhdistää tutkijoita.

Toimintaympäristön muutoksen kannalta olennaisia ennakointitiedon lähteitä ovat ministeriöiden tuottamat tulevaisuus katsaukset, hallituksen tulevaisuusselonteko ja siihen liittyvät taustaselvitykset, Sitran tekemä megatrendilistaus sekä alueellisten ennakointiverkostojen ja maakuntaliittojen tekemät aluekohtaiset skenaariot ja pitkän aikavälin suunnitelmat. Edellä mainittuja tietolähteitä käytettäessä täytyy kuitenkin pitää mielessä, että ne lähestyvät tulevaisuutta omasta näkökulmastaan, oli se sitten alueellinen tai sektorikohtainen. Suomea koskevia yleisiä skenaarioita tai toimintaympäristön kuvauksia ei juurikaan tehdä. Sitran megatrendilistaus tulee lähimmäksi tällaista esitystä, mutta jää melko yleiselle tasolle.

Huoltovarmuuden kannalta on tärkeää tarkastella koko Suomen lisäksi myös aluetason kehitystä ja alueiden eroavaisuuksia osaamisen suhteen. Alueellisten ennakointiverkostojen ja maakuntaliittojen tuottama ennakointitieto antaa kuvan alueellisista kompetenssin muutoksista. Tätä kuvaa voidaan täydentää tarkastelemalla yliopistojen ja tutkimuslaitosten strategioita ja suunnitelmia.

Yleisen toimintaympäristön ja alueellisten kompetenssien muutoksen lisäksi osaamistarpeita nousee teknologisesti kehityksestä. Näitä on mahdollista ennakoida yliopistojen ja tutkimuslaitosten tuottaman tulevaisuusorientoituneen tutkimusmateriaalin avulla. Esimerkiksi VTT:n Visions-sarja ja Tulevaisuuden tutkimuskeskuksen sarjat antavat kuvan tutkimuksen

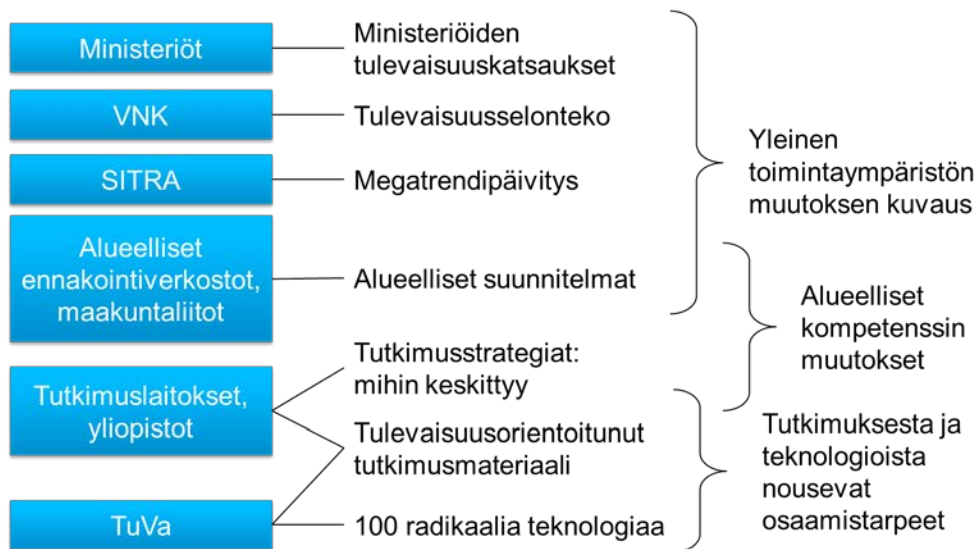
⁹ Yleiskuvauksia löytyy esimerkiksi Kuosalta (2011) ja kansallisen ennakkoinnin toimintamallia kuvaavasta raportista (VNK 2014), mutta ennakointikentän monipuolisuuden takia näistä kuvauksista tulee joko melko sotkuisia tai epämääräisiä.

ja teknologian kehittymisestä. Yleiskuva uusista teknologioista löytyy tulevaisuusvaliokunnan julkaisemasta 100 radikaalia teknologiaa raportista ja sen päivityksistä.

Huoltovarmuuden osaamisen ennakoinnin kannalta olennaiset suomalaiset toimijat ja niiden tuottama ennakointitieto on esitetty kuvassa (Kuva 6). Ennakointitietoa hyödynnettäessä on otettava huomioon prosessi, jolla tieto on tuotettu. Erityisesti kannattaa kiinnittää huomiota käytettyyn metodologiaan, osallistujiin, systemaattisuuteen ja systeemisyyteen. Metodologian tulee olla selkeästi kuvattu ja tarkoitukseen sopiva. Esimerkiksi skenaarioiden suhteen morfologinen analyysi tuottaa yleensä monipuolisemman ja taustaoletuksiltaan läpinäkyvämmän tuloksen kuin tarinankerrontaan tai akselimenetelmään perustuvat prosessit. Trendianalyyseissä oleellista on vastatrendien huomiointi ja trendien yhteisvaikutusten arviointi. Heikkojen signaalien tunnistamisessa puolestaan monien näkökulmien huomiointi tuottaa laajemman otoksen.

Osallistujien suhteen on taipumus ajatella, että laaja osallistuminen olisi aina kapeampaa joukkoa parempi. Laaja joukko saattaa kuitenkin keskimääräistää tuloksia siten, että jatkokon valikoituu ns. pienin yhteinen nimittäjä, eli kaikille tuttu asia. Tähän liittyy usein kuultu kritiikki siitä, että ennakointiprosessi ei tuottanut mitään uutta. Pieni mutta taustoiltaan monipuolinen joukko voi sen sijaan tuottaa massasta eroavia ajatuksia tulevaisuudesta, jos prosessi on hyvin fasilitoitu ja on saatu aikaan luottamuksen ilmapiiri. Tällaiset tulokset on usein kuitenkin syytä saattaa laajemman joukon keskusteltavaksi, jotta saadaan esiin erilaiset mielipiteet ja uusiin ajatuksiin liittyvät jännitteet.

Yleisesti ottaen ennakointiprosessin tulisi olla systemaattinen ja systeeminen. Systemaattinen tarkoittaa sitä, että menetelmiä on sovellettu loogisesti, erilaisia näkökulmia on otettu huomioon ja eri sidosryhmät ovat saaneet äänensä kuuluviin. Systeeminen puolestaan tarkoittaa sitä, että on huomioitu asioiden väliset riippuvuussuhteet, vaikutuksiin liittyvät viiveet ja takaisinkytkennät.



Kuva 6. Kansallisen ennakoinnin keskeiset toimijat ja ennakointitieto huoltovarmuuteen liittyvän osaamisen pitkän aikavälin ennakoinnissa.

Huoltovarmuuteen liittyvän osaamisen ennakoinnin näkökulmasta on tunnistettavissa kaksi keskeistä kansallisen ennakoinnin kehitystarvetta. Ensimmäinen liittyy yhteisesti tuotettuun ja keskusteltuun Suomea koskevaan tulevaisuusnäkymään (tai -näkymiin). Toimintaympäristön muutosten ennakoinnissa olisi hyödyllistä, jos olisi olemassa yhteisesti muodostettu

näkemyks Suomen mahdollisista kehityskuluista. Muodoltaan tämä voisi olla eräänlainen Suomea koskeva tulevaisuuskartasto tai kokoelma tulevaisuuskuvia taustaoletuksineen. Sitran megatrendit jäävät liian yleiselle tasolle, ministeriöiden tulevaisuuskatsauksissa on liian kapea näkökulma ja hallituksen tulevaisuusselonteko keskittyy yleensä johonkin tiettyyn aiheeseen. On siis tarvetta näiden välissä olevalle näkymälle Suomen tulevaisuuksiin.

Toinen kehitystarve liittyy teknologiaennakointiin. Tulevaisuusvaliokunnan 100 radikaalia teknologiaa on hyvä lähtökohta yleiselle teknologiaennakoinnille, mutta siitä on saatava jatkuvasti päivittyvä ja eri tarpeita palveleva. Nämä kehitystarpeet mainitaan myös vuoden 2016 päivityksessä. Näiden lisäksi olisi tarpeen päästä tarkemmalle tasolle teknologioiden suhteen ja arvioida suomalaisten toimijoiden kompetenssia ja toimintaa teknologioiden kehittämisessä ja soveltamisessa.

Kuvaus menetelmistä

Riittävä menetelmäosaaminen, lähdekritiikki ja ennakoinnin menetelmien systemaattinen käyttö ovat avainasemassa laadukkaan ja läpinäkyvän ennakointitiedon tuottamisessa. Seuraavaksi kuvataan tarkemmin mallin kaksi kriittistä kohtaa: muutostrendien ja heikkojen signaalien tunnistaminen ja tulkinta.

Muutostrendit ja niiden yhdistely

Muutostrendien tunnistaminen aloitetaan aineiston keräämisellä. Aineistoa valittaessa tulee arvioida sen yleisluontoisuutta ja kontekstia, jossa se on tuotettu, sekä prosessia, kuten yllä on kuvattu. Aineistoa ei kannata kuitenkaan rajata liikaa. Aineistosta poimitaan keskeiset trendit hyödyntäen PESTEV-kehikkoa:

- Millaisia poliittisia ja lainsäädännöllisiä muutoksia on tunnistettavissa?
- Miten taloussuhdanteet ja talouden rakenteet muuttuvat?
- Millaisia muutoksia tapahtuu väestön rakenteen, koulutuksen, ihmisten vuorovaikutuksen suhteen?
- Miten teknologia kehittyy ja millaisia vaikutuksia sillä on?
- Miten ihmisten arvot muuttuvat?

Samankaltaiset trendit ryhmitellään yhteen ja tiivistetään PESTEV-kehikon avulla keskeisiksi muutoksuiksi. Seuraavassa vaiheessa tarkastellaan näiden yhteisvaikutuksia. Apuna voidaan käyttää sisäinen-ulkoinen ja intentionaalinen-passiivinen -jaottelua:

- Mitkä muutokset ovat tehdyn rajauksen (esimerkiksi Suomen) sisältä tulevia ja mitkä ulkopuolisia?
- Mitkä muutokset ovat intentionaalisen ihmistoiminnan suoraan aikaansaamia ja mitkä välillisiä tai ihmisestä riippumattomia muutoksia?

Aina tällainen jaottelu ei ole kuitenkaan helppoa tehdä ja yhteisvaikutusten tarkastelu, samoin kuin trendien ryhmittely ja poimintakin ovat lopulta jossain määrin tulkitsijasta riippuvaisia. Sen takia on tärkeää kuvata prosessin eri vaiheet läpinäkyvästi.

Trendien yhteisvaikutuksista muodostetaan miniskenaarioita, joissa kuvataan muutos riittäväällä tarkkuudella, jotta sen vaikutusta huoltovarmuuteen voidaan arvioida. Tämän jälkeen tunnistetaan muutoksen tuottamat yleiset osaamistarpeet ja tarvittaessa tarkastellaan valittuja fokusalueita vielä erikseen. Koko prosessi on esitetty kuvassa (Kuva 7).



Kuva 7. Toimintaympäristön muutostrendien ja niihin liittyvien osaamistarpeiden tunnistus.

Heikot signaalit ja muut huomiotta jäävät merkit tulevaisuudesta

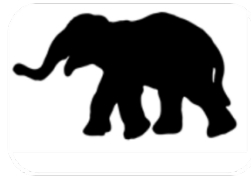
Heikolla signaalilla tarkoitetaan yleisesti esimerkkiä uudesta, vielä yleistymättömästä, mutta potentiaalisesti merkittävästä ilmiöstä. Yleisemmin heikkojen signaalien analyysillä voidaan tarkoittaa sellaisten tulevaisuuden merkkien huomioonottamista, jotka jäävät yleisen trenditarkastelun ulkopuolelle. Yleisimmin keskitytään ns. mustien joutsenien tunnistamiseen (Kuva 8), eli epätodennäköisten, mutta merkitykseltään suurien ilmiöiden ja tapahtumien havaitsemiseen. Ydinvoimalaonnettomuus ja Euroopan laajuinen sota ovat esimerkkejä mustista joutsenista. Joutsenien lisäksi kannattaa kuitenkin tarkastella myös ns. mustia elefanteja, jotka ovat hyvin tiedossa ja ovat merkitykseltään suuria, mutta jäävät syystä tai toisesta huomiotta. Ilmastonmuutoksen vaikutukset ja ikääntyvä väestö ovat esimerkkejä mustista elefanteista.

Monimutkaisessa ja keskinäisriippuvaisessa maailmassa on hyvä kiinnittää myös huomiota asioiden kytkeytyneisyyteen. Ns. mustat meduusat ovat esimerkkejä pienistä asioista, jotka saattavat aiheuttaa ketjureaktion, jonka vaikutukset ulottuvat yllättäviin osiin yhteiskuntaa. Nimi tulee meduusaparvista, jotka ovat tukkineet voimalaitosten jäähdytysjärjestelmiä ja siten aiheuttaneet sähkökatkoksia.

Uusin tarkasteltavan signaalien muoto ovat ns. mustat krottikalat, jotka liittyvät puheeseen tuudenjälkeisestä ajasta. Signaaleita tarkasteltaessa tulee olla varuillaan ja kriittinen sen suhteen, mitä ne kätkevät taakseen, tai mistä ne vievät huomion pois. Mediassa on runsaasti esimerkkejä siitä, miten pöyristyttävät väitteet tai väärintulkinnat saavat ohjattua keskustelun sivuraiteille. Esimerkiksi uutinen siitä, että tekoäly on kehittänyt oman kielen ja tutkijat ovat sen takia sulkeneet sen, ei ole merkki tekoällyn vääjäämättömästä vallankaappauksesta, vaan normaalista ohjelmistokehityksestä ja ohjelmointivirheiden korjaamisesta.



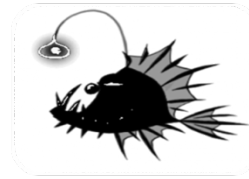
Joutsenet:
epätodennäköiset
merkittävät
tapahtumat



Elefantit:
todennäköiset
merkittävät, mutta
huomiotta jäävät
asiat



Meduusat:
pienet asiat, jotka
saattavat kasvaa
suuriksi



Krottikalat:
vaihtoehtoisten
faktojen aiheuttaman
konfliktin taakse
piiloutuvat asiat

Kuva 8. Tulevaisuudesta kertovien signaalien eri tyyppit.

Kun heikko signaali tai vastaava tulevaisuudesta kertova merkki on tunnistettu, se muokataan tapahtuman muotoon. Tapahtuman kuvauksen tulee olla riittävän konkreettinen, jotta tapahtuman vaikutuksia voidaan arvioida huoltovarmuuden kannalta. Tulkinta huoltovarmuuden kannalta voidaan tehdä työpajassa, jossa ensin arvioidaan satunnaisesti valittujen tapahtumien vaikutuksia huoltovarmuuden eri poolien suhteen. Millaisia toimenpiteitä kyseinen tapahtuma edellyttää? Tämän jälkeen arvioidaan nykyisien kompetenssien riittävyyttä. Onko tunnistettuihin toimenpiteisiin riittävää osaamista? Lopuksi mahdolliset osaamispuutteet kirjataan ylös.

