

MURROKSELLISET TEKNOLOGIAT

TEKNOLOGISEN KEHITYKSEN DYNAMIIKKA
JA KANSALLINEN VARAUTUMINEN

Markus Holmgren

FIIA
REPORT

KESÄKUU 2024

/ 75

MURROKSELLISET TEKNOLOGIAT
TEKNOLOGISEN KEHITYKSEN DYNAMIIKKA
JÄ KANSALLINEN VARAUTUMINEN

Markus Holmgren

FIIA REPORT

KESÄKUU 2024

/ 75

Tämä raportti on tulos Ulkopoliittisen instituutin tutkimushankkeesta ”Teknologisten murrosten vaikutukset Suomen huoltovarmuudelle”. Tutkimuksen osarahoittajana toimi Huoltovarmuuskeskus. Tutkimuksessa selvitettiin teknologisen kehityksen ja murroksellisten innovaatioiden tuottamia systemaattisia muutoksia Suomen teknologiseen toimintaympäristöön.

Raportteja voi tilata Ulkopoliittisesta instituutista:

+358 9 432 7721 / asiakaspalvelu@fiia.fi

Kaikki UPin raportit ja muut julkaisut ovat ladattavissa osoitteesta:

www.fiia.fi

Ulkoasu: Mainostoimisto SST Oy

Taitto ja grafiikka: Kaarina Tammisto

Paino: Punamusta Oy, 2024

ISSN 1458-994X (painettu)

ISSN 2323-5454 (sähköinen)

ISBN 978-951-769-798-9 (painettu)

ISBN 978-951-769-799-6 (sähköinen)

Ulkopoliittinen instituutti on riippumaton tutkimuslaitos, joka tuottaa korkeatasoista tutkimusta poliittisen päätöksenteon ja avoimen keskustelun tukemiseksi niin kotimaassa kuin kansainvälisestikin. Korkean laadun varmistamiseksi ainakin kaksi asiantuntijaa lukee ja kommentoi kaikkien instituutin julkaisujen käsikirjoituksia. Julkaisut käyvät lisäksi läpi ammattimaisen kielen-tarkastus- ja editointiprosessin. Julkaistavat näkemykset ovat kirjoittajien omia.

FIIA
ULKOPOLIITTINEN
INSTITUUTTI
UTRIKESPOLITISKA
INSTITUTET

Arkadiankatu 23 b

POB 425 / 00101 Helsinki

Telephone +358 (0)9 432 7000

Fax +358 (0)9 432 7799

www.fiia.fi

SISÄLLYS

Lyhenteet 6

Johdanto 11

1. **Murroksellisen teknologian käsite** 21
 - 1.1. Mitä murroksellisen teknologian käsite ei tarkoita 22
 - 1.2. Teknologinen murros vastaan teknologinen kehitys 25
 - 1.3. Murroksellinen teknologia kansallisen varautumisen käsitteenä 26
 - 1.4. Kriittiset resurssit ja teknologinen murros 30
 2. **Teknologinen innovaatio ja murrosprosessin synty** 35
 - 2.1. Murrosvaikutusten etenemisen tavat 39
 - 2.2. Murrokset ja niiden pullonkaulat 43
 3. **Teknologiset trendit** 49
 - 3.1. Osaamistyön automatisaatio 50
 - 3.2. Etäkäyttö ja hajautettu hallinta 59
 - 3.3. Järjestelmänhallinta 67
 - 3.4. Materiaaliset mahdollisuudet 74
 - 3.5. Finanssiteknologiat 78
 4. **Makroteknologiset trendit** 85
 - 4.1. Modularisaatio 86
 - 4.2. Miniatyrisaatio 88
 - 4.3. Hajautuminen 90
 - 4.4. Monimutkaisuuden kerrostuminen ja aikajänteiden muutos 91
 - 4.5. Digitaalisen vaikutuspinta-alan kasvu 93
 5. **Maailmanjärjestyksen tason trendit** 99
 - 5.1. Tietotaloussiirtymä 99
 - 5.2. Hybridivaikuttamiskeinojen yleistyminen 102
 - 5.3. Geoekonomian suosion kasvu 105
 6. **Varautumissuositukset** 113
 - 6.1. Pohjatason vahvistaminen 116
 - 6.2. Hajauttaminen 125
 - 6.3. Sitouttaminen 130
 - 6.4. Huoltovarmuuskeskusspesifit suositukset 134
- Yhteenveto** 141
- Lähdeluettelo** 143
- Kirjoittaja** 151
- Sarjan aiemmat julkaisut** 152

LYHENTEET

3G	katso UMTS
6G	Kuudennen sukupolven mobiilitiedonsiirtoteknologia
AI	Artificial intelligence, tekoäly
AR	Augmented reality, lisätty todellisuus
BDA	Big Data -analytiikka
C-RAS	Counter Robotic and Autonomous Systems
C4IRS	Command, Control, Computers, Communications (C4) ja Intelligence, Surveillance and Reconnaissance (ISR)
CBDC	Central Bank Digital Currency, Digitaalinen keskuspankkivaluutta
DSN	Digital supply network, Digitaalinen tuotantoverkosto
Fintech	Financial technology, finanssiteknologiat
GSMA	Global System for Mobile Communications
GPS	Global Positioning System, maailmanlaajuinen paikallistamisjärjestelmä
IA	Intelligent automation, älykäs automaatio
IUI	Intelligent user interface, koneoppimisavusteinen käyttöliittymä
IoT	Internet of Things, Esineiden internet
LoRaWAN	long-range wide area network (järjestelmän nimi)
NVD	National Vulnerability Database
TKI	Tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoiminta
TVD	Technological vulnerabilities database, Teknologisten haavoittuvuuksien tietokanta
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System, Kolmannen sukupolven mobiilitiedonsiirtoteknologia (3G)
VHS-kasetti	Video home system, JVC:n visuaalisen datan tallentamis- ja toimistandardia noudattava kasetti
VR	Virtual reality, virtuaalitodellisuus

KUVAT, TAULUKOT JA KUVAAJAT

- Kuva 1. Teknologisen kehityksen vaiheet ja ennakointi 13
- Kuva 2. Varhaisten omaksujien ja valtavirtaistumisen väliin jäävä
kuilu 31
- Kuva 3. Erityyppisten innovaatioiden vaikutus vallitsevan teknologian
markkinoille 37
- Kuva 4. Murroksen aiheuttama kilpailutilanne markkinan sisällä 40
- Kuva 5. Murroksen eteneminen asiakassiirtymän myötä markkinalta
toiselle 41
- Kuva 6. Murroksen eteneminen komponenttituottajien kautta
markkinalta toiselle 41
- Kuva 7. Havainnollistus tuotantoketjusta, digitaalisesta
tuotantoverkostosta (DSN) ja verkkojen verkosta 73
- Kuva 8. Moduulipohjainen tuotantoketjukaavio 88
- Kuva 9. Tietokeskeisyyden tuominen varautumisjärjestelmään 116

KIITOKSET

Tämän raportin on tuottanut Ulkopoliittisen instituutin tutkija Markus Holmgren. Hankkeen ovat rahoittaneet Huoltovarmuuskeskus ja Ulkopoliittinen instituutti. Tutkimus on osa pitkää sarjaa kansallisen huoltovarmuuden kansainvälistä strategista toimintaympäristöä kartoittavia ja analyysoivia tutkimuksia. Tutkija haluaa kiittää rakentavasta yhteistyöstä Huoltovarmuuskeskusta ja hankkeen ohjausryhmää.

JOHDANTO

TUTKIMUKSEN LÄHTÖKOHDAT JA TAVOITTEET

Tämä raportti tutkii murroksellisia teknologioita ja niiden vaikutuksia kansalliseen varautumiseen¹. Raportti kytkee murrosprosessin etenemisen teknologiseen kehitykseen ja analysoi molempia kehityskulkuja kansallisen varautumisen toimintaympäristön systemaattisena muutoksena. Raportissa muutosprosessia analysoidaan neljällä tasolla. Näitä ovat yksittäiset teknologiset innovaatiot (murrosten synty), teknologia-ala-kohtaiset kehityskulut, teknologiarajat ylittävät makroteknologiset trendit, ja maailmanjärjestyksen tason trendit.² Raportin keskeisin huomio on, että kansalliset ennakointi- ja varautumistoimet kannattaa keskitää murrosprosessin 'ylimmälle' tasolle ja merkittävimpiin muutoksiin. Näihin keskittyminen tukee varautumisen pitkäjänteisyyttä ja helpottaa yksittäisten muutosten käsittelemistä oikeassa kontekstissa.

Pohjimmiltaan teknologisissa murrosprosesseissa on kyse teknologisen kehityksen tuottamista yhteiskuntien ja talouden toimintojen häiriöistä.

Teknologisen kehityksen (ja teknologisten murrosten) eteneminen kulminoituu yksittäisiin innovaatioihin. Kun yksittäisiä innovaatioita kertyy jonkin teknologisen lainalaisuuden ympärille, alkaa teknologinen

1 Kansallisella varautumisella tarkoitetaan "toimintaa, jolla varmistetaan tehtävien mahdollisimman häiriötön hoitaminen ja mahdollisesti tarvittavat tavanomaisesta poikkeavat toimenpiteet normaaliolojen häiriötilanteissa ja poikkeusoloissa" (Valtioneuvosto 2017. 9).

2 Raportissa sanoja kehityskulku ja trendi käytetään synonyymeina.

kehitys muodostamaan trendejä (kuva 1)³. Koska teknologinen kehitys on sidottu fysikaalisiin lainalaisuuksiin ja rakentuu aiemman tiedon varaan, teknologia-alojen kehityskulut yhdessä muodostavat makrotason trendejä. Makrotason kehityskulkujen eteneminen ja yhteisvaikutus tuottavat edelleen maailmanjärjestyksen tasolla⁴ havaittavissa olevia trendejä.

Murrosprosessin kuvauksen ohella raportissa käsitellään sitä, miten teknologisten murrosten tuottamiin haasteisiin voidaan varautua kansallisin toimenpitein.⁵ Raportissa tarkastellaan murroksellisten teknologioiden erityispiirteitä sekä teknologisesta kehityksestä aiheutuvia, kansallista resilienssiä⁶ haastavia murrosvaikutuksia normaaliolojen, sodanajan kansallisen varautumisen ja erityisesti huoltovarmuuden⁷ näkökulmasta.

Raportin keskeisin argumentti on: jotta kansallinen varautuminen teknologisiin murroksiin ja muihin kansainvälisiin muutospaineisiin olisi tehokasta, sen on tapahduttava poikkihallinnollisesti eikä ensisijaisesti tai ainoastaan turvallisuusviranomaisten toimesta. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että varautuminen tulee nähdä valtionhallinnon ylimmältä tasolta lähtevänä strategisena ja tavoitevetoisena ohjaamisena, joka tukee yksittäisten virkahenkilöiden kykyä toteuttaa strategiaa yli sektorirajojen.