6. TILANNEKUVAN KONSEPTI

Tässä projektissa tilannekuvan tavoitteena on kerätä tulokset yhteen ja luoda niiden pohjalta tilannekuvan konsepti, jonka avulla osaamisen tilaa voidaan ylläpitää. Kokonaisvaltainen tilannekuva edellyttää kriittisten osaamisten ja osaamisen kehittymistä tukevien toimintojen tunnistamista, sekä niiden keskinäisten riippuvuuksien hahmottamista. Kerätyn tiedon analysointi tuottaa tilannekuvatietoa, joka mahdollistaa tarvittavan päätöksenteon. Tilannekuvan muodostamisessa on huomioitu sekä lyhyen aikavälin tilannekuvaa sekä nykytilaa tuottavat menetelmät että pidemmän aikavälin tilannekuvaa tuottavat toimintatavat, jota kutsutaan ennakoinniksi ja on kuvattu tarkemmin luvussa 5.5. Luvussa 5.5. on kuvattu myös eri toimijoiden vastuita tilannekuvan ja ennakointimallin päivittämisessä.

Tilannetietoisuudella viitataan yleensä Endsleyn vuonna 1995 kehittämään määritelmään (Endsley 1995b). Hän määrittelee tilannetietoisuuden rakentuvan kolmessa vaiheessa: havainnointi (perception), ymmärtäminen (comprehension) ja projisointi (projection). Jokainen pystyy havainnoimaan samat asiat, mutta se ei tarkoita, että jokainen ymmärtäisi ne samalla tavalla. Toinen vaihe pohjautuu aiempaan tietoon ja kokemukseen, ja sen avulla pystyy ymmärtämään mitä asiat tarkoittavat siinä kontekstissa jossa halutaan. Kolmannessa vaiheessa näiden tietojen pohjalta syntyy kyky tehdä lyhyen tähtäimen päätelmiä tulevaisuuteen, jonka perusteella voi tehdä päätöksiä ja toimia. Eri vaiheet on esitetty kuvassa (Kuva 9). Endsleyn tilannekuvaa on kritisoitu siitä, että ennen havainnointia pitäisi ymmärtää tilanne.



Kuva 9. Tilannetietoisuuden kehittymisen vaiheet

Tilannekuva on käsitteenä heikoimmin määritelty kuin tilannetietoisuus, ja käsitettä käytetään eri asiayhteyksissä eri tavoin. Toisaalta tilannekuvalla voidaan tarkoittaa tilannekuva-järjestelmää, jossa esimerkiksi kartalle piirretty kuvaus tilanteesta, ja toisaalta lähempänä tilannetietoisuutta olevaa, kaiken kattavaa tilanneymmärrystä¹⁰. Yhteistä määritelmille kuitenkin on, että ne ovat päätöksentekoa tukevia. Tämän projektin yhteydessä tilannekuvalla tar-

¹⁰ Maanpuolustuskorkeakoulu, 2008

koitetaan näiden yhdistelmää; toisaalta osaamisen tilasta kertovia tekijöitä ja niiden tilanetta tällä hetkellä ja lähitulevaisuudessa on esitetty visuaalisessa muodossa, josta helposti saa alustavan käsityksen tilanteesta ja siihen vaikuttavista tekijöistä, mutta toisaalta syvemmän ymmärtämisen saaminen vaatii syvempää tietämystä taustatekijöistä ja tuloksiin vaikuttavista tekijöistä, joita aiemmissa kappaleissa on sanallisesti selitetty. Ymmärtämiseen vaikuttaa myös jokaisen henkilön oma kokemus ja tieto aihepiiristä ja sen ympärillä vaikuttavista asioista.

Osaamisen tilannekuvamallin konseptia suunniteltaessa käytiin läpi esimerkkejä olemassa olevista tilannetietoisuuden määritelmistä ja tilannekuvamalleista. Esimerkkimalleja analysoitiin sen mukaan, mitkä osat niistä sopisivat myös osaamisen tilannekuvan kehittämiseen, ja toisaalta mitkä niistä eivät jonkin rajoitteen vuoksi sovi.

Puolustusministeriö käyttää puolustuspoliittista tilannetietoisuutta tukemassa ja antamassa perusteita luotettavalle puolustuspolitiikan suunnittelulle ja päätöksenteolle¹¹. Tilannetietoisuutta pidetään välineenä toimintaa, ei päämääränä. Tilannekuva edellyttää ”kansallisia ja kansainvälisiä syötteitä turvallisuus- ja puolustuspoliittisista, sotilaallisista ja yhteiskunnallisista kehityssuunnista toimintaympäristössämme”. Olennainen tieto kootaan ja luokitellaan jatkotoimenpiteitä varten. Tiedon määrää ei nähdä ongelmana, vaan haasteena pidetään sen analysointia ja muokkaamista käyttökelpoiseksi tilannetietoisuudeksi. Ministeriössä tietoa jalostetaan ajankohtauskatsausten ja keskustelutilaisuuksien kautta, ja tilannetietoa vaihdetaan muiden toimijoiden kanssa.

Valtiovarainministeriön VAHTI-ohjeen Tilannetietoisuuden kehittäminen -ohjeen tavoitteena on saada yhdenmukaista ICT-tilannetietoa hallinnonaloilta ja virastoista osana normaalia raportointia ja tilastointia. Myös tässä nähdään olennaisena tietojen kokoaminen, esittäminen, ja kyky niiden käsittelyyn ja analysointiin. Tietoja tuottavat esimerkiksi käyttäjäorganisaatiot, kunnat, palveluyksiköt ja ulkoiset palveluntuottajat.

Selvitystyö Valtion kokonaisturvallisuudesta kiinteän omaisuuden siirroissa kartoittaa keinoja, joilla voidaan parantaa valtion kykyä tuottaa reaaliaikainen tilannekuva kiinteän omaisuuden (maa- ja vesialueiden) sekä osakehuoneistojen omistuksen ja hallintaoikeuden muutoksista, sekä toimijoista jotka liittyvät merkittäviin investointihakkeisiin (PLM 2017). Selvityksessä on kiinteistösidonnaisen tilannekuvan kehittämiseksi tarkasteltu olemassa olevien kiinteistötietojärjestelmien ja muiden rekisterikantojen hyödyntämismahdollisuuksia. Työssä on kehitetty tilannekuvamalli, joka on kaavion muodossa oleva ohjeistus kiinteistön kauppahetkestä päätökseen lunastustoimituksesta tai etuosto-oikeusmenettelystä.

Ongelmana osaamisen tilannekuvan ylläpitämisessä on se, ettei tietoa tule syötteinä automaattisesti mistään eikä sitä saa valmiista tietokannoista, vaan tieto on itse kerättävä, esimerkiksi tässä toteutettujen asiantuntijahaastatteluiden avulla. Mikäli syötteistä halutaan säännöllisiä, tulee haastattelut toistaa tietyn ajan välein, tai vastuuttaa asiantuntijat päivittämään tietoja tietyn aikavälein tai tilanteen muuttuessa (vrt. VAHTI-ohjeen malli). Jälkimmäistä ei tässä yhteydessä pidetä kuitenkaan kovin realistisena vaihtoehtona. Puolustusministeriön tapa jatkojalostaa tietoa keskustelutilaisuuksien kautta nähdään myös osaamisen tilannekuvan kehittämisessä toimivana mallina. Keskustelutilaisuudet voivat olla yksittäisiä haastatteluita, ryhmähaastatteluita, tai tietyn asiantuntijaryhmän keskustelutilaisuuksia. Keskustelutilaisuuksissa tulee kuitenkin ottaa huomioon, että niissä ei yleensä päästä samaan luottamusasteeseen kuin kahdenkeskisessä tai tutun ryhmän haastattelussa, mutta toisaalta

¹¹ http://www.defmin.fi/tehtavat_ja_toiminta/puolustuspolitiikka/tilannetietoisuus_puolustusministeriossa

suuremmat keskustelutilaisuudet voivat synnyttää keskustelua ja erilaisia näkemyksiä keskusteluineen, joita kahdenkeskeisessä ei välttämättä tulisi puheeksi.

Tässä työssä osaamisen tilannekuvan muodostamisessa on käytetty luvussa 2. Aineistot ja menetelmät kuvattua konseptia. Yksinkertaistettuna vaiheet ovat seuraavat:

1. Tutustutaan (pääosin kirjallisiin) taustamateriaaleihin, jonka perusteella identifioidaan kriittiset teknologia-alueet.
2. Tarkastellaan teknologia-alueiden kehitystä yleisellä tasolla vertaamalla nykyhetken tietoja aiemmin tehtyyn katsaukseen (mikäli sellainen saatavilla, yleisluonteinen päivitys)
3. Keskustellaan tuloksista ohjausryhmän kanssa ja valitaan tarkemmat teknologia-alueet, joihin keskitytään. Tehdään selkeät rajaukset tarkasteltavien alueiden sisällön osalta.
4. Muodostetaan karkea yleiskuva osaamisalueella toimivista organisaatioista ja toimijoista työparityöskentelynä.
5. Keskustellaan ensimmäisistä havainnoista ohjausryhmän kanssa ja valitaan tarkemmin haastateltavat avaintoimijoiden asiantuntijat.
6. Haastatellaan identifioidut avainasiantuntijat. Haastatteluissa pyydetään haastateltavia identifioimaan lisää avaintoimijoita. Jatketaan haastatteluita kunnes aineisto alkaa saturoitua.
7. Samanaikaisesti haastattelujen kanssa kerätään aluetta koskevaa ajankohtaista dokumenttimateriaalia laajasti saatavilla olevista lähteistä (esim. raportit, opinnäytteet, artikkelit jne.). Lisäksi kerätään relevanteja tilastotietoja (esim. tutkimusrahoituksen kehitys, yritystilastot jne.).
8. Tehdään teknologia-aluetta koskeva analyysi patenteista ja tieteellisistä julkaisuista. Patentti- ja julkaisuanalyysin pohjaksi tehdään aluetta kuvaava käsitekartta. Käsitekartta voidaan tehdä siten, että alustava kartta tehdään työparityöskentelynä ja sitä täydennetään laajemmin asiantuntijoiden avulla webpohjaisesti.
9. Kerätään tiedot teknologia-alueen merkittävistä innovaatioista VTT:n SFINNO-tietokannasta
10. Koostetaan eri aineistojen tuottamat tiedot yhteen ja analysoidaan materiaali. Mikäli havaitaan puutteita tai aukkoja aineistossa, kerätään täydentävää tietoa esimerkiksi lisähaastatteluilla tai tietopyynnöillä.
11. Tuloksia tiivistetään taulukoihin, diagrammeihin ja yhteenvetoihin siten, että informaatio on nopeasti, täsmällisesti ja visuaalisesti helposti hahmotettavassa muodossa.

Kun näiden teknologia-alueiden tilannekuvaa lähdetään päivittämään, voi käyttää hyvin samanlaista konseptia. Mikäli päivitys tehdään näistä valituista teknologia-alueista, voidaan siirtyä suoraan vaiheeseen 4., jossa on hyvä käydä lyhyt asiantuntijakeskustelu osaamisalueen näkökulmista sillä hetkellä sekä käydä läpi mahdollisia uusia sekä poistuneita toimijoita alalla. Sen perusteella kohdassa 5. voidaan miettiä, miten haastateltavien listaa tulee päivittää.

Julkisuuslain (621/1999) 24.1§:n 10 kohdan mukaisesti salassa pidettävä aineisto on erillisessä liitteessä.

7. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Seuraavassa esitetään selvityksen johtopäätökset ja tutkimusryhmän ehdottamat toimenpiteet osaamisen huoltovarmuuden turvaamiseksi. Johtopäätökset on jaettu kolmeen osaan; 1) yleiset johtopäätökset, 2) teknologia-alueisiin liittyvät johtopäätökset sekä 3) tilannekuvaan ja ennakkointiin liittyvät johtopäätökset.

7.1 Yleiset johtopäätökset

Osaamisen huoltovarmuuteen liittyvän kansallisen toimintaympäristön muutos vaatii huomiota

Selvitys osoittaa, että kansallisessa toimintaympäristössä on käynnissä useita kehityskuluja ja muutoksia, jotka vaikuttavat osaamisen huoltovarmuuteen siinä mielessä, kun sitä tässä hankkeessa on tarkasteltu. Muutokset liittyvät pitkälti kehitykseen kansallisen tutkimus-, koulutus- ja innovaatiojärjestelmän piirissä. Esimerkkejä tällaisista kehityskuluista ovat mm. seuraavat:

1. Yliopistoissa ja tutkimuslaitoksissa viime vuosina tapahtuneet merkittävät muutokset, jotka ovat aiheuttaneet sekaannusta ja osin myös osaamisen häviämistä ja siirtymisiä.
2. Tenure track -järjestelmän yleistyminen yliopistojen urajärjestelmänä ja rekrytointimenettelynä, mikä saattaa hankaloittaa maanpuolustuksen kannalta kriittisen tutkimuksen tekemistä yliopistoissa.
3. Julkisen t&k-rahoituksen leikkaukset, jotka ovat heikentäneet t&k-pohjaisen korkean osaamisen kehittymistä esimerkiksi ainakin osalla tässä selvityksessä tarkasteltuja teknologia-alueita.
4. Perustieteenalojen opetus korkeakouluissa ja sen mahdollinen väheneminen. Selvityksessä kerätty aineisto antaa viitteitä siitä, että perustieteenalojen, kuten fysiikan, kemian ja matematiikan, opetus olisi vähentynyt korkeakouluissa. Tätä kysymystä ei kuitenkaan ole voitu kattavasti tarkastella tämän selvityksen puitteissa ja se vaatii erillistä tarkastelua.

Monet näistä muutoksista ovat vaikuttaneet ja vaikuttavat edelleen maanpuolustukseen liittyvän osaamisen ylläpitämiseen ja kehittämiseen. On huomioitava, että mikään edellä mainituista kehityskuluista ei ole omiaan vahvistamaan osaamisen huoltovarmuuden edellytyksiä, vaan ne ovat luonteeltaan osaamisen huoltovarmuuden ylläpitämistä haastavia tekijöitä.

Toimenpide-ehdotus: Kansallisen t&k-toiminnan toimintaympäristön muutosta ja siihen liittyviä päätöksiä tulisi tarkastella nykyistä systemaattisemmin myös puolustusjärjestelmään liittyvän osaamisen ja sen huoltovarmuuden näkökulmasta. Tämä voitaisiin toteuttaa esimerkiksi 2-3 vuoden välein toteutettavana seurantatutkimuksena.

Toimenpide-ehdotus: Toteutetaan erillinen selvitys siitä, miten eri tieteenalojen opetustarjonta ja opiskelijamäärät ovat kehittyneet korkeakouluissa. Erityisesti tulee tarkastella perustieteenalojen tilannetta.

Toimenpide-ehdotus: On varmistettava jatko- ja lisäkoulutuksen systemaattinen järjestäminen osaamisen ylläpitämiseksi ja päivittämiseksi muuttuvassa toimintaympäristössä, ml. uudet teknologiat, niiden uhat ja mahdollisuudet sekä laki- ja sopimusmuutokset ja niiden vaikutukset.

Valtionhallinnon referenssit tukevat yritysten myyntiä myös ulkomaille

Selvityksessä todettiin, että nykyisellään kaikkia valtionhallinnon tilauksia ei saa käyttää julkisena referenssinä myynnissä ja markkinoinnissa. Kuitenkin valtionhallinnon tilaukset toimivat tärkeinä referensseinä erityisesti vientitoiminnassa.

Toisaalta voisi olla kannattavaa tarkastella erilaisia mahdollisuuksia valtionhallinnon tilauskäytäntöihin. Esimerkiksi uuden teknologian suunnittelu, testaus ja käyttöönotto yhdessä kotimaisen yrityksen kanssa loisi yhteistä osaamista, josta molemmat hyötyisivät pidemmällä aikavälillä. Samalla luotaisiin toimiva yhteys arvokkaan käyttäjäkokemuksen vaihtamiseksi ja asiakkaan tarpeiden parempaan ymmärtämiseen.

Kriittisen osaamisen häviäminen työelämässä

Hankkeessa nousi esiin haaste osaamisen pysymisestä saatavilla. Selkeä epäjatkuuskohta on osaajien siirtyminen työelämässä muille aloille, joissa kriittinen osaaminen ei enää säily. Tätä kehitystä tukevat niin normaali urakehitys kuin viime vuosina yleiset henkilökunnan vähennykset, jotka hävittävät niin osaajia kuin osaamisia. Joillain aloilla heikko työllistyminen Suomessa ajaa osaajia etsimään työuraa ulkomailta, jolloin he eivät välttämättä ole kansallisesti käytettävissä. Monesti haasteena on, että kriittistä osaamista ei tunnusteta eikä siten osata vaalia. Toisaalta teknologian ja toimintaympäristön muutokset muuttavat myös eri osaamisten kriittisyyttä, jolloin tänään nyky-ymmärryksellä tehdyt päätökset voivat hävittää osaamista, joka onkin kriittistä myöhemmin. Onkin tärkeää ymmärtää oman toimintansa kannalta kriittiset osaamiset ja päivittää tätä näkemystä säännöllisesti. Aina osaaminen ei ole omassa organisaatiossa vaan yhteistyökumppanilla tai palveluntarjoajalla, jolloin asia pitää ottaa huomioon oman toiminnan mahdollisia epäjatkuuskohtia arvioitaessa. Osaamisen korvaaminen on hidasta, koska nyt tarkasteltuihin tehtäviin pätevoidytään työn ohessa vasta vuosien kuluessa.

Osaamisen henkilöityminen

Monella alalla osaaminen syntyy työn kautta. Tämä myös johtaa osaamisen henkilöitymiseen, mikä aiheuttaa riskin osaamisen jatkumiselle. Nyt vastuu osaamisen jakamisesta ja siirtämisestä on eri toimijoiden omassa viitseliäisyydessä. Uramahdollisuuksien ja -kehityksen kehittäminen olisi selkeä parannuskohta. Muussa tapauksessa menetämme osaajat ja nuoret lahjakkuudet muille aloille. Joillakin aihealueilla henkilöitymistä vahvistaa kansainvälisten yhteyksien perustuminen henkilön omille ansioille. Uusia osaajia tulisi aktiivisesti verkottaa oman alan yhteisöihin aina kun mahdollista. Osaamisen jatkuminen ja siirtäminen pitäisi myös mahdollistaa taloudellisesti.

7.2 Teknologia-alueisiin liittyvät johtopäätökset

Osaamisen siirtäminen uusille aloille

Haastatteluissa tuli esiin osaamisia, joita voisi hyödyntää uusilla aloilla, mutta näin ei vielä tehdä. On tunnistettu yrityksiä, joiden tarjoama voisi ratkaista haasteita toisilla aihealueilla. Vastaavasti Aallossa, TTY:llä ja muissa yliopistoissa kasvavaa uutta osaamista tulisi tarkastella laajemmin uusien hyödyntämismahdollisuuksien näkökulmasta.

Toimenpide-ehdotus: Tunnistettujen potentiaalisten yritysten innostaminen uusille aihealueelle tulisi aloittaa, ja samalla jatkaa uusien aihealueiden tunnistamista. Vastaavasti yliopistoissa kasvavaa uutta osaamista tulisi tarkastella systemaattisesti ja innostaa opiskelijoita testaamaan osaamistaan muilla aihealueilla.

Osaamistilanne vaihtelee radikaalisti eri teknologia-alueiden sisällä

Osaamistilanne ja edellytykset jatkuvuuden ylläpitoon materiaali- ja rakenneteknologian eri osa-alueilla poikkeavat toisistaan. Kahdella osa-alueella – itämerellinen ja Suomen pohjoisen sijainnin materiaali- ja rakenneteknologiat sekä rakenteiden mekaniikka ja niihin liittyvä mallinnus ja simulointi – tilanne on selvästi parempi kuin kolmella muulla. Näillä kahdella alueella osaaminen on selvästi kasvavaa ja alan teollisuudesta tulee imua joka ylläpitää osaamista. Neljällä muulla osa-alueella – ballistisen suojan materiaaliteknologiat, häiveteknisen suojan materiaaliteknologiat, erikoismateriaalit ja vauriokorjauskyky sekä energieettiset materiaalit puolestaan ei ole vastaavaa vetoa alan teollisuudesta ja osaamisen ylläpito yrityksissä on pitkälti julkisen sektorin kysynnän varassa. Näille alueille voi muodostua tilanne, jossa osaamista ei synny, se ei ainakaan kehity ja pahimmassa tapauksessa osaaminen hiipuu, mikäli julkisen sektorin kysyntää tai tarvetta ei ole tai se vähenee. Yrityksissä osaamisen ylläpito edellyttää jonkinlaista jatkuvaa tilauskantaa. Näillä alueilla osaamisen ylläpitämisen näkökulmasta yritysten vientitoiminta olisi keskeisessä roolissa, mutta on muistettava, että vientitoimintakaan ei ylläpidä kaikkea osaamista (esim. spesifisti puolustusvoimille suunnitellut tuotteet). Nämä ovat myös varsin kapea-alaisia osaamisalueita, joissa osaajia/toimijoita on vähän. Osaamisen ylläpito ja jatkuvuus voi tällaisilla alueilla olla yksittäisistä organisaatiosta tai osaajista kiinni. Osaamisen tilannekuvan ylläpito näillä alueilla on erityisen tärkeää.

Tutkimus- ja kehitystoiminta on olennaista osaamisen ylläpitämiseksi, mutta osalla osa-alueista T&K-resurssit ovat hyvin niukat

Tutkimus- ja kehitystoiminta on keskeisessä roolissa osaamisen kehittymisessä ja ylläpitämisessä kaikilla rakenne- ja materiaaliteknologian osa-alueilla. Osa-alueilla on kuitenkin hyvin suuret erot siinä, missä määrin julkista tuotekehitysrahoitusta on ollut saatavilla kehitystoimintaan. Osalla alueista rahoitusta on ollut niukasti ja se on ollut hyvin vahvasti yhden tahon (esim. Puolustusvoimien rahoituksen) varassa. Tällaisia alueita ovat esimerkiksi häivemateriaalit, ballistinen suoja ja vauriokorjauskyky). Toisille osa-alueille on yleistä tuotekehitysrahoitusta (Tekes, Suomen Akatemia, EU) ollut huomattavan hyvin saatavilla (mallinnus ja simulointi, meritekнологia). Huomionarvoista myös on, että osalla osa-alueista osaaminen on hyvin spesifiä eikä näissä tapauksissa ”yleinen” materiaaliteknologian tutkimusrahoitus hyödytä alueen kehitystä. Alueen tutkimus- ja kehitysrahoituksen osalta huomionarvoista on myös Tekesin toiminnan viimeaikaiset muutokset ja se, miten ne vaikuttavat jatkossa. Vastaavanlaisia eroja löytyy myös muilta selvityksessä tarkastelluilta teknologia-alueilta.

Laboratorio- ja vastaavien tutkimusympäristöjen perustaminen ja ylläpito yliopistojen ja tutkimuslaitosten toimesta on haastavaa

Laboratorioympäristön perustaminen on suuri investointi yksittäiselle organisaatiolle, mistä johtuen tarjolla olevia ”yhteiskäyttöisiä” laboratoriotiloja hyödynnetään suomalaisten pk-yri-tysten toimesta aktiivisesti. Tästä yhtenä esimerkkinä voidaan pitää VTT:n puhdistilaa Micronovassa, joka on monen VTT:ltä lähteneen spinoff-yrityksen toiminnan edellytyksenä, mutta myös muiden yritysten käytössä.

Akatemia tarjoaa rahoitusta yliopistojen ja tutkimuslaitosten tutkimusympäristöjen laiteinvestointeihin sillä ehdolla, että niitä ei käytetä maksulliseen toimintaan. Tämä johtaa tutkimusympäristön vajaakäyttöön ja kustannustehottomuuteen niin laitteistojen kuin osajien osalta, mikä lisää painostusta ympäristön alasajoon haettaessa säästöjä ylläpitokustannuksista. Yhteiskäyttöisten tutkimusympäristöjen perustamiseen ja niiden laitteistoihin tulisivat kohdentaa lisää varoja, jotta ympäristöjen määrää saataisiin kasvatettua takaamaan riittävä omavaraisuus myös kriisitilanteiden varalta.

Ulkomainen korkean tason osaaminen ei jää Suomeen

Kovan teknologian aloilla kotimaisia opiskelijoita ei ole tarpeeksi, jonka vuoksi ulkomailta Suomeen tulevat opiskelijat nähdään arvokkaina osaamisresursseina. Haastatteluissa ilmi tulleiden kokemusten perusteella koettiin, että ulkomailta tulevat opiskelijat ovat usein motivoituneina ja Suomeen sitoutuneina. Ongelmana kuitenkin ovat vaikeasti saatavat (sekä määräaikaaset) oleskeluluvat, vaikka osaajalla olisi vakituinen työpaikka alalla. Suurena riskinä nähdään tällöin osaamisresurssien katoaminen Suomesta maihin joissa osaajat saavat helpommin vakituisen oleskeluluvan ja jopa kansalaisuuden. Toisaalta osaamisen kansainvälistyminen voi olla maanpuolustukseen kytkeytyvän tutkimuksen näkökulmasta ongelmalista.

Erilaisten tuotteiden valmistuksen katoaminen Suomesta

Elektroniikkatuotannon siirtyminen Kaukoitään ja Intiaan sekä sitä myötä suunnittelu, prosessi ja tuotanto-osaamisen katoaminen erityisesti puolijohdetekniikassa on nostettu esille jo 2010 ilmestyneessä MATINE:n Kansallisen turvallisuuden ajatusmylly -raportissa (MATINE 2010). Sama aihe nousi edelleen esille, mutta osaamisen katoamisen syyksi ei niinkään nähty siirtynyttä tuotantoa, vaan yleistä kovien aineiden (matematiikka, fysiikka ja kemia) opiskelun vähenemistä ja sitä kautta vaikeutunutta uusien osajien saamista osaamisalueilla jotka ovat ”vaikeita” ja vaativat erityistä ammattitaitoa. Toisaalta ei ole tiedossa, ovatko yliopistot tarkoituksella vähentäneet puolijohteisiin liittyvää opetusta. Monien komponenttien valmistus on uhkakuvista huolimatta pysynyt Suomessa, mutta kalliiden puhdistalainvestointien puutteen vuoksi esimerkiksi uusimpia tehokkaita prosessoreita ei Suomessa voida nykyisillä laitteilla valmistaa ainakaan suurissa määrin. Valmistusosaamisen katoamiseen liittyy osittain myös mikro-/hienomekaniikan ammatillinen koulutus, joka on katoamassa Kelloseppäkoulusta rahoituksen karsimisen vuoksi. Mikäli Kelloseppäkoulu sulautetaan toiseen oppilaitokseen, voi se aiheuttaa tiettyjen yhä omaa valmistusta tekevien yritysten perustaan aukon hienomekaniikan kädentaidon katoamisen myötä.

7.3 Tilannekuvaan ja ennakointiin liittyvät johtopäätökset

Tarvitaan riittävän tarkat Suomen yleisiä kehitysnäkymiä avaavat tulevaisuuskuvat

Suomessa tuotetaan paljon ennakointitietoa monen tahon toimesta. Ongelmana on yhteisen näkemyksen puute ja tiedon hyödyntäminen. Huoltovarmuuden osaamistarpeiden ennakoinnin kannalta olisi hyödyllistä, jos olisi olemassa yhteisesti ja hyviä ennakointikäytäntöjä hyödyntäen luotuja tulevaisuuskuvia, joissa avattaisiin Suomen ja Suomen toimintaympäristön mahdollisia kehityssuuntia. Tällä hetkellä tarjolla on mm. megatrendilistauksia, jotka jäävät liian yleiselle tasolle, ja toisaalta alue- tai sektorikohtaisia tulevaisuuskuvia, jotka eivät anna kokonaiskuvaa. Edellytyksiä kattavan ja yhteisesti muodostettujen tulevaisuuskuvioiden luomiseksi on kansallisen ennakointiverkoston puitteissa.

Toimenpide-ehdotus: Aloitetaan toistuva prosessi Suomen vaihtoehtoisten tulevaisuuskuvioiden luomiseksi ja päivittämiseksi. Kansallisen ennakointiverkoston tulisi koordinoita prosessia.

Radikaalien teknologioiden ennakoinnin kytkeminen huoltovarmuuteen liittyvien osaamistarpeiden ennakointiprosessiin

Eduskunnan tulevaisuusvaliokunta on julkaissut radikaalien teknologioiden ennakointiin liittyen viisi raporttia ja ennakointityötä jatketaan ja kehitetään. Ennakoinnissa yhtenä näkökulmana on turvallisuus. Tätä näkökulmaa kannattaa jatkossa kehittää niin, että se palvelee suoraan huoltovarmuuden osaamistarpeiden ennakointia.

Toimenpide-ehdotus: Otetaan radikaalien teknologioiden ennakoinnin jatkokehityksessä huomioon huoltovarmuuden osaamistarpeiden ennakointiprosessi ja tarpeet.

Tilannekuvan rakentaminen vaatii kokonaisvaltaista ymmärrystä

Tilannekuva osaamisen teknologia-alueella vaatii ymmärrystä niin itse teknologia-alueesta, termeistä, nykytilasta, tulevaisuuden näkymistä, kuin myös suhteuttamista puolustusvoimien tarpeeseen ja mahdollisuuksiin. Tulevaisuuden näkymien ja osaamisen katoamisen vaikutuksen arviointiin vaaditaan henkilöä, joka on toiminut alalla pitkään ja ymmärtää teknologiaa kunnolla. Alalla toimimattoman on vaikea suhteuttaa, millainen vaikutus esimerkiksi puolijohdeosaamisen katoamisella on eri toimintoihin. Toisaalta alan asiantuntijalla ei useinkaan ole samoja pohjatietoja puolustusvoimien tarpeista ja suunnitelmista kuin puolustusvoimien edustajalla, jolloin alan asiantuntijankin voi olla vaikea arvioida osaamisen tarvetta Suomen puolustuksen näkökulmasta.

Toimenpide-ehdotus: Työpajamuotoista työskentelyä alan asiantuntijoiden ja puolustusvoimien tarpeita ymmärtävien tahojen kesken tulisi lisätä.

Tilannekuva ei päivity automaattisesti

Osaamisen tilannekuvaa rakentaessa syötteitä uusista tapahtumista tai muuttuneista tiedoista ei saa automaattisesti, eikä niitä voi myöskään hakea tietokannasta tms. Mikäli syötteistä halutaan säännöllisiä, tulee haastattelut toistaa tai vastuuttaa asiantuntijat päivittämään tietoja tietyn aikavälein tai tilanteen muuttuessa. Jälkimmäisen toteuttaminen voi olla

haastavaa eikä tässä yhteydessä nähdä suositeltavana vaihtoehtona, vaan suositaan enemmän lähestymistapaa, jossa asiantuntijoihin ollaan itse yhteydessä uusintahaastattelun muodossa.