Teknologisen kehityksen vaikutukset ovat usein moninaisia ja ennakoimattomia. Tämä korostaa tarvetta kehittää kansallista varautumisjärjestelmää ja sopeutumiskykyä. Sen sijaan, että varautumisessa keskityttäisiin riskien ennakoimiseen, kansallista varautumistoimintaa pitäisi kehittää tavoitehakuiseen suuntaan. Varautumistoiminnan perustana tulisi olla selkeä, kansallisen tason visio siitä, mihin Suomen kriisinsietokyky ja teknologiateollinen kilpailuetu tulevaisuudessa perustuvat. Tavoitteet liittyvät kiinteästi toisiinsa, sillä molempien taustalla on pyrkimys turvata yhteiskunnan toimintakyky kaikissa olosuhteissa.

Jotta visio Suomen mallista tukisi kokonaishallintaa, se on kyettävä kommunikoimaan selkeästi ja poikkihallinnollisesti niin, että valtionhallinnon eri toimialojen henkilöt kykenevät tulkitsemaan, miten he voivat

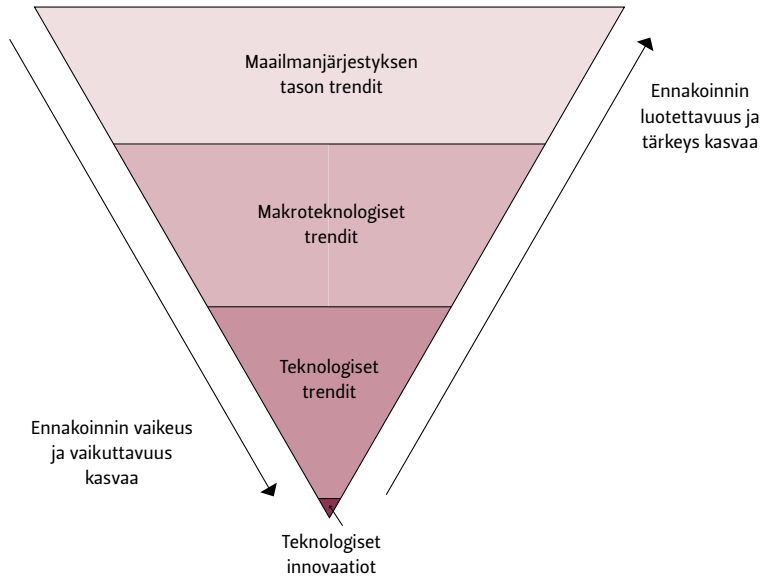
3 Tämän tutkimushankkeen osalta tunnistettuja trendejä on esitelty teknologiakohtaisesti luvussa 3 ja sektorirajat ylittävästi luvussa 4. Tutkimukselliset lähestymistavat eroavat kuitenkin merkittävästi esimerkiksi sen suhteen, käsitelläänkö sosio-institutionaalisia kehityskulkuja yhdessä vai erikseen. Hyvä esimerkki tästä on VTT:n tuore trendiraportti (Jutila et al. 2023).

4 Maailmanjärjestyksellä (*world order*) tarkoitetaan kansainvälisen tason toimijoiden suhteisiin muodostuvia toimintamalleja tai korrelaatioita (Lascurettes 2020).

5 Kansallisiin toimenpiteisiin lasketaan kaikki julkisvallan toteuttamat toimet, mukaan lukien tavoitteiden ajaminen kansainvälisissä yhteistyöorganisaatioissa, bilateraalisesti tai yhteistyössä ulkomaisten yritysten tai muiden ei-valtiollisten toimijoiden kanssa.

6 Tässä paperissa resilienssillä tarkoitetaan tehokasta fyysistä, hallinnollista ja tiedollista reagointikykyä häiriöihin ja häirintään (Fjäder 2014, Walker 2020). Resilienssi voidaan nähdä varautumisen alakäsitteenä. Esimerkiksi puolustus ja pelotevaikutte ovat termin ulkopuolella.

7 Huoltovarmuudella tarkoitetaan ”varautumista mahdollisiin kriiseihin ja häiriötilanteisiin sekä jatkuvuuden hallintaa turvaamalla elintärkeät toiminnot, jotta yhteiskunta ja elinkeinoelämä toimivat ja ihmiset voivat turvallisesti elää arkeaan” (Huoltovarmuuskeskus 2024). Huoltovarmuus voidaan nähdä resilienssiä suppeampana, yhteiskunnan elintärkeisiin toimintoihin rajattuna käsitteenä.



Kuva 1. Teknologisen kehityksen vaiheet ja ennakointi

sopeuttaa toimintaansa tavoitteita edistävään suuntaan. Ohjauksen täytyy läpäistä koko valtionhallinto ja kaikki talouden sektorit, jotta osaamisen tehokas hyödyntäminen onnistuu myös silloin, kun kriisit ovat suurempia kuin yksittäisten instituutioiden toimialueet. Globaaleihin haasteisiin vastaaminen tulee vaatimaan sosio-institutionaalisia uudistuksia – niin epätoivottuja kuin ne joskus saattavatkin olla.

Sekä suuriin että pieniin murroksiin on kyettävä varautumaan poikkihallinnollisesti. Kansallisella tasolla täytyy selkeästi määritellä, mitkä tahot tai toimijat keskittyvät seuraamaan merkittäviä kehityskulkuja ja kommunikoidaan muutostarpeista, jotka kumpuavat niihin vastaamisesta. Samoin on määriteltävä, mitkä tahot tai toimijat pitävät konkreettisella tasolla huolta elintärkeiden toimintojen vaatimien tuotantoketjujen kriisinkestävyydestä. Kansallisen huoltovarmuuden turvaamisesta on kehkeytynyt huomattavasti Huoltovarmuuskeskuksen toimintakenttää laajempi tavoite, minkä vuoksi on pidettävä huoli siitä, että vastuut teknologisen kriisinkestävyyden rakentamisesta ja kriittisen infrastruktuurin jatkuvuuden varmistamisesta delegoidaan voimavarojen ja valtaoikeuksien kanssa yhteismitallisesti. Esimerkiksi kriittisen infrastruktuurin ylläpito kaikissa tilanteissa on entistä vaikeampaa ja kalliimpaa globalisaation ja yleisen verkkoriippuvuuden lisääntymisen myötä.

Varautuminen ei koskaan tapahdu tyhjiössä, vaan kansainvälisten tieto- ja resurssivirtojen sekä lukuisten teknologisten innovaatioiden alati muokkaamassa maailmassa. Vastuu varautumisesta on kansallinen, mutta toimien on oltava kansainvälisiä ja kansainvälispoliittisista muutospaineista tietoisia.

TUTKIMUKSEN TOTEUTUS JA METODOLOGIA

Tämän tutkimuksen on tuottanut Ulkopoliittisen instituutin tutkija Markus Holmgren. Tutkimukselle asetettiin ohjausryhmä, johon kuuluivat Huoltovarmuuskeskuksen suunnittelu- ja analyysiosaston johtaja Axel Hagelstam sekä Ulkopoliittisen instituutin tutkimusjohtaja Mikael Wigell ja ohjelmajohtaja Harri Mikkola. Tutkimus toteutettiin Huoltovarmuuskeskuksen ja Ulkopoliittisen instituutin tutkimusyhteistyönä ja Huoltovarmuuskeskuksen osarahoituksella. Tutkimus on jatkumoa aiemmillle tutkimuksille, joissa on kartoitettu kansallisen huoltovarmuuden kansainvälistä strategista toimintaympäristöä.⁸

Tutkimusraportti kytkeytyy tutkimussuuntaan, joka korostaa ja analysoi kansallisen turvallisuustoiminnan kansainvälisiä kytköksiä. Kansainväliset linkit ja virrat kytkevät Suomen erottamattomasti osaksi kansainvälistä toimintaympäristöä. Teknologisen varautumisen sektorilla kansainvälisten dynamiikkojen vaikutus on kiistaton, välitön ja dominoiva. Varautumisratkaisujen on otettava huomioon kansainväliset riippuvuussuhteet, globaalimarkkinoiden dynamiikat ja vieraiden valtioiden intressit kaikissa tilanteissa. Erityisesti globaalien tuotantoketjujen ja tietoverkon osalta valtioiden väliset rajat ovat menettäneet merkitystään samalla kun valtiopolitiikan taloudellisten keinojen yleistymisen on korostanut kansallisten varautumistoimien merkitystä.

Loppuraporttiin kulmineoitunut tutkimushanke toteutettiin 1.1.2023–31.6.2024. Hanke koostui neljästä työpaketista:

Ensimmäinen työpaketti koostui julkisesti saatavilla olevan empiirisen tutkimusaineiston ja keskeisten julkisten asiakirjojen keräämisestä tausta-analyysin toteuttamiseksi. Tausta-analyysi auttoi tutkimusaiheen rajaamisessa ja tutkimuksellisen lähtökohdan asettamisessa.

Toinen työpaketti koostui kotimaisen ja kansainvälisen tutkimuskirjallisuuden analysoimisesta ja vertailemisesta. Lisäksi työpaketin aikana valmisteltiin puolistrukturoitujen haastattelujen kysymyspatteristo ja kartoitettiin tutkimusaiheen johtavia asiantuntijoita haastateltaviksi. Työpaketin aikana tarkennettiin myös tutkimuksen alustavaa hypoteesia.

8 Ks. esimerkiksi Aaltola et al. 2014, 2016; Hakala et al. 2019; Hägglund 2020; Pesu & Iso-Markku 2020; Titieskaia 2021; Iso-Markku 2022; Wigell et al. 2022a, 2022b; Holmgren 2022a, 2022b, 2023; sekä Mattlin et al. 2023.

Kolmas työpaketti koostui puolistrukturoiduista asiantuntijahaastatteluista, haastatteluaineiston käsittelystä ja analysoinnista, tutkimuskysymysten hiomisesta sekä loppuraportin rakenteen suunnittelusta. Työpaketti toteutettiin osin päällekkäin työpakettien 2 ja 4 kanssa.

Neljäs työpaketti koostui kerätyn tutkimusaineiston pohjalta toteutetusta synteesianalyysistä, loppuraportin viimeistelystä, sisäisestä ja ulkoisesta arvioinnista, julkaisuprosessin suorittamisesta, sekä julkaisu-tilaisuuden valmistelusta.

Tutkimuksen metodologia pohjasi monialaiseen tutkimusaineiston analyysiin sekä puolistrukturoituihin asiantuntijahaastatteluihin.