Toimenpide-ehdotus: Tilannekuvatietojen päivittämiseen tulisi ottaa käyttöön vakiintunut prosessi, joka mahdollistaa pysyvän yhteyden eri ministeriöiden ja alan asiantuntijoiden kesken, esim. säännöllisin väliajoin toteutettavien uusintahaastattelujen tai työpajojen merkeissä.

Julkisen ja yksityisten palveluntuotannon suhde ja niiden kehittäminen

Yhteiskunnassamme palvelujen tuottajina ovat enenevässä määrin yksityiset ja kolmannen sektorin toimijat julkisten toimijoiden rinnalla. Huoltovarmuuden näkökulmasta tämä kehitys nostaa esiin kysymyksen tarvittavien osaamisten ja resurssien sijoittumisesta ja toiminnan järjestämisestä erilaisissa kriisitilanteissa, ml. pitkäkestoisten tilanteiden hoitamisen. Toiminnan organisoiminen ja selkeät roolitukset tulee varmistaa kaikissa käytettävissä malleissa, mukaan lukien tarvittavat resurssit, yhteistyökuviot ja sijoittuminen maantieteellisesti. Huoltovarmuuden näkökulmasta julkisen ja yksityisen palvelun tematiikan kehittymistä pitää seurata määrätietoisesti ja systemaattisesti, jotta erilaisissa kriisitilanteessa tarvittavat resurssit ovat olemassa ja käytettävissä.

LIITE 1: HAASTATTELUKYSYMYKSET

Hankkeessa haastateltiin alan toimijakenttää.

Huom. Haastattelurunko on vain suuntaa antava, sillä haastattelukysymykset räätälöitiin erikseen kutakin haastattelua varten.

1 Mikä on oma erityisalueesi <teknologian> alueella?

2 Yrityksenne/ organisaationne toiminta <teknologian> alueella

- Kuvailisitko organisaationne toimintaa <teknologian> alueella?
- Kuinka paljon organisaatiossanne on alueella työntekijöitä?
- Missä määrin organisaationne tekee t&k-toimintaa tällä alueella? Mihin se kohdistuu?
- Mikä on t&k-toiminnan volyyymi?
- Yrityksenne vientitoiminta?
- Kansainvälinen yhteistyö?

3 Alan toimijakenttä

- Missä organisaatioissa on ko. teknologia-alueeseen liittyvää osaamista?
- Mitkä perustieteenalat ovat tämän alueen osaamisen taustalla?

4 Osaamisen nykytila eri organisaatioissa tarkemmin ja kehitysnäkymät

- Minkälaista t&k-toimintaa ko. organisaatioissa on? Mihin t&k-toiminta suuntautuu?
- Minkälaista korkean tason koulutusta on? Mikä on toiminnan volyyymi?
- Miten osaamista kehitetään ja ylläpidetään organisaatioissa?
- Minkälaista kv. yhteistyötä organisaatiot tekevät osaamisen kehittämiseksi ja ylläpitämiseksi?
- Missä määrin alan yritykset tekevät vientitoimintaa ja sitä kautta laventavat osaamis pohjaansa ja menestysmahdollisuuksiaan?
- Missä määrin ko. teknologia-alaan liittyvä kotimainen teollisuus on kytkeytynyt laajempiin arvoketjuihin?

5 Osaamisen puutteet

- Onko tällä teknologia-alueella sellaista kriittistä osaamista jota Suomessa ei ole? Onko Suomessa nähtävissä aukkoja osaamisessa?
- Mitä osaamista pitäisi erityisesti kehittää?

6 Kansallinen näkökulma

- Missä määrin ko. osaamisalueella maanpuolustuksen ja huoltovarmuuden näkökulmat on integroitu kansalliseen tutkimus- ja innovaatiopolitiikkaan?
- Mikä on julkisen t&k-rahoituksen tila alueella näkemyksenne mukaan?
- Mihin suuntaan osaaminen on kehittymässä, onko kyseessä vähenevä vai kasvava alue? Onko osaamisalueella tai –toimintaympäristössä tapahtunut muutoksia?
- Mikä on tilanne osaamisen jatkuvuuden näkökulmasta ko. alueella kansallisesti?

LIITE 2: ESIMERKKEJÄ MERKITTÄVISTÄ SUOMALAISISTA INNOVAATIOISTA /RAKENNE- JA MATERIAALITEKNOLOGIAT

Taulukossa on esimerkkejä luvussa "4. Osaamisen tila - Tarkastelu kolmesta kriittisestä teknologia-alueesta" -esitettyihin rakenne- ja materiaalitekniikan osa-alueisiin liittyvistä ja niillä alueilla toimivien yritysten kehittämistä merkittävistä suomalaisista innovaatioista. Osa-alueet: A= Häivemateriaalit, B=Ballistisen suojan materiaalitekniikat, C=Erikoismateriaalien teknologiat ja –materiaalien vauriokorjauskyky, D=Energeettisten materiaalien teknologiat, E=Itämerellisen tai Suomen pohjoisen sijainnin erityisolosuhteiden materiaali- ja rakennetekniikat, F=Rakenteiden mekaniikka ja niihin liittyvät mallinnus ja simulointikyky

Yritys / Organisaatio	Innovaatio (osa-alue)	Kuvaus	Vuosi
Aker Arctic Technology Oy	Jäänmurtoon pystyvä rahtilaiva (E)	Aker Arctic Technologyn kehittämällä jäänmurtoon pystyvillä rahtilaivoilla on mahdollista saavuttaa huikeita säästöjä arktisessa liikenteessä, kun erillistä jäänmurtajaa ei tarvitse käyttää.	2008
Aker Finnyards Oy	Jäissä kulkevien alusten rungon muoto (sivuponttoonin) (E)	Aluksen perä voidaan muuntaa vaihtamalla osa, jolloin alusta voidaan käyttää esim. hinaukseen tai perän yli tapahtuvaan esim. ankkureiden tai poijujen käsittelyyn	1992
Arctech Helsinki Shipyard Oy	Vinottain jäätä murtava alus (E)	Alus, joka pystyy murtamaan 60-sentistä jäätä 50 metrin leveydeltä. Idea, joka korvaa kahden jäänmurtajan käyttämisen.	2012
C.P.E. Production Oy	Taktinen luotiliivi (B)	Ballistinen suojaliivi / luotiliivi, joka suojaa luotien lisäksi myös teräaseiden ja neulojen pistoilta	2007
Conlog Oy	Pelastuskontti (B,A)	Oululainen Conlog Oy on kehittänyt pelastuskontin, joka voidaan esim. helikopterin avulla kuljettaa mihin tahansa ympäristöön. Kontti toimii ensiapupisteenä ja se sisältää laajan kirjon erilaisia pelastustehtävissä tarvittavia välineitä. Peijaksen sairaalalla on ollut vastuu kontin lääketieteellisestä osasta.	na
Exote Oy	Luotisuojausmenetelmä (B)	Exote materiaali. Materiaali suojaa uusilta panssarinläpäisyluodeilta ja ammuksilta. Kovamateriaali pysäyttää panssarinläpäisyluodit ampumatesteissä huomattavasti paremmin kuin muut markkinoilla olevat materiaalit. Se kestää korkeita lämpötiloja ja kulutuksen kestävyys on huippuluokkaa. Materiaali on hinnaltaan kilpailukykyinen ja ympäristöystävällinen toisin kuin volframi ja koboltti, joista jälkimmäinen terveydelle vaarallista (materiaalin ominaisuudet lähellä volframikarbidikobolttikovametallia). Se on lisäksi kevyttä (luotisuojusrakentei-	2003

		den panssariteräs) ja sitkeää kuin teräs (vs. keraamiset luotisuojusrakenteet). Perustuu Exote armour -materiaalin teknologiaan, jota on kehitetty edelleen. Mistään muusta olemassa olevasta materiaalista ei löydy vastaavaa lujuuden, kovuuden ja sitkeyden yhdistelmää.	
Forcit Oy Ab	Foxit-räjähdyksine (D)	Uusi muovisidosteinen Foxit-räjähdyksine	2006
FY-Composites Oy	Rapid Shelter System (B)	Kevyt ja nopeasti koottava luotisuojajärjestelmä	2006
FY-Industries Oy	Monitoimimurtajan rungon muoto (E)	Leveä keulaosa jäänmurtokeuloineen mahdollistaa optimaalisen pääuoman sekä pienen jäänmurtovastuksen. Rungon kavennus ulokkeineen antaa hyvät merenkäyntiominaisuudet mahdollistaen aluksen toiminnan vaikeisakin avomeriolosuhteissa.	1993
ICEYE Oy	Mikrosatelliitit (E)	Palveluinnovaatio arktisen alueen jäätalasta kiinnostuneille yrityksille (mm. rahtaajat ja öljynporaajat), jossa lähetetään avaruuteen useita mikrosatelliitteja, jotka pystyvät nykyisen 12 tunnin viiveen sijasta kuvaamaan tarkasti jäälauttojen ja jäänkehityksen liikkeitä tunnin välein. Mahdollistaa rahdille parempien reittien valinnan sekä varautumisen jäiden liikkumiseen öljynporauslautoille. Saanut tunnustusta kansainvälisesti.	na
Kvaerner Masa-Yards Oy	Ruostumaton jäänmurtaja. Laivan rungossa ruostumaton teräsvyöhyke (E)	Ruostumattomalla teräksellä päällystetty hiiliteräs (compound) on ainoa kaupallinen materiaali, joka kestää jäissä kulkevan aluksen vesilinjassa. Taloudellinen merkitys on suuri, koska jään kitkasta n. 75 % on jäävyöhykkeellä.	1986
Kvaerner Masa-Yards Oy	Ydinkäyttöinen jäänmurtaja (E)	Uudentyyppinen matalakulkuinen yhdellä reaktorilla toimiva jäänmurtaja, jossa on yhdistetty länsimainen laivanrakennus- ja turvallisuustekniikka venäläiseen laivareaktoritekniikkaan.	1984
Kvaerner Masa-Yards Oy	Suulakeratkaisu murtajiin ja jäissä kulkeviin aluksiin (E)	Uudenlainen murtajien ja jäissä kulkevien alusten suulakeratkaisu	1986
Millidyne Oy	Pinnoitemateriaali	Pinnoitemateriaali teollisuuden koneisiin	2004
Millidyne Oy	Avalon pinnoitetuote	Sooli-geelipohjainen matalaviskoosinen alkoholipohjainen pinnoiteliuos, joka mahdollistaa kestävänsä mutta ohuen ja helposti applikoitavan pinnoitteen valmistamisen ruostumattomalle teräkselle, lasitetulle keramiikalle ja tietyille muovimateriaaleille.	2009
Millidyne Oy	Antibakteerinen nanopinnoite	Pinnoite pitää esimerkiksi sairaaloiden ovenkahvat puhtaina pitkään vahingoittamatta niitä	2008
Mobimar Oy	Kolmirunkoinen jäänmurtaja (E)	Uudenlainen kolmirunkoinen laiva murskasi meren jääpeitettä nykyistä	2013

		leveämmäksi jääänniksi ja kuluttaisi vähemmän energiaa. Suomen vesiä voi kyntää jo muutaman vuoden kulluttua huomattavasti nykyisistä jäänmurtajista poikkeava kolmirunkoinen murtaja. Alusta suunnittelevan Aker Arcticin mukaan kolmirunkoinen murtaja tekisi jäähän huomattavasti nykyistä leveämmän uran, mutta pienemmällä polttoaineen kulutuksella.	
Nordberglokomo Oy	Arclok 1000-teräs (E)	Martensiittinen teräs, jolla n. 2-kertainen kulutuskestävyys verrattuna normaaleihin teräslaatuihin. Käyttökohteena vesitupiinien juoksupyörä - ja laivapotkurivalut kuluttaviin olosuhteisiin.	1994
Oulun yliopisto	Ultra-arktinen teräs (E)	Oulun yliopistossa on kehitetty super-sitkeä teräs, joka on nostettu alan julkaisuissa lupaavimpien keksintöjen kärkeksi. Tekniikan tohtori Jouko Leinosen kehittämien menetelmien avulla tavallinen rakenneteräs pysyy sitkeänä jopa sadassa pakkasasteessa. Nykyisin tavallisille teräksille taataan sitkeys enimmillään 60 miinusasteeseen saakka. Tämän jälkeen teräs haurastuu ja napsahtaa helposti poikki. Kylmien olosuhteiden teräksistä on kiinnostunut mm. offshore-teollisuus.	n/a
Patria Aviation Oy	Hornetin muuntokorjaus (C)	Vaurioituneen Hornetin muuntaminen yksipaikkaisesta kaksipaikkaiseksi	2009
Patria Aviation Oy	Patch-sized textile satellite-communication antenna	Patria Group has developed a new kind of a flexible satellite antenna, which is capable of operating in the Iridium Satellite Phone and GPS frequency bands. It allows the Iridium satellites two-way voice and data communication, while GPS provides positional data to the user. Patria's soft antenna can be sewn onto clothing.	2009
Patria Aviation Oy (Patria Advanced Systems)	Debie-2 mittalaite	Avaruusromuhiukkasten esiintymistiheyttä mittaava laite avaruusasemille	2008
Patria Industries	Amos kranaatinheitinjärjestelmä	Amoksessa on kaksiputkinen kranaatinheitintorni asennettu panssaroidun ajoneuvon päälle. Amos-kranaatinheitintorni on kahdella tuliputkella varustettu kranaatinheitin. Tuplalaukaus tuplaa tulivoiman. Järjestelmän nerokkuus piilee hyvin tarkassa ajoituksessa kahden laukauksen välillä. Kilpailijoilla ei vastaavia ratkaisuja.	na
Patria Oyj (NYK Patria Finance Oyj)	AMV- taisteluajoneuvo (B)	Taisteluolosuhteisiin kehitetty ajoneuvo	2003

Rauma Materials Technology Oy	Maraging-teräs, jauhemetallurginen (E)	Pulverimetallurginen ultraluja maraging-teräs, josta voidaan valmistaa korkealuokkaisia muotteja, työkaluja ja muita hyviä lujuus/sitkeysyhdistelmiä tai termisen väsymisen kestävyyttä vaativia tuotteita.	1993
Rauma Oyj	OS-590 Vaculok-valuteräs (E)	Arktisiin olosuhteisiin soveltuva valuteräs	1987
Rautaruukki	RAEX POLAR –livanrakennusteräs (E)	Jäänmurtajan laidoituksessa jään hankaus kuluttaa maalin. Esab kehitti 1960-luvun alussa lisäaineen, jolla hitsin syöpyminen hallittiin. RAEX POLARilla ratkaistiin hitsisaumassa lisäaineen viereinen sularajan ja muutosvyöhykkeen korrosio.	1970
Rautaruukki	Offshore-teräs (E)	Offshore teollisuuden tarpeisiin kehitetty uusi teräslaji	1987
Sako Oy	Sako A7 ase (D)	Keskihintaluokan ase. Monta työlästä käsin tehtävää pintakäsittely- ja viimeistelytyövaihetta on poistettu. A7:ää toimitetaan vain synteettisellä tukilla ja siinä on kiinnitys Weaver-kiikarinjalolle (tunnetuin amerikkalainen kiikarinkiinnitysjärjestelmä). Lipas on ruiskupuristemuovia metallisilla sisäosilla. Lukko on yhdistelmä yrityksen aikaisempien mallien lukoista.	2008
Teknologian tutkimuskeskus VTT	Koneiden vaurioiden paikantamisen menetelmä (C)	Koneiden vaurioiden paikantamiseen langaton ja energiaomavarainen menetelmä. Vaurion havainnointiin ja paikallistamiseen käytettävä ultraääni-taajuudella toimiva anturipari tai -verkko kiinnitetään pysyvästi rakenteeseen esim. pinnoitteen alle. Anturi on noin millimetrin paksuinen pietsonappi. Metall-, komposiitti- ja muovirakenteisiin syntyneet vauriot havaitaan jo särön muodostuessa.	2010
Trueflaw Oy	Halkeama (C)	Erilaisia "valmishalkeamia" ja "valmissäröjä"	2001

Lähde: VTT:n SFINNO™ -tietokanta. VTT:n SFINNO™ suomalainen innovaatio -tietokanta sisältää tietoja 7 146 suomalaisesta kaupallistetusta innovaatiosta vuosilta 1945-2016 (SFINNO™ -tietokannasta, ks. tarkemmin Van der Have et al. 2009).

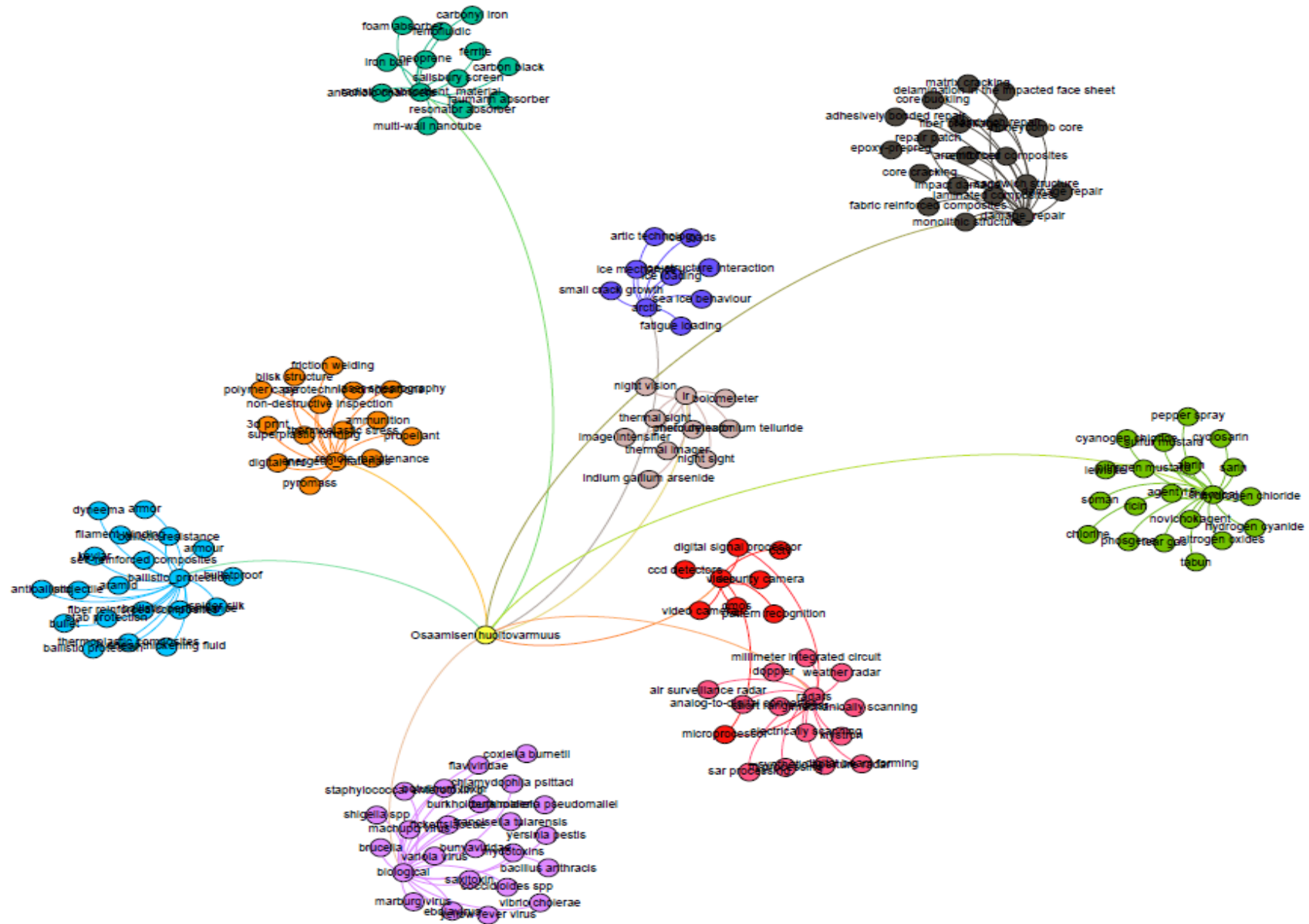
LIITE 3: PATENTTI- JA JULKAISUANALYYSIN TAULUKOT JA KAAVIOKUVAT

Osana kolmen teknologia-alueen (materiaali- ja rakenneteknologiat, kemiallisten ja biologisten uhkien torjunta sekä sensorijärjestelmiin ja sensoritiedon käsittely) tarkastelua (luku 4 tässä raportissa) toteutettiin tiedejulkaisujen ja patenttien analyysi. Julkaisujen osalta analyysin aineisto käsittää ne tiedejulkaisut ISI Web of Science -tietokannasta, joissa on mainittuna suomalainen organisaatio kirjoittajan tutkimusorganisaationa. Patenttiaineisto koostuu Yhdysvaltain patenttiviranomaiselle rekisteröidyistä patenteista, joissa on keksijän maakoodina Suomi. Sekä patentit että tutkimusjulkaisut on rajattu ajalle 1995-2013. Käytetty aineisto koostuu yhteensä 16 393 patentista ja 169 438 tiedejulkaisusta. Aineistorajauksen tarkempi kuvaus on saatavissa pyydettäessä kirjoittajilta.

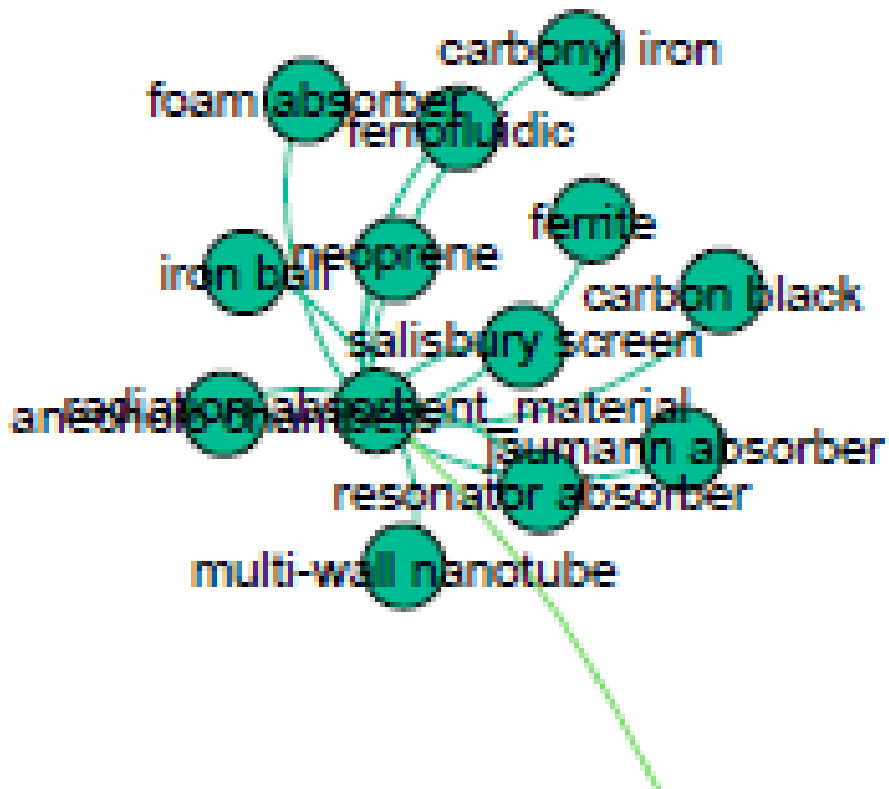
Aineiston analyysi perustuu VTT:llä kehitettyyn analyysiprosessiin, joka yhdistää laadullisen ennakoitiprosessin ja määrällisen aineistoanalyysin. Prosessi on kehitetty erityisesti vaikeasti määriteltävien aihepiirien, kuten vaikka arktisuuden tai nyt tarkasteltavan osaamisen huoltovarmuuden, hahmottamiseen sekä muuntamiseen muotoon, jossa aihepiiriin liittyvät julkaisut ja patentit ovat louhittavissa tietokannoista. Yksittäisillä avainsanoilla tai tieteenala- ja patenttiluokituksilla on vaikea hahmottaa laajoja kokonaisuuksia ja tästä syystä prosessimme pyrkii asettamaan aineistohakujen lähtökohdaksi asiantuntijatyönä luodun käsitekartan. Käsitekartta operationalisoidaan hakupuoksi, joka tässä hankkeessa kirjoitettiin Python-ohjelmointikielellä koodiksi. Koodi käsittelee kaikki patentti- ja julkaisutietueet ja etsii näistä käsitekartassa määritellyjä termejä. Ohjelmakoodin löytäessä tietueen, jossa esiintyy käsitekartan termi, luokitellaan tämä tietue kuuluvaksi tiettyyn käsitekartan haaraan. Näin prosessoiden muodostamme käsitekarttaan perustuvan määrällisen aineiston osaamisen huoltovarmuuteen liittyvien eri teemojen tiede- ja patenttituotannosta. Käyttämämme prosessi on esitelty tarkemmin julkaisussa Leinonen et al. (2014)¹²

Seuraavassa kuvassa (Kuva 1) on esitelty asiantuntijaprosessissa syntynyt käsitekartta. Käsitekartta on syntynyt hankkeen ohjausryhmän, haastatteluiden sekä VTT:n asiantuntijoiden johdolla. Käsitekartassa korostuu, valitusta näkökulmasta johtuen, teknologiat. Tämä osataan rajaa myös lopputulosta. Kuvissa 2-10 on suurennokset käsitekartan kustakin haarasta.

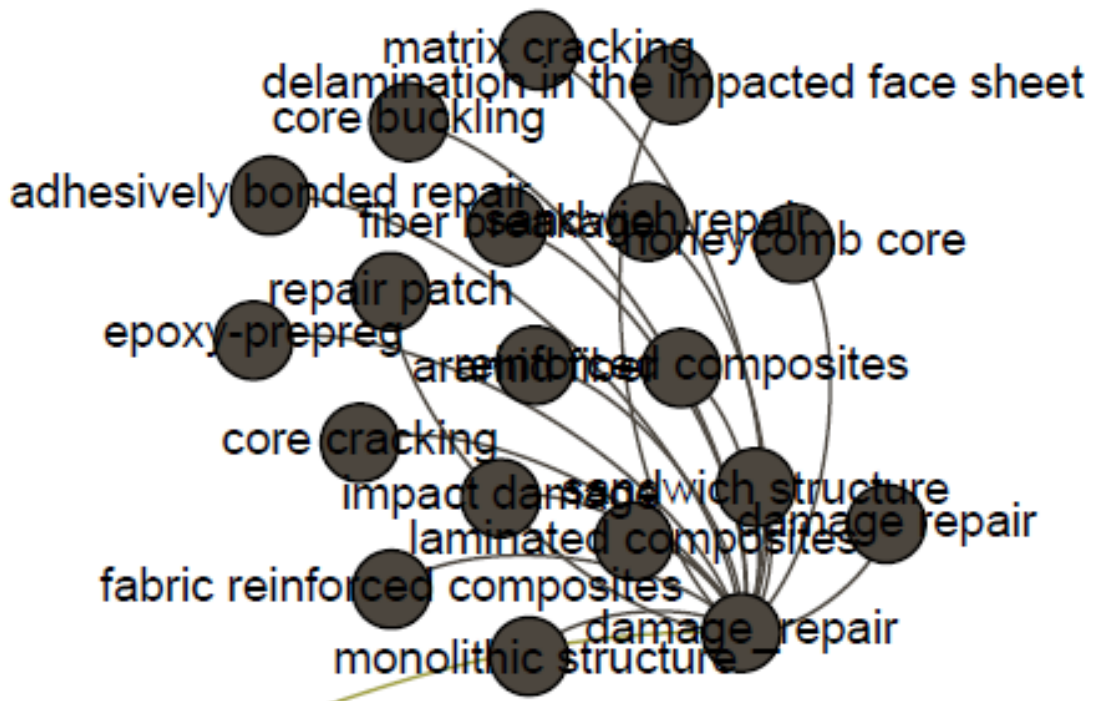
¹² Leinonen, Anna; Suominen, Arho; Ahlqvist, Toni; Toivanen, Hannes
5th International Conference on Future-Oriented Technology Analysis "Engage today to shape tomorrow", FTA 2014, 27 - 28 November 2014, Brussels, Belgium
. European Commission (2014)



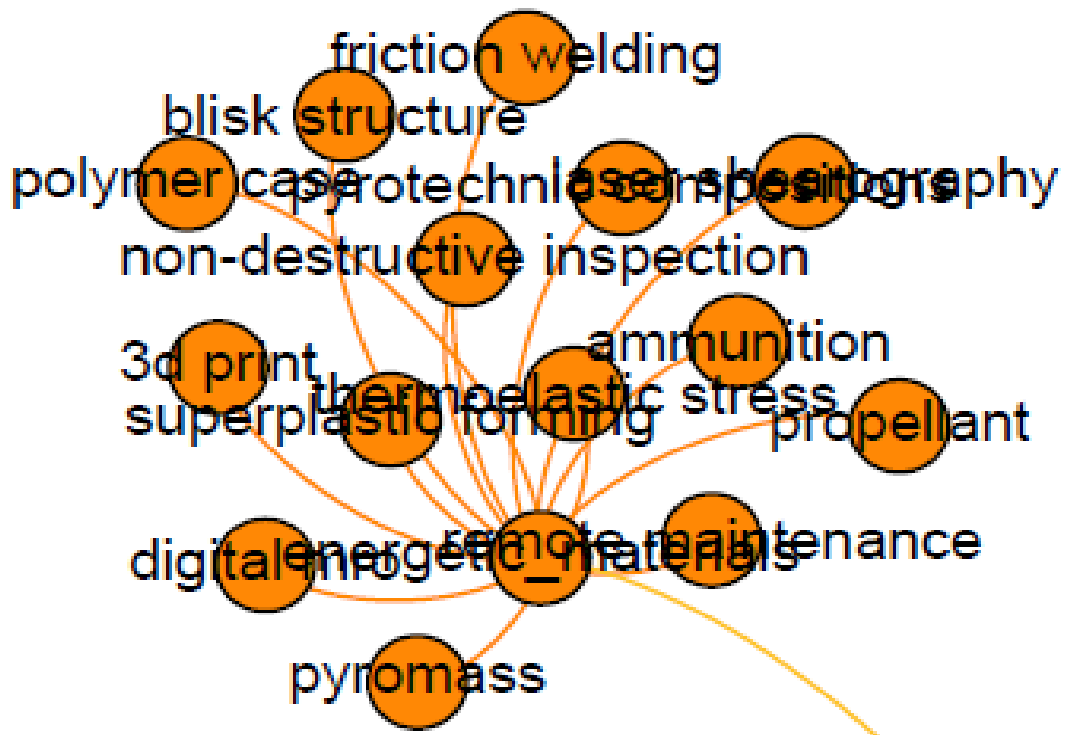
Kuva 1. Asiantuntija-arvioiden perusteella luotu käsittekartta, jonka keskiössä on termi "Osaamisen huoltovarmuus". Kuvan suurennettu versio saatavana.