Aineistojen analyysi

Pohjaymmärrys teknologisten murrosten ja kehityskulkujen synnystä, etenemisestä ja vaikutuksista hankittiin aiheeseen liittyvän empiirisen aineiston, relevanttien julkisten asiakirjojen ja tutkimuskirjallisuuden avulla. Systemisen muutoksen prosessiin perehdyttiin monipuolisesti eri alojen, erityisesti teknotalouden, hallintotieteiden, kansainvälisen politiikan, ge ekonomin, sekä tekniikanalakohtaisen tutkimuskirjallisuuden avulla. Pohjaymmärrys suomalaisen varautumisjärjestelmän rakenteesta ja huoltovarmuustoiminnasta saavutettiin aikaisemman tutkimuksen ja asiakirjojen analyysin avulla. Erilaiset kansalliset ja virastokohtaiset strategiat, selonteot, selvitykset, sekä aiheeseen liittyvät säädöstekstit laajensivat ymmärrystä kansallisen varautumisen ja kansainvälisten murrosvaikutusten liitoskohdasta.

Asiantuntijahaastattelut

Aineistotutkimuksessa saavutettua ymmärrystä pyrittiin syventämään ja tarkentamaan sekä syntyneitä hypoteeseja varmentamaan puolistrukturoitujen asiantuntijahaastattelujen avulla. Asiantuntijahaastattelut järjestettiin aineistoanalyysin pohjalta muodostetun haastattelurungon avulla, kuitenkin niin että havaitsematta jääneiden muuttujien esiin nousemisen todennäköisyys lisääntyi. Haastattelurunkoja muodostettiin kaksi: yksi yksityissektoria ja toinen valtionhallintoa edustaville haastattaville. Haastattelurunkoja täydennettiin teknologia-alakohtaisilla erityiskysymyksillä haastateltavien erikoisosaamisen mukaan empiiristen havaintojen varmistamiseksi. Lisäksi haastattelujen avulla kartoitettiin asiantuntijoiden tulkintoja murroksellisten teknologioiden käsitteen merkityksestä, ja heitä pyydettiin refleктоimaan tutkimuksen aikana muodostettua määritelmää oman asiantuntemuskenttensä kehityskulkuihin.

Haastateltaville taattiin laaja yksityisyydensuoja vapaan keskustelun mahdollistamiseksi. Tutkimusaiheen turvallisuuspoliittisen

herkkäluontoisuuden vuoksi haastattelujen tuloksia ei ole tutkimustuloksissa eritelty. Siistittyjä haastattelumuistiinpanoja kertyi yli sadan liuskan verran. Osa haastateltavista osallistui myös loppuraportin arvioimiseen.

Tutkimushaastatteluilla vahvistettiin hypoteeseja ja tutkimuksen empiiristä kytkentää, minkä lisäksi niillä saatiin kartoitettua murrosprosessien ja niihin varautumisen kenttää sekä näiden kahden välisiä kytköksiä kansallisen varautumisen eri tasoilla. Haastattelut vahvistivat lukuun 4 valitut teknologiset trendit ja lukuun 5 valitut makroteknologiset trendit sekä teroittivat niiden määrittelyä. Tarkoituksena ei ollut pureutua yksittäisiin kehityskulkuihin syvällisesti, vaan hahmottaa niiden vaikutusta kokonaisuutena.

TUTKIMUKSEN SISÄLTÖ JA RAKENNE

Raportin analyysi on rakennettu hahmottamaan kansallisen varautumisen muuttuvaa teknologista toimintaympäristöä teknologisten murrosprosessien synnystä aina laajoihin kehityskulkuihin, jotka muokkaavat hitaasti maailmanjärjestystä.

Raportin ensimmäisessä luvussa avataan aluksi murroksellisen teknologian käsitettä ja kytketään se kansallisen varautumisen ja kokonaisturvallisuusajattelun tematiikkaan.

Toisessa luvussa käydään läpi teknologisten murrosten syntyprosessi ja varhainen eteneminen markkinasiirtymän aiheuttamina epäoptimaalisuuksina tuotantoketjuissa. Lisäksi luvussa käsitellään erilaisia pullonkauloja, jotka viivyttävät toisinaan murrosprosessien etenemistä.

Kolmannessa luvussa siirrytään tarkastelemaan teknologia-alojen tason trendejä ja käydään läpi kaikkiaan 30 teknologia-alaa, joiden piirissä murroksellisten innovaatioiden syntyminen on lähitulevaisuudessa erityisen todennäköistä. Teknologia-alat on jaoteltu tavalla, joka havainnollistaa tiedonhallintakyvyn merkittävyyden kasvua. Jokaisen teknologia-alan kohdalla on myös lyhyt analyysi alan keskeisistä vaikutuksista kansalliselle varautumiselle sekä muuttujista, jotka ovat huomionarvoisia sodanajan huoltovarmuuden kannalta.

Neljännessä luvussa tarkastellaan makroteknologisen tason kehityskulkua, jotka ylittävät teknologia-alojen rajat. Luvussa tunnistetaan viisi keskeistä makroteknologista trendiä: modularisaatio, miniatyrisaatio, hajautuminen, monimutkaisuuden kerrostuminen ja aikajänteen muutos, sekä digitaalisen vaikutuspinta-alan kasvu. Lisäksi näiden vaikutukset kansalliseen varautumiseen ja sodanajan huoltovarmuuteen avataan lyhyesti.

Viidennessä luvussa tarkastellaan edelleen laajemmin murroksellisten teknologioiden vaikutuksia maailmanjärjestyksen tasolla. Erityisesti käydään läpi tietotaloussiirtymää, hybridi-vaikuttamista ja geoekonomiaa. Nämä kaikki voidaan selkeästi kytkeä teknologiseen kehitykseen ja argumentoida olevan kansallisen varautumisen toimintaympäristön muutoksen kannalta erityisen merkittäviä.

Kuudennessa luvussa esitetään kolme laajempaa suositusta, joiden avulla teknologisiin murroksiin on mahdollista varautua ja reagoida tehokkaammin poikkialueellisesti. Näitä ovat kansallisen pohjataso vahvistaminen, tiedon ja järjestelmien hajauttaminen, sekä säädösten ja luottamusperusteinen sitouttaminen. Lisäksi luvussa esitetään tarkempia Huoltovarmuuskeskusta koskevia suosituksia, jotka liittyvät erityisesti tilannekuvatiedon parantamiseen ja pullonkaulojen tunnistamiseen.

Nämä suositukset pohjaavat raportin keskeiseen huomioon: yksittäisten teknologisten innovaatioiden sijaan on hyödyllisempää keskittyä ymmärtämään ja sopeutumaan yleisemmän tason teknologisen kehityksen aiheuttamiin kehityskuluihin.

Raportin lopuksi esitetään tiivis yhteenveto analyysistä.

/ 1

1. MURROKSELLISEN TEKNOLOGIAN KÄSITE

Murroksellisilla teknologioilla (*disruptive technologies*) tarkoitetaan teknologioita⁹, joiden piiristä ennakoitaan syntyvän laajoja taloudellisia, yhteiskunnallisia tai jopa kansainvälispoliittisia muutoksia aikaansaavia innovaatioita. Teknologiset murrokset siis kehkeytyvät (*emerge*) yksittäisistä innovaatioista ja etenevät niistä yritysten (tuotannon) tasolle näiden hankintaketjujen ja arvoketjujen muutoksina. Nämä muutokset kumuloituvat edelleen asteittain kansallisen ja globaalien tason kehityskuluiksi. Murrosvaikutukset syntyvät näin ollen aina yksittäisistä teknologisista innovaatioista. Innovaatio on murroksellinen silloin, kun se mahdollistaa tuotteen¹⁰, joka syrjäyttää vallitsevan tuotteen parantamalla sille toisarvoisen parametrin¹¹ suorituskykyä.¹²

Esimerkiksi Applen murroksellinen innovaatio¹³ oli lisätä älypuheliin kosketusnäyttö. Innovaatio oli murroksellinen, koska se ei parantanut älypuhelinmarkkinoilla perinteisesti arvostettua parametriä ja koska sen suosion kasvu syrjäytti perinteisten älypuhelinmarkkinoiden

9 Teknologia voidaan määritellä konseptuaalisen tiedon hyödyntämisenä jonkin tavoitteen saavuttamiseksi.

10 Tuote voi olla mitä tahansa kokonaisuus, joka tyydyttää kysynnän tai tarpeen. Näitä ovat esimerkiksi laite, teknologinen järjestelmä, palvelu tai toiminnan tapa.

11 Parametrillä tarkoitetaan sellaisia ominaisuuksien yhdistelmiä, joiden avulla järjestelmän vaste voidaan määrittää (Trimmer 1950, 13). Tässä tapauksessa parametri voi esimerkiksi olla hinta, koko, paino, suoritusnopeus, tai muistikapasiteetti. Aiheesta tarkemmin luvussa 2.

12 Tässä raportissa esitetty määritelmä pohjaa ennen kaikkea Joshua Gansin tapaan käsitellä murrosprosessien syntyä, mutta ei hyödynnä Gansin omaa määritelmää, joka on tehty (yritys)johtamisen tutkimuksen käyttöön. Gans itse määrittelee murroksen "kaikiksi niiksi asioiksi, jotka yritys kohtaa tehdessään sellaisia valintoja, jotka aiemmin takasivat sen menestyksen, mutta nyt tuhoavatkin sen tulevaisuuden" (Oma käännös. Gans 2016, 13).

13 Sekä Applen älypuhelinesimerkkiä, että murroksellisten innovaatioiden käsitettä avataan tarkemmin luvussa 2.

toimijoita.¹⁴ Innovaation perustana oli suuri määrä informaatioteknologian, kosketusnäytöissä hyödynnettävän haptiikan ja monien muiden teknologia-alojen kehitystä. Vaikka kyseisten alojen kehityksen trendit olisikin tunnistettu oikein, kosketusnäytöllisen puhelimen syntyä ja vaikutuksia olisi silti ollut hyvin vaikea arvioida etukäteen. Keskeisesti kosketusnäyttö vapautti tilaa isommalle ruudulle ja muutti puhelimen käyttöparadigman kuvien ja videoiden katsomis- ja ottamiskeskeiseksi. Tämä puolestaan vaikutti merkittävästi sosiaalisen median teknologioiden kehitykseen ja suosion kasvuun.

Yleiset trendit, jotka johtivat lopulta älypuhelimien syntyyn, oli tunnistettu jo vuosikymmen aikaisemmin. Näihin lukeutuivat esimerkiksi viestimien pienentyminen, laitteiden muistikapasiteetin ja toiminnallisuuksien määrän kasvu sekä pilvipalveluiden ja muiden etäyhteyksien yleistymisen. Vastaavasti jo viimeistään 1990-luvun jälkipuoliskolla oli selvää, että tiedon ja tietoteknologioiden arvo lisääntyy vauhdilla, eli alan innovaatioiden voitiin ennakoita olevan poikkeuksellisen vaikuttavia. Lisäksi oli selvää, että hybridivaikuttamiskeinojen käyttö tulisi yleistymään, mikä tarkoitti, että uuden teknologian ja käyttötottumusten 'aseistamisen' voitiin ennakoita olevan entistä nopeampaa ja voimakkaampaa.