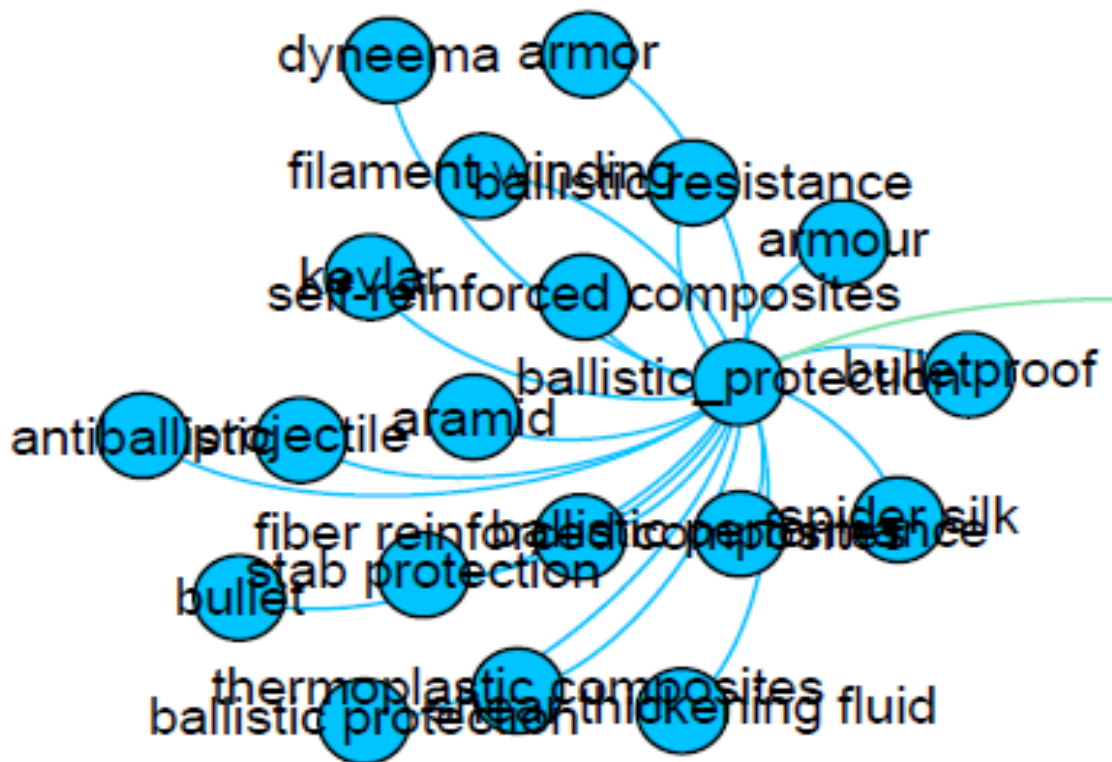
Kuva 2. Käsitekartan osa "radiation absorbent material"



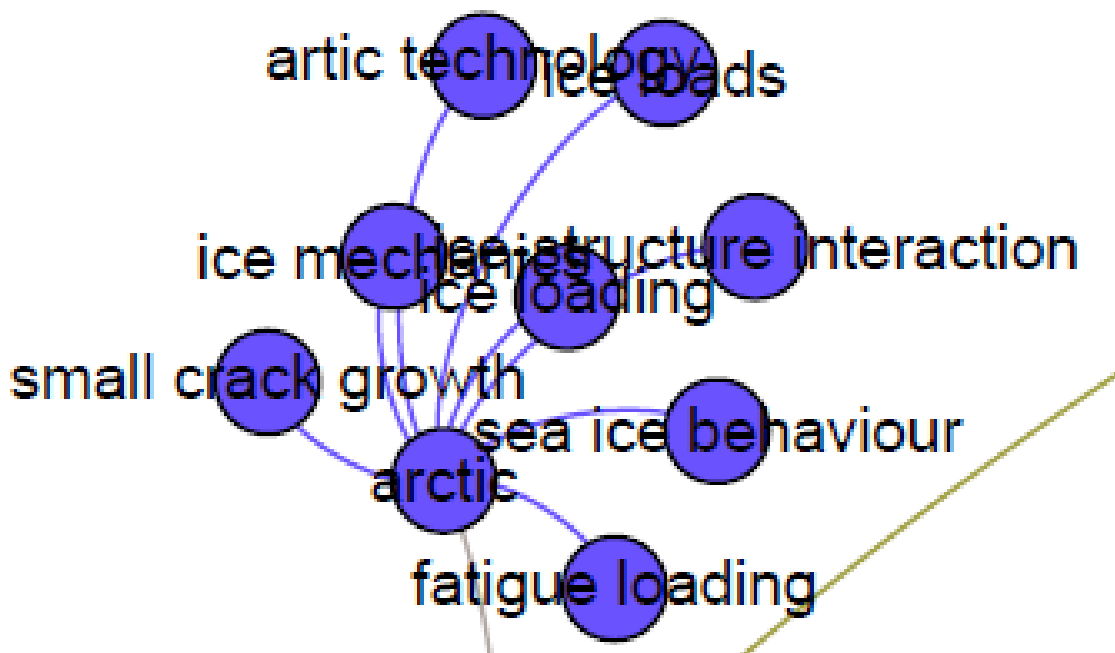
Kuva 3. Käsitekartan osa "damage repair"



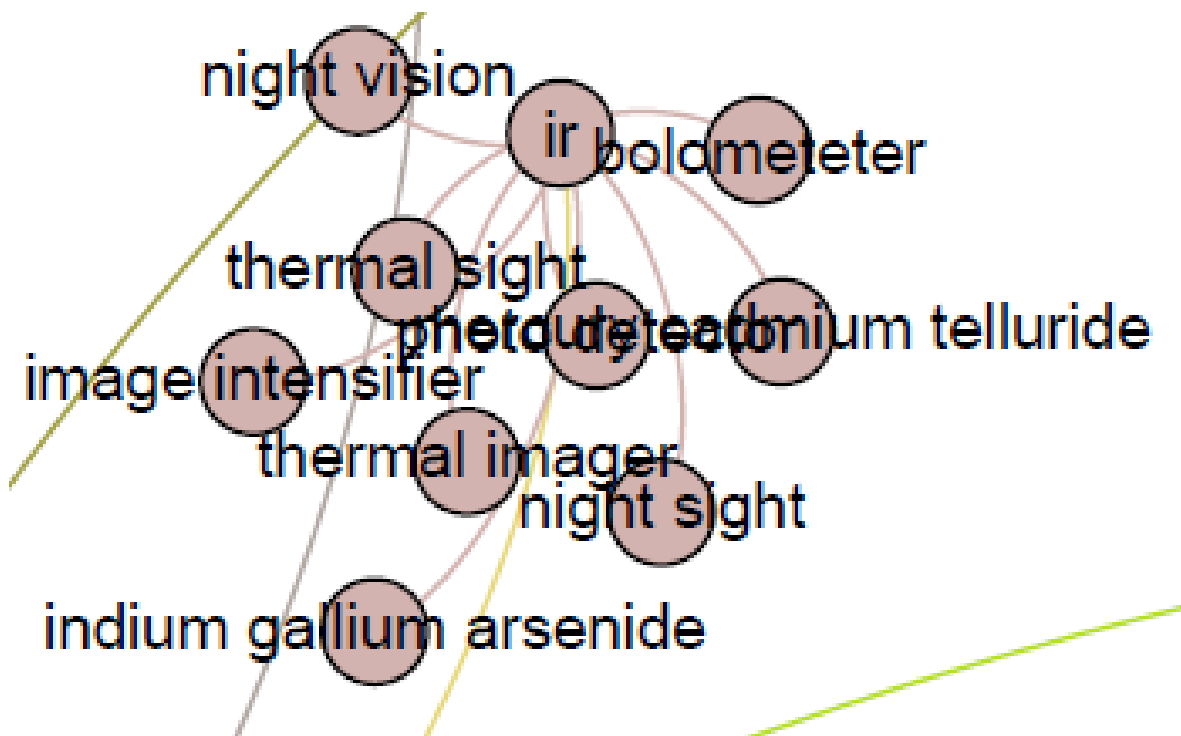
Kuva 4. Käsitekartan osa "energetic material"



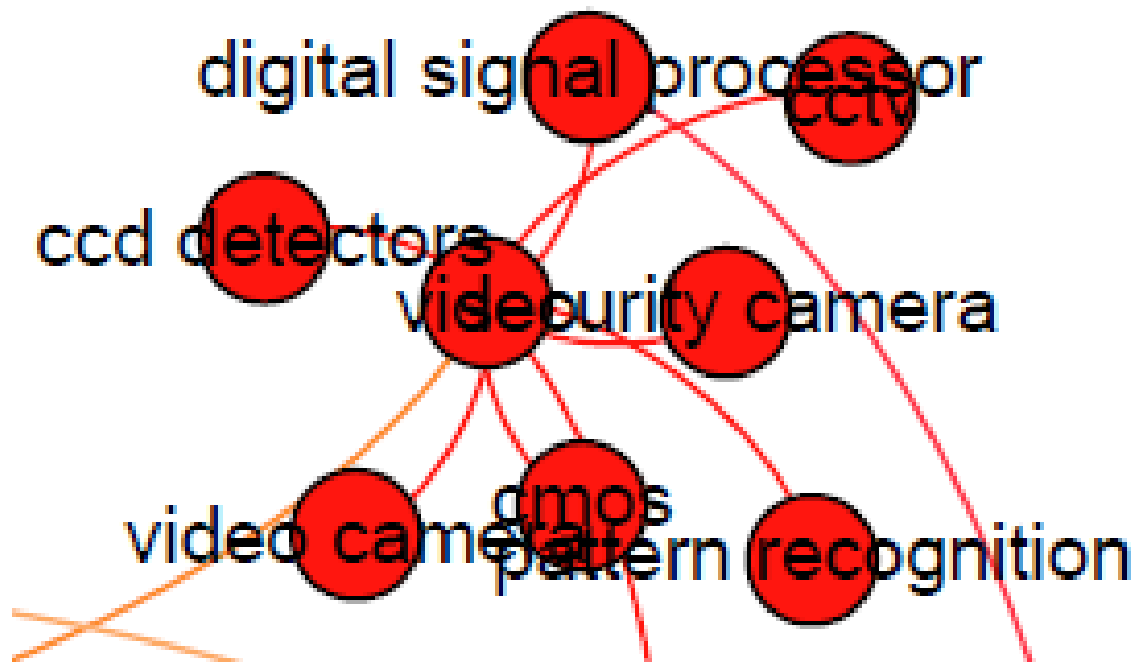
Kuva 5. Käsitekartan osa "ballistic protection"



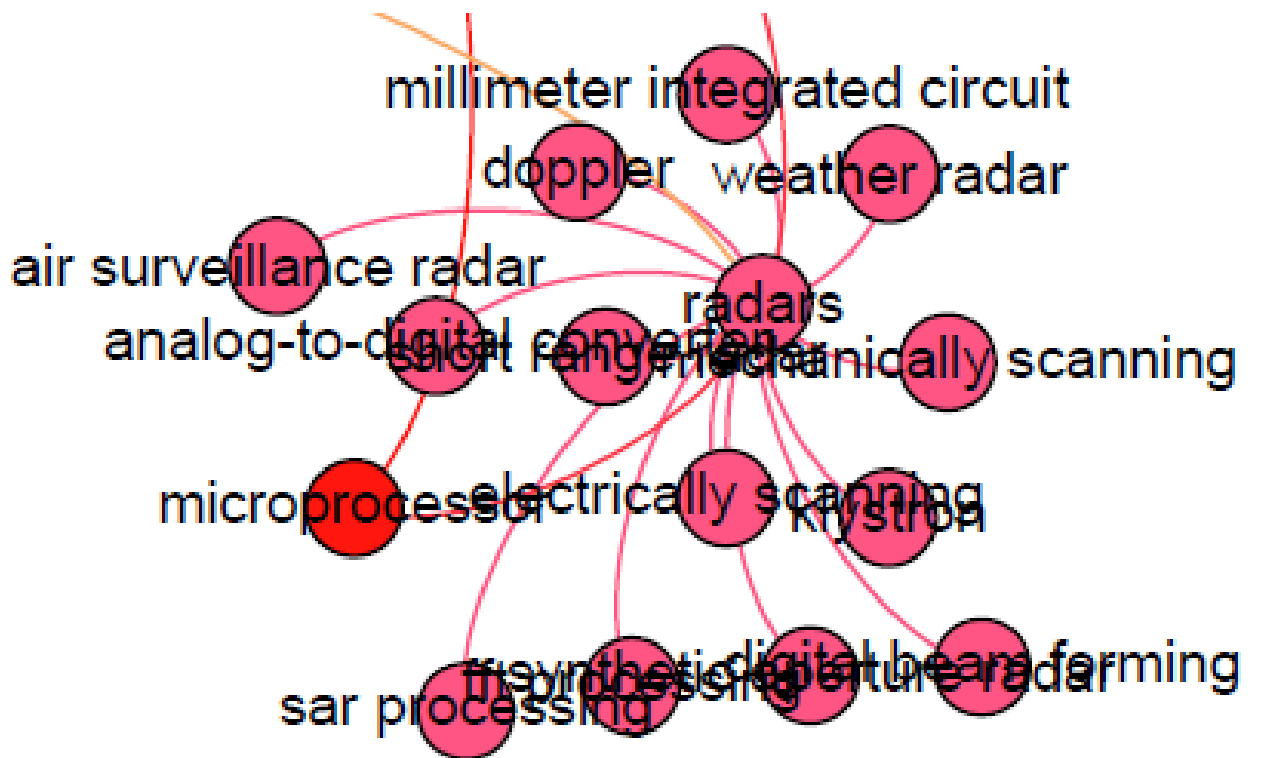
Kuva 6. Käsitekartan osa "arctic technology"



Kuva 7. Käsitekartan osa "infrared technology"



Kuva 8. Käsitekartan osa "video"