1.1. MITÄ MURROKSELLISEN TEKNOLOGIAN KÄSITE EI TARKOITA

Murroksellisista teknologioista on 2000-luvulla kehkeytynyt muoti-termi, ja samalla se on arkikielistynyt synonyymiksi merkittäville teknologioille. Tämänkaltainen käsitteellinen liudentuminen ei kuitenkaan ole hyödyllistä, sillä se hankaloittaa keskustelua teknologisten innovaatioiden aiheuttamista aidosti merkittävistä murrosvaikutuksista, mikä puolestaan vaikeuttaa niihin varautumista. Varoittava esimerkki tästä on Euroopan parlamentin vuonna 2020 tuottama analyysi ”Disruption by technology: Impacts on politics, economics and society”, jossa murrokselliset teknologiat määritellään käyttötapojen vallankumouksiksi, ja murroksen aiheuttajiksi kelpaavat niin maanjäristykset kuin sosiaaliset ja poliittiset vallankumouksetkin.¹⁵

Ollakseen hyödyllinen termin määritelmän on kyettävä antamaan informaatiota siitä, mitä se kuvaa. Murroksellisten teknologioiden tapauksessa näin ei kuitenkaan aina ole. Esimerkiksi Cambridgen sanakirja määrittelee murroksellisen teknologian “uutena teknologiana, joka muuttaa

¹⁴ Gans 2016, 41–45.

¹⁵ Boucher et al 2020.

kokonaan tavan, jolla asioita tehdään”¹⁶. Tämänkaltainen yleinen määritelmä tarjoaa valitettavan vähän työkaluja murroksellisten teknologioiden tunnistamiseen.

Ongelma toistuu myös seuraavassa esimerkissä, jossa pyritään ymmärtämään teknologioiden murroksellisuutta syntyvän ja mekanismin sijasta vaikutuksen laadun ja kohteen mukaan. Esimerkiksi Naton tieteellisiä ja teknologisia trendejä luotaavan tutkimusraportin mukaan murroksellisia teknologioita ovat “teknologiat tai tieteelliset läpimurrot, joilla odotetaan olevan merkittävä tai jopa vallankumouksellinen vaikutus Naton puolustus-, turvallisuus- tai organisaation toimintoihin”¹⁷ Samankaltainen määritelmä löytyy myös Euroopan komission vuoden 2021 toimintasuunnitelmasta, joskin vielä laajempaan: murroksellisiksi teknologioiksi määritellään kaikki teknologiat, jotka aiheuttavat radikaalin muutoksen asteittaisen muutoksen sijaan.¹⁸

Käsitteellisestä välinpitämättömyydestä kertoo myös esimerkiksi se, että Naton kehkeytyvien ja murroksellisten teknologioiden esittelysivulla termi jätetään kokonaan määrittelemättä.¹⁹

Myös Suomessa on herännyt keskustelua murroksellisista teknologioista, mutta termin määrittely on erittäin harvinaista. Poikkeuksena tähän on Nordic West Officen puolustusministeriölle tekemä raportti, jossa murrokselliset teknologiat määritellään seuraavasti: ”Murrokselliset teknologiat syrjäyttävät markkinoilla vallitsevan teknologian tai muoovat toimialan dynamiikkaa, mahdollistaen täysin uudenlaisen toimintamekanismin tai -logiikan.”²⁰ Tämänkin määritelmän heikkoutena on, ettei se avaa syrjäyttämisen mekanisme. Tämä on ongelmallista, sillä toimialojen dynamiikka voi muovaantua myös ei-murroksellisten teknologioiden vaikutuksesta. Toisaalta innovaatiot voivat sisältää murroksellisia elementtejä ilman, että murrosprosessi käynnistyy.

Määritelmällisen liudentumisen lisäksi murroksellisen teknologian käsite helposti myös sekoitetaan muiden merkitykseltään lähellä olevien mutta erillisten käsitteiden kanssa. Näitä ovat erityisesti käsitteet *kriittinen teknologia*, *transformatiivinen teknologia* ja *yleiskäyttöteknologia*.

Kriittisillä teknologioilla (*critical technologies*) viitataan sellaisiin teknologioihin, jotka ovat (valtioiden) strategisten intressien kannalta

16 “[Disruptive technology is] a new technology that completely changes the way things are done” (Cambridge dictionary).

17 Oma käännös. Pohjois-Atlantin puolustusliiton tiede- ja teknologiaorganisaatio 2020, 2.

18 Euroopan komissio 22.2.2021, 14. Huomionarvoisesti muotoiltu ilman konditionaalia. Näin määriteltyjen murroksellisten teknologioiden tunnistaminen on väistämättä historiaan katsovaa eli jälkijättöistä, mikä ei mahdollista ennakoitua.

19 Pohjois-Atlantin puolustusliitto 22.6.2023.

20 Penttilä et al. 2023.

kriittisiä. Kriittiset teknologiat ovat aina aikaan ja paikkaan sidottuja teknologisia kokonaisuuksia, joiden toiminnan jatkuvuuteen valtiot haluavat erityisesti panostaa. Kriittiset teknologiat voivat olla tai olla olematta murroksellisia teknologioita nyt tai tulevaisuudessa, tai ne saattoivat olla sellaisia markkinoille tullessaan.²¹

Tranformatiivisilla teknologioilla (*transformative technologies*) tarkoitetaan teknologioita, joiden käytön omaksuminen vaatii organisatorisia, järjestelmäarkkitehtonisia tai yhteiskunnallisia muutoksia. Kyseessä on huomattavasti murroksellisia teknologioita löyhempi termi, sillä termi 'transformatiiviset teknologiat' ei ota kantaa yhteiskunnallisten muutosten syntymekanismiin tai siihen, miten paine tehdä muutoksia aiheutuu.

Yleiskäyttöteknologioilla (*general purpose technology*) puolestaan tarkoitetaan sellaisia konseptuaalisesti yhtenäisiä teknologioiden ja teknologisten menetelmien kokonaisuuksia, joihin perustuvia laitteita ja sovelluksia käytetään sektorinlaajuisesti useilla talouden osa-alueilla. Kyseessä on siis kokonainen teknologinen paradigma²², joka ei synny yksittäisten innovaatioiden seurauksena vaan usein vuosikymmeniä kestävässä prosessina, joka pohjautuu laitteiden, sovellusten ja menetelmien käytön laajentumiselle. Esimerkiksi internetiä, puolijohteita, sähköä, massatuotantoa ja kirjoitustaitoa voidaan perustellusti pitää yleiskäyttöteknologioina²³, ja niiden kaikkien kohdalla sekä markkinoiden että laajempi yhteiskunnallinen murros on ollut ilmeisen valtava.

Edellä käsiteltyjen ongelmallisten määritelmien lisäksi käsitettä murrokselliset teknologiat on laajalti käytetty myös kuvaamaan sosio-kulttuurisia tai organisaatorakenteellisia muutoksia. Murroksellisten teknologioiden käsitteen laventamista yhteiskunnallisten muutosten suuntaan ei voi pitää hyödyllisenä, koska vaikka teknologinen murros voi aiheuttaa myös yhteiskunnallisia häiriöitä, näin ei välttämättä tapahdu. Kehityskulkujen syntymekanismien ymmärtäminen on oleellista myös silloin, kun kyseessä ei ole teknologinen murros vaan teknologian mahdollistama murros. Esimerkiksi ihmisten odotukset politiikanteon läpinäkyvyydestä ovat sosiaalisen median vaikutuksesta muuttuneet, mutta muutos on ollut teknologian mahdollistama, ei aiheuttama. Vastaavasti sosiaalinen media on mahdollistanut uudenlaisten informaatiovaikutamisen menetelmien kehittämisen, mutta tällöinkin uudet menetelmät ovat muutoksen mahdollistajia ja voivat sellaisina joko olla tai olla olematta murroksellisia. Yhteiskunnallisia häiriöitä aiheuttavia kehityskulkuja voi

21 'Kriittiset teknologiat' on hyvin yleinen termi, jonka määrittely on harvinaista. Ks. Fägersten et al. 2023.

22 Dosi 1982. Dosi hahmotteli teknologiset paradigmat tieteellisten paradigmojen kaltaisiksi keskinäisriippuvaisiksi kehityskuluiksi.

23 Lähitulevaisuudessa yleiskäyttöteknologioiden arvioidaan kehkeytyvän tekoälyn, nanotieteen ja biotieteiden kentältä. Aiheesta tarkemmin luvussa 3.

kutsua yhteiskunnallisiksi murroksiksi. Vastaavasti termi läpimurtoteknologiat²⁴ (*break-through technologies*) on hyvä vaihtoehto kuvaamaan murroksia yleisempiä teknologisia edistysaskelia. Tosin myös ilmaisu 'merkittävä teknologia' on yleensä riittävä.

1.2. TEKNOLOGINEN MURROS VASTAAN TEKNOLOGINEN KEHITYS

Teknologisen murroksen käsitettä ei pidä myöskään sekoittaa teknologiseen kehitykseen, vaikka termit ovatkin lähellä toisiaan.

Kuten yllä esiteltiin ja seuraavassa luvussa perustellaan, teknologiset murrokset syntyvät aina yksittäisistä innovaatioista. Myös teknologinen kehitys etenee innovaatioiden kautta, mutta niiden ei tarvitse olla murroksellisia edistääkseen teknologista kehitystä. Innovaatiot voivat olla teknologiselle kehitykselle merkittäviä mutta eivät murroksellisia esimerkiksi silloin, kun ne parantavat syntyneen tuotteen markkinoilla perinteisestikin arvostettua parametria. Sama pätee myös tilanteisiin, joissa innovaatiot eivät ole tarpeeksi merkittäviä syrjäyttääkseen vallitsevia tuotteita tai joissa ne eivät tuoteistu.

Innovaatiot, jotka osoittautuvat murroksellisiksi, kuitenkin vähintään ilmentävät teknologista kehitystä ja todennäköisesti myös edesauttavat sitä toimimalla pohjana jatkoinnovaatioille. Näin syntyy kaksi rinnakkaista kehityskulkua: teknologinen kehitys ja teknologinen murrosprosessi. Molemmat muokkaavat kansallisen turvallisuuden teknologista toimintaympäristöä, mutta niiden vaikutus on eri: Teknologinen kehitys johtaa pysyvään toimintaympäristön muutokseen, niin sanottuun uuteen normaaliin, johon pitää sopeutua. Teknologinen murros on yksi (väliaikaisia häiriöitä aiheuttava) tapa, jolla siirtymä 'uuteen normaaliin' tapahtuu.

Näin ollen kansallisen varautumisen näkökannalta on oleellista kiinnittää huomiota siihen, miten siirtymä etenee – onko kyseessä murros vai murrosvaikutuksista vapaa kehitys tai muu muutos?

Murrosprosessit syntyvät yksittäisistä innovaatioista ja kehkeytyvät tuotannon, saatavuuden, ja hyödynnettävyyden häiriöiksi. Nämä häiriöt osaltaan vaikuttavat siihen, millaisiksi kehityskuluiksi innovaatioiden kumuloitumisesta syntyvät kokonaisvaikutukset kehkeytyvät. Kun tarkastelussa siirrytään tuotantoketjuja ja tuotannon mekanismeja yleisemmälle tasolle, alkavat teknologisen kehityksen ja teknologisten murrosten vaikutukset väistämättä sekoittumaan keskenään. Samalla niiden erotte-
lusta tulee asteittain vähemmän tärkeää. Teknologia-alojen kehityksen

24 Ks. Hein & Brun 2019.

tasolla yksittäisillä murroksellisilla innovaatioilla on vielä suuria ja yllättäviä vaikutuksia, mikä osaltaan vaikeuttaa niiden kehityksen luotettavaa ennakkointia. Makroteknologisen kehityksen tasolla yksittäisten murrosten vaikutukset alkavat jo hälvenemään, ja lopulta maailmanjärjestyksen tasolla yksittäiset voimakkaastikaan murrokselliset innovaatiot äärimmäisen harvoin tuottavat äkkinäisiä muutoksia.

1.3. MURROKSELLINEN TEKNOLOGIA KANSALLISEN VARAUTUMISEN KÄSITTEENÄ

Kansallisen varautumisen kannalta teknologinen murrosprosessi näytetään ensisijaisesti varautumistoiminnan markkinatoimintaympäristön muutoksina. Kuten valtioneuvoston huoltovarmuusselonteossa todetaan, markkinatoimijoiden kyky sopeutua häiriöihin ja turvata toimintansa jatkuvuus määrittää kriittisen tuotannon ja palveluiden kriisinsietokyvyn.²⁵ Näin ollen kriittisten toimijoiden omaehtoisen sopeutumisen tukemisella on merkittävä rooli murrosvaikutuksiin varautumisessa.

Samalla julkishallinnon omien sopeutumistoimien on kyettävä pysymään linjassa. On tunnistettava, minkä dynamiikkojen seuraaminen ja ymmärtäminen kuuluu minkäkin tason toimijoiden toimenkuviin ja vastuisiin. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että strategisen tason pitää pidättäytyä liian yksityiskohtaisesta ohjaamisesta samalla kun strategista linjaa seuraavan tason on hyväksyttävä se, että yksittäisinä tapauksina erinomaisilta vaikuttavat toimet ja tilaisuudet voivatkin olla haitallisia silloin kun isommat kehityskulut ja kokonaisstrategia otetaan huomioon.

Tiivistäen Suomen ja Suomelle kriittisten toimijoiden on sopeuduttava teknologisen kehityksen tuottamiin pysyviin muutoksiin. Makrotason murrokset ja häiriötilat syntyvät mikrotason innovaatioista ja markkinamuutoksista, ja makrotason murrokset luovat tilaa uusille mikrotason murroksellisille teknologioille.

Kehityksen lainalaisuudet mahdollistavat ennakkoinnin, mutta luotettava ennustaminen vaatisi massiivisia investointeja moderniin seuranta-järjestelmään, joka pohjautuu datamassojen keräämiseen ja analytiikkaan. Oleellista on tiedostaa, minkä tiedon seuraaminen tekisi ennakkoinnista mahdollista, sekä se, että potentiaalisten trendien hahmottaminen on hyödyllistä myös ilman todennäköisyyksien arvioimista. Tällöin puhutaan käytännössä teknologisten murrosprosessien etenemisen tilannekuvien luomisesta. Valtioneuvoston huoltovarmuusselonteossa korostetaan tilannekuvien luomisen ja ajantasaisen tiedon hyödyntämisen merkitystä.

²⁵ Valtioneuvosto 2022, 7.

Tätä toteutettaessa on tärkeä valita tarkkaan mitä tietoa hyödynnetään ja mistä tilannekuvat tarkalleen ottaen luodaan. Tässä raportissa argumentoidaan, että tilannekuvat kannattaa muodostaa niin sanotusti isoimmasta pienempään. Tilanteessa, jossa on mahdotonta muodostaa riittävän kattavaa otantaa yksityiskohtaisesta tiedosta, kannattaa keskittyä suurien ja helpommin ennakoitavien trendien seuraamiseen.

Murrosten ennakoiminen perustuu aiemmin tunnistettujen, murrosvaikutuksia tuottavien trendien tavoitteelliseen seuraamiseen ja vaikutusten analysointiin. Lähestymistapa nojaa empiiriseen aineistoon, ja siinä yhdistellään usein määrällisiä ja laadullisia menetelmiä. Ennakoinnissa muuttujat liittyvät sekä murrosvaikutuksiin, että varautumistoimien vaikutuksiin. Yleisesti voidaan sanoa, että valittavana on kolme lähestymistapaa: teknologia- tai tekniikkavetoinen, riskivetoinen ja tavoitevetoinen lähestymistapa. Käytännössä murrosten ennakoiminen on kuitenkin viimekädessä aina jonkinlainen yhdistelmä eri lähestymistapoja.

Teknologiavetoisessa lähestymistavassa valitaan (usein ilman perusteita) joukko tekniikoita, joihin potentiaalisesti liittyviä riskejä kartoitetaan. Lähestymistapa soveltuu teknologisten murrosten ennakoimiseen heikosti, koska teknologiset murrosprosessit tyypillisesti syntyvät jonkin toisen teknologia-alan piiristä kuin minne murrosvaikutukset myöhemmin keskittyvät. Teknologiavetoinen lähestymistapa johtaa myös helposti siihen, että kaikki laajassa käytössä olevat tai kriittisen infrastruktuurin tai toiminnon ylläpitämiseen hyödynnettävät teknologiat näyttäytyvät riskaabeleina. Hyvä esimerkki teknologiavetoisen lähestymistavan käytöstä on Euroopan komission tuore suositus²⁶ kriittisten teknologioiden kansallisen riskiarvioinnin toteuttamiseksi. Suosituksessa unionin jäsenmaita ei ohjeisteta teknologioiden valinnassa, kriittisiksi luoteltuja teknologisia paradigmoja on kymmenen ja niiden piiriin kuuluvia laitteita lukematon määrä.²⁷

Riskivetoisessa lähestymistavassa puolestaan tunnistetaan potentiaaliset kielteiset vaikutukset ja edetään selvittämään, mitkä teknologiat voisivat aiheuttaa niitä, kuinka todennäköisesti ja missä tilanteissa.²⁸ Lähestymistavassa kriisinsietokyky näyttää ensisijaisesti kykynä ponnistaa häiriötilasta takaisin normaaliajan häiriöttömään tilaan.²⁹ Riskivetoisessa lähestymistavassa on kuitenkin teknologisiin murrosvaikutuksiin varautumiseen liittyvä perustavanlaatuinen heikkous. Lähestymistavasta puuttuu mekanismi toistaiseksi tunnistamattomien

26 Euroopan komissio 3.10.2023.

27 Euroopan komissio 3.10.2023b. Ks. myös Euroopan talous- ja sosiaaliskomitea 15.2.2022.

28 Esimerkki riskivetoisesta lähestymistavasta (riskilähtöiseksi kutsuttuna), ks. Uusitalo et al. 2009.

29 Juntunen 2014.

riskien tunnistamiseen, jolloin esimerkiksi teknologisen kehityksen myötä syntyvät kokonaan uudet suorituskyvyt, riippuvuussuhteet sekä materiaali- ja osaamisvaatimukset jäävät ennakoinnin ulkopuolelle. Tämän takia riskivetoisessa lähestymistavassa tyypillisesti pyritäänkin riskineutraaliuteen eli varautumaan häiriöihin niiden syntytavasta riippumatta. Murrosvaikutusten tapauksessa tilanne on kuitenkin toivoton, koska murrosta edeltävään tilaan palautuminen ei voi tapahtua markkinaehtoisesti, sillä murrosvaikutukset ovat suurimmaksi osaksi markkinaehtoisuuden muutoksia.³⁰ On sopeuduttava muuttuneisiin realiteetteihin, 'uuteen normaaliin'.

Tavoitevetoisessa lähestymistavassa taas murrokset ja muut poikkeus-tilat hyväksytään virheiden sijasta toimintaympäristön muuttuneina realiteetteina matkalla kohti ennalta määriteltyä toivotun tulevaisuuden tilaa³¹. Konkreettisesti tavoitevetoisuutta on mahdollista edistää esimerkiksi lisäämällä turvallisuusstrategioihin, varautumissuunnitelmiin ja strategiseen viestintään tavoitevisio, joka parhaassa tapauksessa olisi myös synkronoitu tutkimus-, kehitys ja innovointipoliittisten tavoitteiden kanssa. Yleisemmin kyse on tavoitteen asettamisesta ja kommunikoimisesta niin, että tavoitteen edistäminen mahdollistuu kaikilla hallinnan tasoilla. Tavoitevetoinen lähestymistapa auttaa ymmärtämään, milloin teknologiseen murrokseen kannattaa reagoida siirtymää kiihdyttävällä ja milloin viivyttelevällä tavalla, ja milloin reagointia ei tarvita. Tavoitevetoisen lähestymistavan heikkoutena on, että se vaatii edeltäviin lähestymistapoihin verrattuna runsasta päätösvallan delegoimista ilman yleisen linjan rakoilua. Toisin sanoen se on hallinnollisesti vaikeaa.

Hyvä tapa havainnollistaa tavoitevetoista lähestymistapaa on jakaa se kolmeen vaiheeseen: oppivaan mukautumiseen, sitä tukevaan toimintakyvyn säilyttämiseen ja sitä tukevaan vastustuskyvyn luomiseen³² (eli pohjatason vahvistamiseen). Ollakseen tavoitevetoista oppivan mukautumisen tulee niin sanotusti vetää prosessia niin, että prosessin aikaisemat vaiheet mukautetaan sitä tukeviksi.³³

Riippumatta edellä käsiteltyjen mallien tarjoamasta tuesta murrosten ennakointi on haastavaa toimintaa ja vaatii kansainvälisten kehityskulkujen seuraamista ja trendien tunnistamista. Murrosvaikutukset on kyettävä havaitsemaan riittävän varhaisessa vaiheessa, jotta niihin reagoiminen on tehokasta ja jotta yksityissektorin kumppaneille kyetään

30 Murroksen etenemisestä markkinoiden muutoksena tarkemmin luvussa 2.

31 Lähestymistapaa voisi kutsua myös resilienssivetoiseksi. Ks. esimerkiksi Hyvönen & Juntunen 2018 sekä Hyvönen et al. 2019.