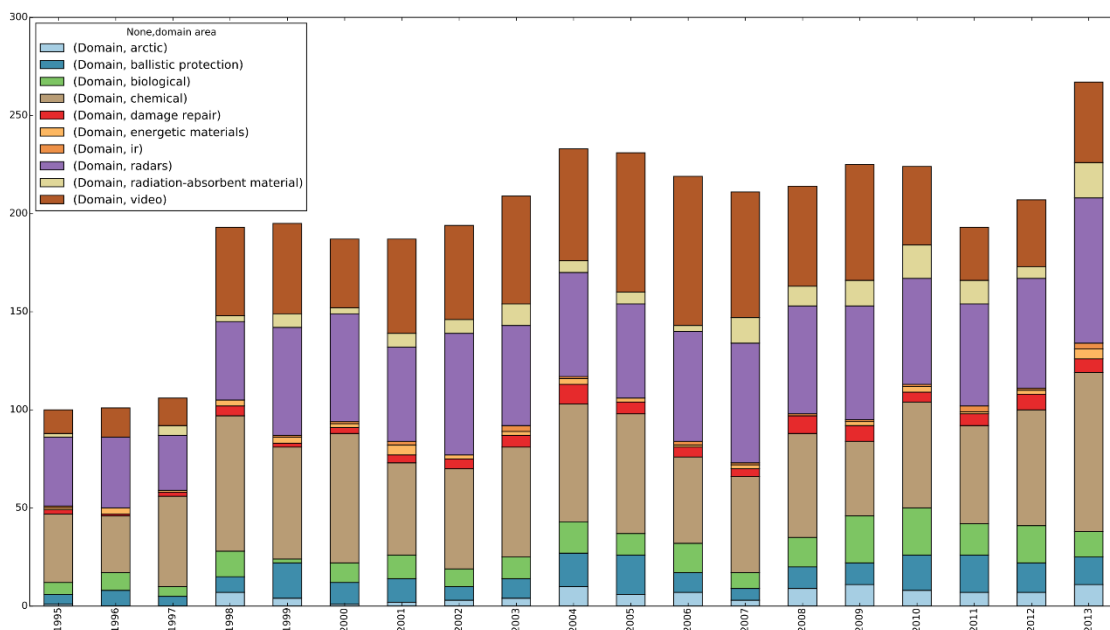


Kuva 8. Käsitekartan osa "radar"

Asiantuntijatyönä tehdystä käsitekartasta muodostui ohjelmalliseen analyysiin siis 10 teemaa, joille annettiin englanninkieliset nimet:

Materiaali- ja rakenneteknologiat	Kemiallisten ja biologisten uhkien torjunta	Sensorijärjestelmät ja sensoritiedon käsittely
<ul style="list-style-type: none"> Radiation Absorbent material Energetic material Damage repair Ballistic protection Arctic technology 	<ul style="list-style-type: none"> Chemical threat Biological threat 	<ul style="list-style-type: none"> Infrared technology Video Radar

Edellä listatut luokat pyrkivät kuvamaan mahdollisimman tarkasti jokaisen teeman sisältöä. Ohjelma mahdollistaa lisäksi sen, että yksittäinen tietue voidaan luokitella useampaan kuin yhteen teemaan. Käsitekartan perusteella luotu ohjelmakoodi palautti 1005 tietuetta, joista 943 oli tiedejulkaisuja ja 62 patentteja. Aineisto jakaantuu valittuun 10 teemaan kuvan 2. mukaisesti.



Kuva 11. Histogrammi teemojen (Domain) patenti- ja julkaisumäärästä.

Histogrammi voidaan purkaa taulukoksi (Taulukot 1 ja 2) josta on erotettavissa erot patenttien ja julkaisujen määrässä eri teemoissa. Kuvaa tarkasteltaessa on huomioitava, että patenttien määrä jää monessa teemassa erittäin alhaiseksi. Tämä johtuu ainakin yhtäältä tarkasteltavien teemojen ja teknologia-alueiden ominaispiirteistä ja toisaalta tässä hankkeessa tehdyistä rajauksista. Osa teknologia-alueista on luonteeltaan sellaisia, että patentointia ei juuri harjoiteta. Tällaisia ovat esimerkiksi häivemateriaalit ja ballistinen suoja. Näillä alueilla erityisesti teknologiakehityksen kärjessä ei uutuuksia patentoida vaan ne pidetään salaisina. Hankkeessa tehtyjen rajausten osalta esimerkiksi arktisen teknologian kohdalla tehdyt valinnat rajaavat paljon patentteja nyt tehdyn haun ulkopuolelle ja voidaankin arvioida, että laajentamalla käsitekarttaa olisi löydettävissä huomattava määrä uusia patentteja.

Kuva 11 osoittaa, että teemoihin liittyvistä patenteista ja julkaisuista suuri osa liittyy sensorijärjestelmiin ja sensoritiedon käsittelyyn (radars, video) ja kemiallisten uhkien torjuntaa, kun

taas muihin teemoihin liittyviä patentteja ja julkaisuja on varsin vähän. Kuva osoittaa myös, että teemoihin liittyvässä aktiviteetissä tapahtui tasonousu 1990-luvun lopulla, jonka jälkeen patenttien ja julkaisujen määrä on pysynyt melko stabiilina. Nousua tapahtui tuolloin erityisesti videoteknologiassa.

Tehty määrällinen analyysi on osa laadullisen ja määrällisen analyysin kokonaisuutta. Määrällisen aineiston keskeinen tavoite on tukea laadullista tulkintaa. Tässä työssä esiteltävät määrälliseen aineistoon perustuvat taulukot kuvaavat käsitekartan eri teemoihin kohdistettuja tietueita, hahmottaen lukumääriä ja organisaatioita eri teemoissa. Kuten muutkin laajoja tietoa-aineistoja käsittelevät prosessit myös tämä osittain automatisoitu prosessi tuottaa virheellisiä ja puuttuvia havaintoja. Näitä on pyritty poistamaan analysoimalla tulosaineistossa mahdollisesti esiintyviä systemaattisia virheitä. Analyysin perusteella voidaan todeta, että aineiston virheitä pystytään merkittävästi pienentämään tarkentamalla käsitekarttaan sisällytettyjä termejä tarkemmin. Tämä ei kuitenkaan ollut tämän hankkeen sisällä mahdollista.

Taulukko 1. Patenttien määrä teemoissa vuosilla 1995-2013 (Aineisto: PATSTAT).

Tyyppi	Patentti									
	arctic	ballistic protection	biological	chemical	damage repair	energetic materials	ir	radars	radiation-absorbent material	video
1995	0	1	0	3	0	0	0	3	0	4
1996	0	0	0	3	0	2	0	2	0	3
1997	0	1	0	3	0	1	0	3	0	4
1998	0	0	0	3	1	2	0	2	0	4
1999	0	1	0	4	1	1	0	6	0	6
2000	0	1	0	7	0	0	0	3	0	1
2001	0	1	0	3	0	0	1	4	1	2
2002	0	1	0	4	0	1	0	4	0	3
2003	0	0	0	2	0	0	1	7	0	5
2004	1	1	0	4	1	0	0	4	0	4
2005	0	0	0	3	0	0	0	2	0	3
2006	0	0	0	2	0	0	1	5	2	3
2007	0	0	0	3	0	0	0	3	0	4
2008	0	1	0	4	0	0	0	2	3	1
2009	2	2	0	4	0	0	0	8	0	2
2010	1	2	0	2	0	1	0	5	0	5
2011	0	0	1	1	1	0	0	3	0	2
2012	1	0	0	5	0	0	1	1	0	1
2013	0	0	0	2	0	2	0	5	0	3

Analyysiä voidaan tarvittaessa jatkojalostaa usealla tavalla. Käsitekartta ja käytetty prosessi mahdollistavat analyysin toteuttamisen jatkuvana, jossa muutoksia eri teemoissa seurataan esimerkiksi vuosittain. Tätä analyysiä rajoittaa julkaisujen päivittyminen tietokantaa ja patenttien julkaisuviive, joten analyysi ei ole reaaliaikainen. Aineistot antavat myös mahdollisuuden laajentaa tarkastelua organisaatioiden sijaan henkilötasolle. Tämä voisi mahdollis-

taa, jonkin kolmannen osapuolen aineistoja yhdistämällä, hyvin tarkan henkilötason analyysin osaamisen huoltovarmuudesta. Analyysiä voi myös laajentaa Suomen maantieteellisen rajauksen ulkopuolelle käsittämään joko joukon valittuja maita tai sitten kattamaan koko maailman.

Taulukko 2. Julkaisujen määrä teemoissa vuosilla 1995-2013 (Aineisto: Web of Science).

Tyyppi	Julkaisu									
	arctic	ballistic protection	biological	chemical	damage repair	energetic materials	fire	radars	radiation-absorbent material	video
1995	1	4	6	32	2	1	1	32	2	8
1996	0	8	9	26	1	1	0	34	0	12
1997	0	4	5	43	2	0	0	25	5	10
1998	7	8	13	66	4	1	0	38	3	41
1999	4	17	2	53	1	2	1	49	7	40
2000	1	10	10	59	3	2	1	52	3	34
2001	2	11	12	44	4	5	1	44	6	46
2002	3	6	9	47	5	1	0	58	7	45
2003	4	10	11	54	6	2	2	44	11	50
2004	9	16	16	56	9	3	1	49	6	53
2005	6	20	11	58	6	2	0	46	6	68
2006	7	10	15	42	5	1	1	51	1	73
2007	3	6	8	46	4	2	1	58	13	60
2008	9	10	15	49	9	0	1	53	7	50
2009	9	9	24	34	8	2	1	50	13	57
2010	7	16	24	52	5	2	1	49	17	35
2011	7	19	15	49	5	1	3	49	12	25
2012	6	15	19	54	8	2	0	55	6	33
2013	11	14	13	79	7	3	3	69	18	38

Yksittäinen merkittävin tekijä analyysin laadulle on kuitenkin prosessin aikana ja myöhemmin päivitettävä käsittekartta. Nyt tehty kartta on selkeästi puutteellinen joiltakin osin, sekä jokin käsittekartan osista tuottaa virheellisiä havaintoja. Aikaisemmat kokemukset analyysiprosessista (esim. Smarctic – arktinen osaaminen -hanke ja Kyberosaaminen Suomessa -hanke) luovat kuitenkin käsityksen, että käsittekartta voidaan kohtuullisella panostuksella ja-lostaa erittäin hyvin kohdennetuksi osaamisen huoltovarmuuden ongelmakenttään.

LIITE 4: HEIKKOJEN SIGNAALIEN POHJALTA TEHDYT YLLÄTTÄVÄT TAPAHTUMAT

- Viljaa ruvetaan kasvattamaan aiemmin viljelykelvottomilla mailla geenimuunneltujen siementen avulla
- Antibakteeripäällysteet yleistyvät ja hidastavat tartuntatautien leviämistä
- Itseohjautuvat bussit, joita valvotaan keskitetysti valvomosta, yleistyvät
- Nanoteknologian soveltaminen yleistyy harrastelijoiden piirissä, esimerkiksi nanoskaalan koneet ja pinnoitteet
- Kvanttitietokoneet tulevat markkinoille
- Tappava uusi tauti leviää maailmalla
- Pitkään kestävä, toistuvat myrskyt yleistyvät Suomessa
- Salassa pidettävää kriittistä tietoa vuotaa julkisuuteen inhimillisen erehdyksen takia
- Yle:n uutislähetyksestä tehdään vale uutisia sisältävä muokattu versio, joka leviää nopeasti netissä
- Merkittävä osa suomalaisista menettää luottamuksensa viranomaisiin
- Rasismiin pohjautuva väkivalta yleistyy
- Eriarvoistumisen rajun kasvun seurauksena Suomi jakautuu resursseiltaan ja kyvykkyyksiltään hyvin erilaisiin alueisiin
- Vieraslaji tuhoaa merkittävän osan Suomen talousmetsistä
- Yhä suurempi joukko kansalaisista kokee olevansa yhteiskunnan ulkopuolella
- Päätäjät eivät saa aikaan sopua keskeisissä päätöksissä ja ajaututaan poliittiseen pattitilanteeseen monien kiireesti tarvittavien uudistusten kanssa
- Eri virastojen ja julkisen sektorien toimijoiden toimintakulttuurit ajautuvat kauas toisistaan ja yhteistyö takkuu
- Öljyn ja maakaasun saatavuus heikkenee
- Tietoverkkohyökkäys ajaa alas keskeiset viralliset viestintäkanavat ja samalla muita kanavia pitkin levitetään misinformaatiota
- Meri tulvii kaupunkeihin rajujen myrskyjen takia rannikkoseuduilla
- Huoltovarmuuskeskus hajoaa
- Toistuvat kuivuudet kasvukautena johtavat suomalaisen viljatuotannon romahtamiseen
- Suomi irtautuu EU:sta eikä pysty solmimaan samankaltaisia kauppasuhteita muiden maiden kanssa
- EU hajoaa eikä vastaavia sisämarkkinoita synny
- Geenimanipuloitu organismi syrjäyttää tai tuhoaa Suomen viljakasvit
- Vanhentunut infrastruktuuri ja kadonnut huolto-osaaminen johtavat toistuviin vedenjakelun häiriöihin
- Venäjä lopettaa ammoniakkin myynnin
- Auringonpurkauksen aiheuttama mittava magneettimyrsky rikkoo satelliitteja ja sähköverkkoja ja aiheuttaa maailmanlaajuisen sähkökatkon
- Ruoan paikallistuotanto muuttuu hyvin kannattamattomaksi
- Kilpailukyky heikkenee jatkuvasti ja kansallinen talous romahtaa.
- Venäjän romahdus
- Tulva saastuttaa kaivot haja-asutusalueella
- Energiainfrastruktuurin vanheneminen ja riittämättömät investoinnit aiheuttavat alati lisääntyviä sähkökatkoja
- Kalakannat romahtavat maailmanlaajuisesti
- Tulivuorenpurkauksen aiheuttama pölypilvi pimentää aurinkoa 10 vuotta

- CRISPR muunneltu perunapopulaatio osoittautuu vaaralliseksi liian myöhään
- Pitkäaikainen kuivuus
- Ihmisten käytännön taidot heikkenevät
- Laajamittainen kyberhyökkäys
- Maksujärjestelmä on pitkään alhaalla toistuvien tietoverkko-ongelmien vuoksi
- Hakkerit kaappaavat usean median viestintäkanavat ja levittävät disinformaatiota
- Marjat ja sienet muuttuvat syömäkelvottomiksi saasteiden tai säteilyn takia
- Ruokatuholainen tuhoaa viljasadon
- Ydinlaskeuma
- Mehiläisten joukkotuho
- Ydinvoimalaonnettomuus Olkiluodossa
- Tietoliikenneyhteydet kaatuvat
- Alkutuotannon tukien nopea alasajo
- Viljasadon epäonnistuminen maailmalla nostaa viljan hintaa merkittävästi
- Öljytankkerionnettomuus Suomenlahdella
- Terroristijärjestö väittää myrkyttäneensä juomavettä
- Pääkaupunkiseudun käyttövesi saastutetaan tahallisesti
- Veden saatavuus ja laatu heikkenevät merkittävästi
- Pohjavesi saastuu
- Maailmanlaajuinen tuntematon patogeeni ilmestyy Suomeen
- Vaarallinen eläintauti tekee suuresta osasta lihakarjaa käyttökelvottomia
- Mikromuovien määrä nousee juomavedessä
- Runsaat sateet johtavat kaivosten myrkyllisten jätevesien vuotamiseen useilla kaivoksilla
- Itämeren saastuminen tekee kalastuksen ja muun käytön mahdottomaksi
- Maaperän köyhtyminen vähentää viljapeltojen määrää
- Vieraslajit tuhoavat viljapeltoja
- Antibioottiresistentit bakteerit yleistyvät
- Järviveden laatu heikkenee merkittävästi
- Pölyttävien hyönteisten määrä vähenee merkittävästi
- Suomeen tulee lyhyen ajan sisällä 500 000 ilmastopakolaista

LÄHTEITÄ JA TAUSTA-AINEISTOJA

- Aalto-yliopisto (2013) Yt-menettely päätökseen Insinööritieteiden korkeakoulun sovelletun mekaniikan laitoksella. Aalto-yliopiston tiedote, 28.1.2013.
- Alhava, Sari (2014) Kovaakin kovempi vientituote. VTT Impulssi 30.12.2014.
- Biological and Toxin Weapons Convention. Geneve: YK.
<http://www.unog.ch/bwc>
- Cuhls, K., van der Giessen, A. & Toivanen, H., (2015). Models of Horizon Scanning. How to integrate Horizon Scanning into European Research and Innovation Policies. Report for the European Commission
- Dufva, Mikko & Ahlqvist, Toni (2015). Miten edistää hallituksen ja eduskunnan välistä tulevaisuusdialogia? Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 17/2015
- Endsley, M.R. (1995b). Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems. Human Factors 37(1), 64-84
- Erkkilä, Timo, Järvelä, Pentti, Lindroos, Tomi, Merikoski, Jukka, Sarsama, Paula (2008) Materiaalitekologia. Teoksessa Kari ym. (toim.) 2008 STAE 2025, osa I.
- EU (2008). EU CBRN Action Plan 2008.
<http://register.consilium.europa.eu/pdf/en/09/st15/st15505-re01.en09.pdf>
- Forsell, Satu: Osaamiskartoituksesta osaamisen kehittämiseen: tapaustutkimus teollisuusyrityksen osaamisen kehittämisprosessista, Lappeenrannan teknillinen yliopisto 2009, 45 p
- Haapamaa, Jouko (2015) – Pysytään piilossa – Häivetekniikan uudet mahdollisuudet. Esitelmä. Varautumista tulevaisuuteen – kriisinsietoa ja uutta tekniikkaa. MATINE seminaari 17.2.2015.
- Hallenberg, Ilkka, Niinimäki-Heikkilä, Tiina, Salonen, Pasi S. & Tuohimaa, Antti (2008) Häiveteknologia. Teoksessa Kari ym. (toim.) 2008 STAE 2025, osa I.
- Hiltunen, E., (2008). The future sign and its three dimensions. Futures, 40(3), 247–260.
- Huoltovarmuuskeskus (2017). Sanasto.
<https://www.huoltovarmuuskeskus.fi/sanasto/>
- Huttunen, Heikki (2005) Signaalinkäsittelyn menetelmät. Opetusmoniste. Tampereen Teknillinen Yliopisto.
- Ilmailuinsinöörien kerho (2017)
<https://yhteiso.tek.fi/kerho/ilmailuinsin%C3%B6%C3%B6rien-kerho-iik/lentotekniikan-opinn%C3%A4ytety%C3%B6t#vkirjat>
- Ilmola, L. & Kuusi, O., (2006). Filters of weak signals hinder foresight: Monitoring weak signals efficiently in corporate decision-making. Futures, 38(8), 908–924.
- Kaprio, Timo (2015) Arctic offshore management - uusi liiketoimintakonsepti offshoreteollisuudelle. Diplomityö, LUT.
- Karjalainen, Pentti (2015) Puoli vuosisataa metallitutkimusta Oulun yliopistossa: Lyhyt historiikki. Materiaali- ja tuotantotekniikan tutkimusyksikkö, Oulun yliopisto.
- Karvonen, Tapio, Mikko Grönlund, Leena Jokinen, Kari Mäkeläinen, Päivi Oinas, Veijo Pönni, Tuomas Ranti, Jouni Saarni, Antti Saurama (2016). Suomen meriklusteri kohti 2020-lukua.
https://www.utu.fi/fi/yksikot/mkk/hankkeet/PublishingImages/TEMjul_32_2016_29092016.pdf
- Keränen, Jaana; Molarius, Riitta; Heikkilä, Anna-Mari; Poussa, Liisa; Partanen, Juho, (2016). Varautumisen kehitystarpeet turvallisessa yhteiskunnassa. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja: 12/2016. Valtioneuvoston kanslia, 70 s.

- Knuutila T. (2017). Kemikaalionnettomuus ensihoidon johtamisen näkökulmasta. Opinnäytetyö. Kaakois-Suomen ammattikorkeakoulu.
- Koskinen, Kari T. (2017) Tampereen teknillinen yliopisto. Esitelmä. Ilmailuinsinöörien kerho, Tampere, 26.4.2017.
- Kuosa, T., (2011). Practising strategic foresight in government. The cases of Finland, Singapore and the European Union.
- Kuosa, T., (2014). Towards Strategic Intelligence. Foresight, Intelligence, and Policy-Making,
- Lahtinen, Riku, Hoffren, Jaakko, Siikonen, Timo, Saarela, Olli, Pajuniemi, Risto, Vuotilainen, Elina, Paukkeri, Ilpo, Tilvis, Harri, Männistö, Esa & Palomäki, Pekka (2008) Ilma-alusteknologia. Teoksessa Kari, Mikko Arto Hakala, Elisa Pääkkönen ja Markku Pitkänen (toim.) Sotatekninen arvio ja ennuste 2025 – STAE 2025, osa 1: Teknologian kehitys. Puolustusvoimien Teknillinen Tutkimuslaitos, Ylöjärvi.
- Laine, Ilkka (2017). Kevyen ballistisen suojauksen tutkimustoiminta. Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen vuosikirja 2017.
- Luoma, Raimo (2016). Huoltovarmuus yhteiskunnan toimintakyvyn turvana. Maanpuolustus 115, Maanpuolustusyhdistyksen julkaisu.
- Luukkainen, Kalle (2017). Kriittisen infrastruktuurin kyberturvallisuus - Hyödyt verkostoista. Huoltovarmuuskeskuksen luento Kuntien ja maakuntien kyberturvallisuuspäivillä 11. - 12.10.2017 Helsinki.
- MATINE (2010). Kansallisen turvallisuuden ajatusmylly. Helsinki: Puolustusministeriö, 24-28. (MATINE Sarja B 2010/1)
http://www.defmin.fi/files/1729/MATINEn_julkaisu_Sarja_B_2010_1_Ajatusmylly_978-951-2083-1.pdf
- Nenonen, Markus (2009). MEMS-elementtien kiekkotason riskianalyysi. Erikoistyö kurssiin S-108.3130 Mittaustekniikan erikoistyö, Teknillinen korkeakoulu. 26.1.2009.
http://metrology.tkk.fi/courses/S-108.erikoistyö/reports/web/MNE_Erikoistyö_MEMS.pdf
- Neuvonen, Riku (2017) Protolabin miehistönkuljetusajoneuvo. Hitsaustekniikka 1/2017.
- Närväinen, Pekka (2016). Huoltovarmuudelle kriittisen teollisuuden tutkimuksen, suunnittelun ja tuotekehityksen säilyminen Suomessa - kriittisten asiakohtien tunnistaminen. Julkaisematon esitelmä.
- Parvinen, Petri ja työryhmä (2012) Innostuneet yritykset. Teoksessa Eduskunnan tulevaisuusvaliokunta: Innostunut yhteiskunta. Eduskunnan Tulevaisuusvaliokunnan julkaisu 8/2014.
https://www.eduskunta.fi/FI/tietoeduskunnasta/julkaisut/Documents/tuvj_8+2014.pdf
- Pelkonen Antti, Ahlqvist Toni, Leinonen Anna, Nieminen Mika, Salonen Jarno, Savola Reijo, Savolainen Pekka, Suominen Arho, Toivanen Hannes, Remes Juha, Kyheröinen Jukka (2015). Kyberosaaminen Suomessa – Nykytila ja tiekartta tulevaisuuteen. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 9/2015.
- PLM (2016). Valtioneuvoston periaatepäätös: Suomen puolustuksen teknologisen ja teollisen perustan turvaaminen. Puolustusministeriö. Luku 5 Kriittiset teknologiat.
http://www.defmin.fi/files/3787/Suomen_puolustuksen_teknologisen_ja_teollisen_perustan_turvaaminen.pdf
- PLM (2017). Valtion kokonaisturvallisuudesta kiinteän omaisuuden siirroissa. Selvitys 20.4.2017. Puolustusministeriö.
https://www.defmin.fi/files/3749/Selvitys_20-4-2017_VKTKOS_final.pdf
- Puolustusvoimien tutkimuslaitos (2015) PV TUTKL Vuosikirja 2015
- Puolustusvoimien tutkimuslaitos (2017)
<http://puolustusvoimat.fi/tietoa-meista/tutkimuslaitos>
- Puukka, Johanna (2017) Nykysotilaan sotisovalla on jääkiekkotausta. Forssan Lehti, 17.10.2017.
- Raivio, Jyri (2013) Aalto hukuttamassa lentokoneinsinöörien – ja monien muidenkin perusinsinöörien koulutusta. Suomen Kuvalehti 1.2.2013.

- Random House (1987). Webster's Unabridged Dictionary, Random House, New York, 2nd Edition 1987, 2230 p.
- Renko, Kari (2017) Puolustusvoimien lentotekniikka ja sen tulevaisuuden osaamistarpeet. Esitelmä. Ilmailuinsinöörien kerho, Tampere, 26.4.2017.
- Ritchey, T., (2011). General Morphological Analysis (GMA). In Wicked Problems -- Social Messes: Decision Support Modelling with Morphological Analysis. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, pp. 7–18.
- Rosenström, Ulla & Balcom Raleigh, Nicolas (2015). Inclusive Foresight for Finland. Foresight Report Summer/Fall 2015. AAI Foresight Inc.
- Räjähdeyhdistys (2017)
<https://www.rajahdeyhdistys.fi/>
- Sardar, Z. & Sweeney, J.A., (2016). The Three Tomorrows of Postnormal Times. Futures, 75, 1–13.
- Sissonen Susanna, Kinnunen Paula M., Vakkuri Aleks, Poutiainen Sanna, Raijas Tiina, Salminen Mika, Nikkari Simo (2012). Biouhilta turvassa? – Säädökset suojaavat työntekijää ja yhteiskuntaa. Duodecim 2012;128:2217–23
- Sissonen Susanna, Raijas Tiina, Haikala Olli, Hietala Heikki, Virri Markku, Nikkari Simo (2012). Biologisten aseiden kieltosopimuksen uudet haasteet. Duodecim 2012;128:283–9.
- STUK (2002). Säteily ja sen havaitseminen. Säteily- ja ydinturvallisuus -kirjasarjan 1. osa. Säteilyturvakeskus.
<http://www.stuk.fi/julkaisut/sateily-ja-ydinturvallisuus-kirjasarja/sateily-ja-sen-havaitseminen>
- Terminfo 1/2014. Kokonaisturvallisuuden ja varautumisen sanastohanke käynnissä.
<http://www.terminfo.fi/sisalto/kokonaisturvallisuuden-ja-varautumisen-sanastohanke-kaynnissa-38.html>
- Tervola, Janne (2016a) Mallinnus varmistaa hävittäjien käytettävyyden. Metallitekniikka 10/2016.
- Tervola, Janne (2016b) Vaihtoväli tutkimalla pidemmäksi. Metallitekniikka 1/2016.
- THL (2014). Biologisten uhkien osaamiskeskus.
<https://www.thl.fi/web/infektiotaudit/laboratoriotointa/biologisten-uhkien-osaamiskeskus>
- TTL (2016). Vakavien kemiallisten uhkien osaamiskeskus (C-osaamiskeskus) -tausta ja toimintaperiaatteet (päivitetty 2016)
<https://www.ttl.fi/wp-content/uploads/2017/02/cosk-tausta.pdf>
- Tuukkanen, I., Kanerva, M., Harkoma, M., Vuoristo, M. (2008) Räjähdyksineet. Teoksessa Kari, Mikko Arto Hakala, Elisa Pääkkönen ja Markku Pitkänen (toim.) Sotatekninen arvio ja ennuste 2025 – STAE 2025, osa 1: Teknologian kehitys. Puolustusvoimien Teknillinen Tutkimuslaitos, Ylöjärvi.
- TTY, Patria & Muoviteollisuus (2016) Komposiitit – Loputtomasti mahdollisuuksia.
https://www.patria.fi/sites/default/files/attachments/komposiitit_-_loputtomasti_mahdollisuuksia_-_mobile.pdf
- Tuohimaa (2014) Häivetekniikan kehityksestä. Insinööriupseeri 2014.
- Turun Sanomat (2015) Rauma-luokan ohjusveneet käyttökieltoon väsymismurtumien takia. Turun Sanomat 18.2.2017.
<http://www.ts.fi/uutiset/kotimaa/736359/TS+Raumaluokan+ohjusveneet+kayttokieltoon+vasymismurtumien+takia>
- TTY (2015) Korkeakoulu ja teollisuus kouluttavat lentokonetekniikan ammattilaisia Pirkanmaalla. TTY:n tiedote, 19.3.2015.
- Van der Have, Robert, Saarinen, Jani, Pesonen, Pekka, Rilla, Nina (2009) Innovation as Objective: The Sfinno Approach. Teoksessa: Changes in Innovation - Towards an improved understanding of economic renewal. Toim. Saarinen, J. & Rilla, N. Palgrave Macmillan, Basingstoke.
- Valtioneuvoston päätös huoltovarmuuden tavoitteista, 857/2013.

Verifin (2009). Suomen toimet YK:n päätöslauselman 1540 toimeenpanemiseksi. Helsinki: Verifin 2009.

http://www.helsinki.fi/verifin/UN1540/index_fi.html

Viitanen, Tomi, Varis, Piritta & Siljander, Aslak (2017) A Review of aeronautical fatigue investigations in Finland, March 2015 – March 2017

http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2017/ICAF_Doc2433_Finland_Review_2017.pdf

VNK (2014): Yhteistä ja jatkuvaa ennakkointia - Ehdotus kansalliseksi toimintatavaksi. Valtioneuvoston kanslian raporttisarja 1/2014

VNK (2014): Päätöksistä muutoksiin. Valtion ohjausjärjestelmän kehittäminen – hankkeen raportti ja toimenpidesuosituksset, Valtioneuvoston kanslia, Helsinki.

VTT (2013). VTT:ltä menetelmä tropiikin metsäkadon seurantaan. VTT:n uutinen 21.11.2013.

<http://www.vtt.fi/medialle/uutiset/vtt-lt%C3%A4-menetelm%C3%A4-tropiikin-mets%C3%A4kadon-seurantaan>

VTT (2014). Tuottoa sijoituksille - Asqella vie turvateknologiaa maailmalle. VTT Impulssi 1/2014, s.53

http://www.vtt.fi/files/events/ITSEurope/Impulssi_1_2014.pdf

WHO (2017). Joint External Evaluation of IHR Core Capacities of the Republic of Finland. Geneva: World Health Organization; 2017. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO

<http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/255690/1/WHO-WHE-CPI-2017.24-Report-eng.pdf>

YETTS (2006). Yhteiskunnan elintärkeiden toimintojen turvaamisen strategia. Valtioneuvoston periaatepäätös 23.11.2006.

https://www.defmin.fi/files/815/YETT_2006.pdf

Ärrälä, Tiina (2012) Yhteiskunnan turvallisuuden tutkiminen Suomessa. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto.

VALTIONEUVOSTON
SELVITYS- JA TUTKIMUSTOIMINTA

tietokayttoon.fi

ISSN 2432-6799 (pdf)
ISBN 978-952-287-491-7 (pdf)