32 Hyvönen & Juntunen 2018.

33 Esimerkiksi sen sijaan että prosessin myöhempien vaiheiden toimintaedellytyksiä rajattaisiin aikaisemmissa vaiheissa tehtyjen ja niiden omiin tarpeisiin kohdistettujen priorisointien pohjalta.

tuottamaan lisäarvoa.³⁴ Samalla ennakoivan tahon tai toimijan on kyettävä arvioimaan vaikutusten kasvupotentiaalia, koska osa murroksista jää merkityksettömiksi.³⁵ Tehtävä on vaikea, mutta murroksellisen teknologian käyttöönoton tai leviämisen välttely tai viivyttely harvoin vahvistaa kriisinkestävyyttä. Murrossiirtymän viivyttäminen esimerkiksi tukemalla vanhentuneen teknologian varaan rakentavia yrityksiä voi myös pahentaa tilannetta tarjoamalla muille valtioille tilaisuuden houkutellessa uuden teknologia-alan osaajia ja tuotantoketjujen osia omien rajojensa sisäpuolelle. Tällä on kumulatiivisia vaikutuksia, sillä varhaisen omaksumisen mahdollisena hyötynä on osaamisen kertyminen uuden teknologian piiriin. Tämä on merkittävää, koska uuden teknologian päälle kehitetyt innovaatiot ovat usein arvokkaampia verrattuna vanhempien versioiden päälle rakentuviin.

Kansallisen varautumisen näkökulmasta kotimaassa syntyvät teknologiset murrokset ovat huomattavasti yksinkertaisempia hallita kuin ulkomailta leviävät murrokset, mutta kansainvälisiltä paineilta ei voi välttyä. Osaamisella ja teknologisilla tuotteilla on tapana kertyä, sillä innovaation vaatimat kansainväliset linkit yhdistyvät yleensä keksinnön kapitalisoivaan maahan. Näin ei kuitenkaan välttämättä tai automaattisesti tapahdu, ja etu voidaan myös menettää. Jos kriittistä riippuvuutta aiheuttavan tuotantoketjun osia ei seurata tehokkaasti, niiden hallinta voidaan menettää osana markkinoiden normaalia toimintaa ilman, että sitä edes ennen kriisiä huomataan.

Toisaalta liian varhainen siirtymä voi johtaa siihen, että panostetaan lyhytikäiseksi jäävään teknologiaan, mikä voi tulla kalliiksi.³⁶ Esimerkiksi Suomi päätti panostaa vuonna 1986 videotex-teknologiaan ja ranskaiseen Minitelliin, jonka kasvun edellytykset kuitenkin syrjäytti vuonna 1994 kehitetyn World Wide Webin aiheuttama Internetin suosion räjähdys.³⁷ Toinen vastaava esimerkki syntyi, kun Suomen valtionyhtiö Sonera sijoitti vuonna 2000 täysin arvottomaksi osoittautuneisiin Saksan UMTS eli 3G-matkapuhelinverkon toimilupiin 4,3 miljardia euroa, minkä seurauksena Suomi menetti tiedonhallintakyvykkyyksilleen keskeisen yrityksen (Soneran) ruotsalaiselle Telialle. 3G:n ongelmaksi osoittautui virhearvio siitä mitä asiakkaat arvostavat: 3G-teknologiassa panostettiin kuvan ja äänenlaatuun, kun tiedonsiirron nopeus ja määrä osoittautuivatkin siinä

34 Aiheesta tarkemmin luvussa 6.4.

35 Aiheesta tarkemmin luvussa 2.

36 Tästä johtuen Suomen voisi olla hyödyllistä tutkia esimerkiksi internetin leviämisen ja sen käyttöönoton huoltovarmuusvaikutuksia yrityksissä ja organisaatioissa, vertaillen varhaisia ja myöhäisiä käyttöönottajia.

37 Tämä ei kuitenkaan välttämättä tarkoita, että Videotex teknologiaan panostaminen olisi ollut ajantasaisen tiedon valossa virhe tai edes valtiontaloudelle tappiollista panostuksen tuottaman kansallisen osaamiskertymän johdosta.

ajanhetkessä tärkeämmiksi. Toisin sanoen vaihtoehtoinen parametri³⁸ osoittautui markkinoilla arvostetummaksi kuin se, mihin Suomi, Sonera ja Nokia sijoittivat.

Virhesijoitusten lisäksi varhaiseen siirtymään liittyy muitakin haasteita. Esimerkiksi murroksellinen teknologia voi vanheta yllättävän nopeasti, kuten kävi esimerkiksi Blu-ray-levyille, laserlevyille, ja betamax-kaseteille, joiden tapauksessa nopeasti tehty siirtymä osoittautui varhaisille omaksujille kalliiksi.³⁹ Toisin kuin Minitellin ja UMTS-kauppojen tapauksessa taustalla ei ollut väärinymmärrys siitä, mitä markkinoilla arvostetaan, vaan kyvyttömyys ennakoida murroksellisen teknologian kehkeytyminen. Siirtymäkausi voi myös venyä ennakoitua pidemmäksi esimerkiksi toimitusketjujen pullonkaloista johtuen tai aiheuttaa ennakoinnattomia yhteensopimattomuuksia, minkä lisäksi varhaisen siirtymän läpikäyneiden toimijoiden ja järjestelmien riippuvuusketjut voivat olla pitkään vaikeasti hajautettavissa.

Edellä mainituista syistä johtuen uuden teknologian varhaisten omaksujien⁴⁰ ja valtavirtaistumisen väliin jää kuitenkin usein skaalautumishaasteista johtuva kuilu. Kuilu viivästyttää teknologian valtavirtaistamista, mutta voi myös lisätä varhaisten omaksujien voittomarginaaleja ja toimintavarmuutta varsinkin kuilukauden loppupuolta kohden ja pian sen jälkeen. Tämä logiikka pätee niin yritysten kuin valtioidenkin tasolla.

Teknologisen kehityksen ja murrosvaikutuksen ennakointi on vaikeaa, minkä vuoksi on perusteltua keskittää ennakointiresurssit yksittäisten tekniikoiden/teknologioiden kehityskulkujen tasolta astetta yleisemmälle, teknologisen kehityksen trendien tasolle.

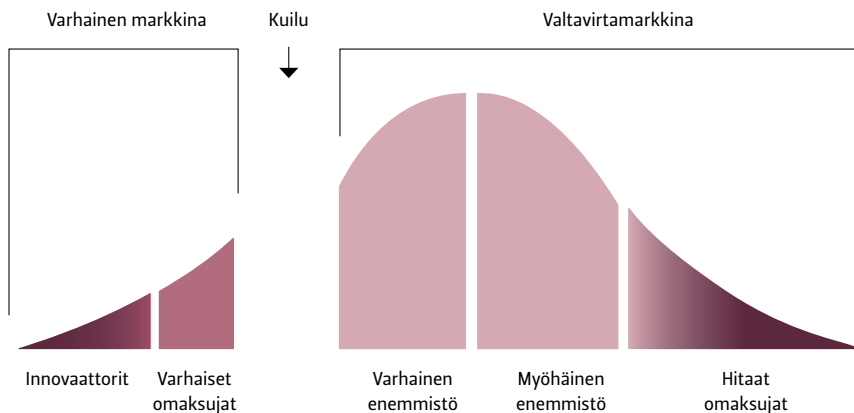
1.4. KRIITTISET RESURSSIT JA TEKNOLOGINEN MURROS

Murrokselliset teknologiat voivat vaikuttaa resurssien kriittisyyteen, ja siten huoltovarmuuteen. Kriittisiksi resursseiksi voidaan määritellä erinäiset taloudellisen toimijan voimavarat, kuten luonnonvarat, komponentit, työvoima ja pääoma. Murrokselliset teknologiat vaikuttavat kriittisten resurssien markkinoihin ja siten myös kriittisten resurssien huoltovarmuuteen. Resurssien kriittisyys itsessään ei kuitenkaan kerro niitä hyödyntävien teknologioiden murroksellisuudesta, eikä kriittisyyksien muutos aiheuta teknologisia murroksia, vaikka valtio tai yritys joutuisikin varautumaan uuden resurssin saatavuuskatkoksiin.

38 Aiheesta tarkemmin luvussa 2.

39 Vastaavasti joskus vanha teknologia jää pitkäksi aikaa käyttöön juuri huoltovarmuudellisten hyötyjen takia, kuten on käynyt hakulaitteille (*pager*), AM-radiolle ja valintayhteysmodeemille.

40 Ks. Rogers [1988] 1962.



Kuva 2. Varhaisten omaksujien ja valtavirtaistumisen väliin jäävä kuilu

Murrokselliset teknologiat kuitenkin vaikeuttavat resurssien kriittisyysasteen kehityksen ennakoimista. Murroksellisen teknologian myötä uusi kriittinen resurssi voi nousta syrjäyttämään hyvinkin vakiintuneen resurssin. Esimerkiksi suola oli keskeinen kriittinen resurssi tuhansia vuosia johtuen sen dominoivasta asemasta ravinnon säilömisessä. Suolan tuotantomahdollisuuksien epätasainen jakautuminen myös mahdollisti asymmetrian hyödyntämisen painostuskeinona, mikä lisäsi resurssin kriittisyyttä. Suolamarkkinoiden kehitystä tarkastikaan seuraamalla tuskin pystyi ennustamaan suolan kriittisyyden loppua sähköisten jääkaappien ilmestyessä markkinoille 1900-luvun alussa⁴¹, koska jääkaapit nousivat kokonaan toisen paradigman piiristä. Edes jääkauppaa tai ammoniumilla kylmennettyjä huoneita seuranneet tahot eivät kilpailleet jääkaappiteollisuuden kanssa samoista alihankkijoista vaan vasta asiakkaista. Vastaavasti kotijääkaappimarkkinat alkoivat syrjäyttämään teollisia jäädytyshuonemarkkinoita vasta kun jääkaappien käyttäjäpohja oli levinnyt niin laajaksi, että se vaikutti teollisen kylmäsäilytystilan tarpeeseen. Erityisesti Yhdysvalloissa sähköverkon leviäminen myötävaikutti siihen, että jääkaapit yleistyivät merkittävästi 1930-luvun aikana. Vaikka sitä sellaiseksi on nykyään vaikea mieltää, jääkaappi oli markkinoille tullessaan voimakkaan murroksellinen teknologia.

Huomionarvoisesti jääkauppiat (jääpalojen kauppa alkoi vuonna 1806 ja vuosisadan loppua kohden alan oli kasvanut nykyrahasa mitattuna miljardibisneksiksi⁴²) ajattelivat, että sähköjäädytys mahdollistaa

41 Vuonna 1913 Fred W. Wolf keksi kotikäyttöön tarpeeksi pienen, halvan, ja turvallisen ammoniaan perustuvan jääkaappiarkkitehtuurin, ja vuonna 1915 Alfred Mellowes keksi turvallisemman freonin perustuvan version. Jääkaapin suosio lähti räjähdysmäiseen kasvuun kuitenkin vasta 1930-luvulla. Bjornlund 2015.

42 Hines 1893.

heidän taloudellisen toiminnan kasvun kuljetuskustannusten laskun ja toimitusmatkojen maksimietäisyyden pidentymisen myötä. Vuonna 1895 ensimmäiset sähkömoottorit ilmestyivät jäälaitteisiin, mutta höyryvoiman käyttö säilyi yleisenä alan loppuun asti 1930-luvulle⁴³, kun sähköverkko levisi Yhdysvalloissa kattamaan 90 prosenttia kaupunkiasumuksista ja jääkaappi tuhosi jääpalabisneksin muutamassa vuodessa.⁴⁴ Varhaiset sähköiset jäähuoneet ja jääkaapit kehitettiin huonejäähdytyksen pohjalta kilpailijaksi jääpalavetoiselle jäähdytykselle⁴⁵ ja tuskin tulivat jääpalamarkkinatoimijoille yllätyksenä.

Oman kokonaisuutensa muodostavat kriittiset resurssit. Kansallisesta näkökulmasta niiden saatavuus voidaan taata joko turvaamalla perustuotannon kotimaisuusaste tai tukemalla ulkomaisten resurssien paikallista jatkojalostusta, panostamalla kierrätykseen (ml. uusiokäyttö) ja/tai sitouttamalla valtioita yhteistyön jatkuvuuteen myös kriisin aikana.

Murrokselliset teknologiat tulevat tulevaisuudessakin syrjäyttämään kriittisiä ja synnyttämään uusia resursseja, mutta teknologia-aloja yhdistävä piirre on osaavan työvoiman kriittisyys. Erityisesti raportissakin korostuvien digitaaliteknologioiden tapauksessa osaava työvoima on usein resursseista kriittisin, ja siitä kilpaillaankin paitsi palkoin ja työsuhde-eduin myös kilpailukieltosopimuksin ja tekijänoikeussuojan avulla. Valtioiden välillä kilpailun välineinä ovat muun muassa ulkomaisten opiskelijoiden ja tutkijoiden houkuttelu, kansainvälisen palkkauksen ja maahanmuuttolainsäädännön helpotukset, maabrändin rakentaminen ja yritysten markkinoinnin tukeminen osana vienninedistämistointia. Valtioilla onkin hyvin suuri rooli yritystensä osaamisresurssin turvaamisessa.

43 Gants 2015, 80.

44 Ibid., 93.

45 Ibid., 91.

1/2

2. TEKNOLOGINEN INNOVAATIO JA MURROSPROSESSIN SYNTY

Murroksellisilla teknologioilla tarkoitetaan teknologioita, joiden piiristä ennakoidaan syntyvän laajoja yhteiskunnallisia, taloudellisia tai jopa kansainvälispoliittisia muutoksia aikaansaavia innovaatioita.

Murrosten alku on siis yksittäisissä innovaatioissa, joiden seurauksena syntyy tuote⁴⁶, joka kykenee kilpailemaan jonkin sellaisen suorituskyky-parametrin tai kilpailutekijän⁴⁷ avulla, jota markkinoilla ei aikaisemmin arvostettu.⁴⁸ Tämä on oleellista, koska uuden parametrin nousu selittää sen, miksi hyviä johtamiskäytäntöjä noudattavat ja asiakkaidensa tarpeita seuraavat yrityksetkään eivät yleensä kykene ennakoimaan tai tuottamaan niitä itse.⁴⁹ Samalla näin syntyvä tuote tyypillisesti luo uuden markkinan⁵⁰, koska kilpailu vakiintuneen tuotteen kanssa tapahtuu epäsymmetrisesti.

Murroksellisten teknologioiden käsitteen alkuperä

Vuonna 1997 Clayton Christensenin julkaiseman teoksen *The Innovator's Dilemma* menestys popularisoi murroksellisten teknologioiden käsitteen niin laajalti, että häntä pidetään edelleen konseptin keksijänä. Rebecka Henderson ja Clark Kim olivat kuitenkin kirjoittaneet samasta aiheesta hieman eri termein jo vuonna 1990. Lisäksi *The Innovator's Dilemma* pohjaa vuonna 1995 julkaistun artikkelin ”Disruptive Technologies: Catching the Wave”, jossa termi murrokselliset teknologiat esiintyi ensimmäisen kerran, ja jonka Christensen kirjoitti yhdessä kollegansa Joseph Bowerin kanssa.

46 Tuote voi olla esimerkiksi laite, palvelu, palvelumuotoilu, hallintomalli tai teknologinen infrastruktuuri.

47 Esimerkiksi hinta, koko, maku, laskentateho, kuljetettavuus, yhteiskäytettävyys, helppokäyttöisyys, ja niin edelleen.

48 Gans 2016.

49 Christensen [1997] 2016.

50 Christensen & Bower 1995.

Koska murrokselliset teknologiat määritelmän mukaisesti kilpailevat uudella parametrilla, ei kyseiselle sorituskykyparannukselle syntyvää kysyntää ole mahdollista ennustaa esimerkiksi kuuntelemalla vakiintuneen tuotteen asiakkaita. Mikäli uudelle suorituskyvyille olisi ollut kysyntää vakiintuneiden asiakkaiden piirissä, olisi sen pohjalle rakentuvalla kilpailulla jo olemassa markkinat. Tästä johtuen hieman paradoksaalisesti hyvien johtamismenetelmien seuraaminen voi jopa pahentaa murrosvaikutuksia. Esimerkiksi keskusyksikköjätti IBM menetti 1960- ja 70-luvun taitteessa markkina- asemansa Digital Equipmentin valmistamille teknologisesti verrattain yksinkertaisille pientietokoneille, jotka vuorostaan menettivät johtavan markkina- asemansa suorituskyvyiltään entistä heikommille Applen mikrotietokoneille. Selitys sille, miksi uusi yritys nousi johtavan asemaan sen sijaan, että vanha johtaja olisi siirtynyt uudelle markkinalle, on mahdollista tiivistää kahteen tekijään: ylikeskittyneisyydestä vanhojen asiakkaiden tarpeisiin ja kyvyttömyyteen nähdä uuden asiakaskunnan synty.⁵¹ Uudet asiakkaat eivät yksinkertaisesti tarvitse isompien ja kalliimpien laitteiden suorituskykyä, samalla kun sovellusten kehitys mahdollisti tietokoneiden käytön yhä pienemällä osaamispanostuksella.

Innovaatioita, jotka parantavat jo olemassa olevaa ja arvostettua suorituskykyparametriä, kutsutaan ylläpitäviksi innovaatioiksi (*sustaining innovation*).⁵² Useimmiten niitä voi ajatella vanhojen tuotteiden päivitettyinä versioina. Esimerkiksi varhaisten älypuhelimien (Nokia, BlackBerry ja Motorola) markkinat kasvoivat tasaisen hitaasti uusien ylläpitävien versioiden myötä, kunnes Apple toi markkinoille laitteen, joka kilpaili kuvien- ja videonkatseluparametrin avulla. Tarkemmin sanottuna uusi kilpailu mahdollistui Applen älypuheliin lanseeraaman uuden teknologian, kosketusnäytön, avulla. Näyttö osoittautui murrokselliseksi siitäkin huolimatta, että varhaisten kosketusnäyttöjen toimintavarmuus ja käyttömukavuus oli varsin heikko ja hinta markkinoiden keskitasoa korkeampi.⁵³

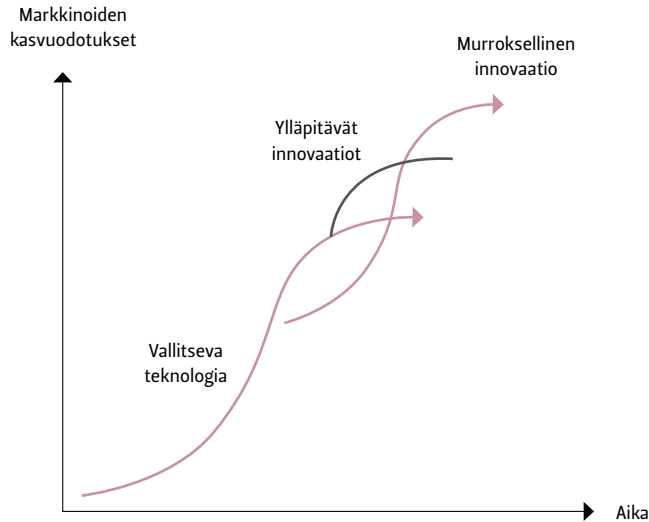
Kuten edellä mainittu esimerkki osoittaa, ei siis ole välttämätöntä, että murroksellinen tuote aloittaa kilpailun alhaisen arvoasteen markkinoilta. Kyseessä on kuitenkin harvinainen poikkeus, sillä murroksellisille tuotteille on yleensä tarjolla huomattavan pienet ja siksi tuotto-odotuksiltaan verrattain pienet markkinat. Tästä johtuen nousevien kilpailijoiden haastaminen tietyllä sektorilla ei vaikuta kannattavalta.⁵⁴ Toisin

51 Ibid. 43.

52 Teknologiat, jotka eivät paranna mitään parametriä, taas ovat yhdentekeviä.

53 Gans 2016, 41–45.

54 Christensen [1997] 2016, 47.



Kuva 3. Erityyppisten innovaatioiden vaikutus vallitsevan teknologian markkinoille

sanoen, markkinoilla jo olevien ja niitä hallitsevien yritysten ongelma on, että investoiminen varmalta vaikuttavaan markkinaan näyttäytyy taloudellisesti järkevänä. Merkittävän markkinatoimijan ei siis yleensä kannata ottaa tuntemattomaan hyppäämisen riskiä, vaan panostaa siihen, mikä on kerran toimivaksi havaittu. Nousevilla yrityksillä taas ei usein ole muuta vaihtoehtoa kuin panostaa riskisijoituksiin ja (teknologisiin) innovaatioihin.

Kuvassa 3 havainnollistetaan ylläpitävien ja murroksellisten innovaatioiden markkinoiden kasvuodotuksia suhteessa vallitsevan teknologian markkinoihin (eli vallitsevalla suorituskykyparametrilla kilpaileviin markkinoihin). Uuden tuotteen markkinoiden kasvu on aluksi tyypillisesti hidasta, koska tuotteen komponenttien tuottajilla kestää aikaa löytää markkinat ja skaalata tuotantoaan, ja koska myös tuotteen tunnettavuudella on suuri merkitys. Kun alun haasteet on ylitetty, suosituksi osoittautuvan tuotteen markkinoiden kasvu on tyypillisesti erittäin nopeaa, kunnes se alkaa hidastua markkinasaturaation seurauksena, kun useimmilla tuotteen haluavilla ja/tai tarvitsevilla on se jo käytössä. Tätä dynamiikkaa havainnollistaa kuvassa näkyvä S-käyrä. Koska ylläpitävät innovaatiot puolestaan rakentavat olemassa olevan markkinan varaan, niille ei tyypillisesti synny S-käyrän kuvaamaa kasvua. Tästä syystä myös niiden kasvuodotukset ovat helpommin ennakoitavissa, eikä niiden suosio aiheuta murrosvaikutuksia.

Esitetyllä tavalla määriteltynä murroksellisten innovaatioiden aiheuttama teknologiatarpeen muutos ilmenee markkinasiirtymänä eli asiakkaiden siirtymänä uuden tuotantoketjun osiksi.⁵⁵ Kyse ei siis ole kuitenkaan pelkistä loppukäyttäjäasiakkaista, vaan murrokselliseksi osoittautuneen tuotteen koko tuotantoketjun asiakkuuksista. Aiheutuvan asiakkasiirtymän kumulatiivisia vaikutuksia kutsutaan murrosvaikutuksiksi ja niiden vaikuttavuus on suoraan johdannainen kolmesta tekijästä: 1) syrjäytetyn ja syntyneen tuotteen käyttäjien määrästä, 2) murrosvaikutuksia kohtaavien yritysten palveluista ja tuotteista riippuvaisten käyttäjien määrästä, sekä 3) syrjäytetyn ja syntyneen tuotteen korvattavuudesta eli siitä, kuinka paljon kerrannaishaittoja saatavuuskatkoksista syntyy. Toisin sanoen, murrosvaikutuksissa on kyse tuotantoketjujen siirtymästä aiheutuvista väliaikaisista epäoptimalisuuksista.

Esimerkiksi siirtymä kosketusnäyttöisiin älypuhelimiin ilmeni Nokialle kilpailuaseman menetyksenä ja kyvyttömyytenä siirtyä kilpailukykyisesti tuottamaan arkkitehtonisesti uudenlaista tuotetta. Kansallisella tasolla oli varauduttava ja sopeuduttava muun muassa tiedonsiirtokapasiteetin tarpeen lisääntymiseen, joka oli seurausta uuden näyttötekniikan mahdollistamien videoiden, ja kuvatiedostojen suosion kasvusta, ja edelleen siitä seuranneeseen 3G-verkon suosion romahdukseen 4G-verkon kustannuksella. Tämän seurauksena puolestaan syntyi tarve huomioida muun muassa tiedon etsimisen merkittävä nopeutuminen; sosiaalisen median suosion voimakas kasvu, mukaan lukien valtiollisen viestinnän ulottaminen sosiaaliseen mediaan; sekä valtionjohdon ja toimihenkilöiden käyttämän uudenlaisen viestinnän turvaaminen ja tehostaminen.

Huomionarvoista on, että varautuminen edellä mainittuihin epäoptimalisuuksiin eroaa oleellisella tavalla varautumisesta esimerkiksi luonnonkatastrofien aiheuttamiin vahinkoihin. Erona on se, että vanhaan palaamisen vaihtoehtoa ei ole, sillä markkinaehtoisien toiminnan edellytykset ovat muuttuneet. Ainoat vaihtoehdot ovat 1) vanhan järjestelmän omakustanteinen ylläpitäminen tai 2) siirtyminen käyttämään sellaisia tuotteita, joita tuotantoketjut siirtyvät tuottamaan. Toisin sanoen muuttuneeseen markkinatoimintoympäristöön on sopeuduttava. Kuten luvussa 1.2. esitettiin, myös liian nopeassa siirtymässä on kuitenkin omat ongelmansa.

Yleisemmin ottaen murrossiirtymän kerrannaisvaikutukset voivat olla kansallisella ja kansainväliselläkin tasolla merkittäviä ja näkyä esimerkiksi työpaikkojen siirtymänä syrjäseuduilta kaupunkeihin, uudelleen koulutustarpeena, osin edellä mainittujen vastustamisesta seuraavana massatyöttömyytenä sekä julkishallinnollisten instituutioiden vanhenemisena eli

55 Christensen & Bower 1995.

sellaisten tehtävien suorittamisena, joita ei enää tarvitsisi suorittaa.⁵⁶ Tämän kaltaisia yhteiskunnallisia kehityskuluja voi kuitenkin aiheutua muistakin syistä kuin murroksellisista innovaatioista kumuloituen, eikä niiden ennakoiminen teknologisten murrosvaikutusten tasoa seuraamalla ole tehokasta. Teknologisen kehityksen fasilitoimia trendejä tuleekin kyetä tunnistamaan ja kehityskulkujen vaikutuksiin varautumaan vaikutusten akkumulaation eri tasoilla (luvut 3,4, ja 5).

Tuotantoketjujen epäoptimaalisuudet ovat kuitenkin väliaikaisia vain valtioiden ja siirtymään kykenevien yritysten tapauksissa; siirtymään kykenemättömille yrityksille ne ovat lopullisia. Esimerkiksi videovuokrausalaan pitkään dominoinut Blockbuster ajautui konkurssiin vuonna 2010, kun kaksi peräkkäistä murroksellista innovaatiota – jäsenmaksuun perustuva palvelumalli ja suoratoisto – nostivat nämä innovaatiot varhain omaksuneen Netflixin markkinoiden huipulle. Samalla videovuokrausmarkkina lähes katosi maailmasta ja suoratoistomarkkinoista kehkeytyi miljardibisnes.⁵⁷

2.1. MURROSVAIKUTUSTEN ETENEMISEN TAVAT

Kun murroksellinen (teknologinen) tuote on ilmestynyt markkinoille, alkaa se keräämään asiakkuuksia koko tuotantoketjulle. Usein komponenttien tuottajat, jotka toimivat suosiotaan menettävän vallitsevan teknologian markkinoilla, eivät kykene siirtymään tuottamaan uuden markkinoiden vaativia tuotteita, vaan ajautuvat taloudellisiin vaikeuksiin samalla kun uudet yritykset kasvavat. Joskus osa komponenteista saattaa soveltua molemmille markkinoille, minkä seurauksena yritysten kysyntä kasvaa ja syntyy paine kapasiteetin kasvattamiselle. Tilanteiden yksilöllisyydestä johtuen murrosvaikutukset voivat edetä usealla ennakoimiseen vaikuttavalla tavalla, joista tässä luvussa esitellään viisi keskeistä. Ne ovat: 1) murroksen eteneminen yhden markkinan sisällä, 2) murroksen edelleen eteneminen markkinalta toiselle, 3) murroksen eteneminen toimittajien kautta, ja 4) murroksen eteneminen kertarysäyksellä innovaation arkkitehtonisesta luonteesta johtuen. Lisäksi pullonkaulat voivat padota murrosprosesseja.

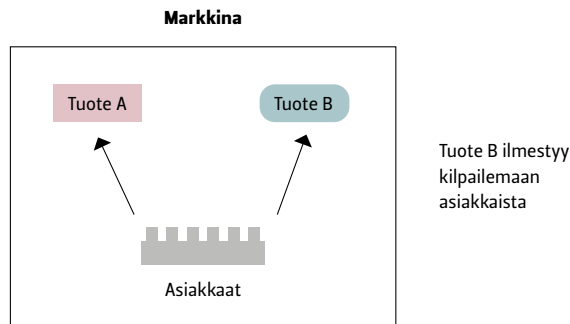
Murroksen eteneminen yhden markkinan sisällä

Tilanne, jossa teknologinen innovaatio synnyttää uudenlaisen tuotteen, joka kuitenkin tyydyttää saman tarpeen kuin vanha tuote, saattaa johtaa

⁵⁶ Ks. Beck [1986] 1992.

⁵⁷ Huomionarvoisesti jo Netflixin tulo markkinoille postimyyntifirmaana tuotti Blockbusterille merkittäviä vaikeuksia. Christensen et al. 2012, 114–116. Ks. myös Gans 2016, 26–30.

merkittävän asiakassegmentin siirtymään uuden tuotteen asiakkaiksi vanhan kustannuksella. Mikäli näin käy, koska kyseessä on uudenlainen tuote, pitää sen koko tuotantoketjun reagoida kasvaneeseen kysyntään, kun vastaavasti vanhan tuotteen tuotantoketju joutuu sopeutumaan heikentyneeseen kysyntään. Mikäli kyseessä olisi samankaltainen laite (eli ylläpitävä innovaatio) olisi tuotantoketjuissa paljon potentiaalista päällekkäisyyttä ja murrosvaikutukset siksi pienempiä. Esimerkiksi suoratoistopalvelut ovat vähentäneet television katselua ja videovuokraamojen kysyntää. Toinen hyvä esimerkki on Uberin, Lyftin, Didin ja vastaavan kaltaisten alustapalvelujen vaikutus henkilösiirtomarkkinoihin, joissa on maailmanlaajuisesti nähty perinteisten, usein puhelinoitolla tilattavien taksipalvelujen merkittävä suosionlasku. Molemmissa tapauksissa uusia kilpailuparametreja ovat valintavaihtoehdot ja hankinnan helppous.⁵⁸



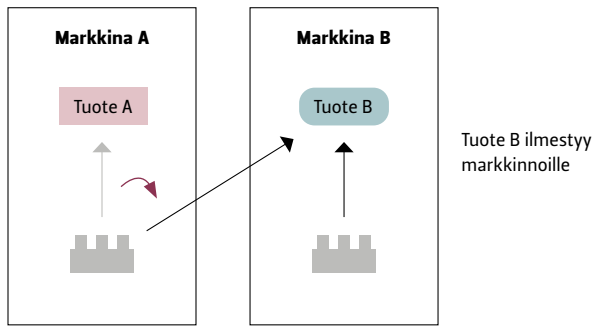
Kuva 4. Murroksen aiheuttama kilpailutilanne markkinan sisällä

Murroksen edelleen eteneminen markkinalta toiselle

Murros voi edetä myös siten, että uusi teknologia tarjoaa kilpailukykyistä palvelua, joka kykenee sivutuotteenaan tyydyttämään myös tarpeen, johon aiemmin vastattiin erillisellä tuotteella toisen markkinan piirissä. Esimerkiksi mp3-soittimien kuluttajilla tuskin oli erityistä tarvetta mp3-soittimelle, jolla kykeni myös soittamaan puheluita, mutta kun molemmat tarpeet tyydyttävä muista syistä vetovoimainen tuote – älypuhelin – ilmestyi markkinoille, katosi perinteisiltä puhelimilta ja mp3-soittimilta kysyntä verrattain nopeasti. Huomionarvoisesti näin kävi myös Applen iPodille, mikä ilmeisesti myös tiedostettiin Applen johdon piirissä kehityksen hintana.⁵⁹

⁵⁸ Mikäli minkään markkinan koko ei pienee, ei kyseessä kuitenkaan ole murroksellinen innovaatio.

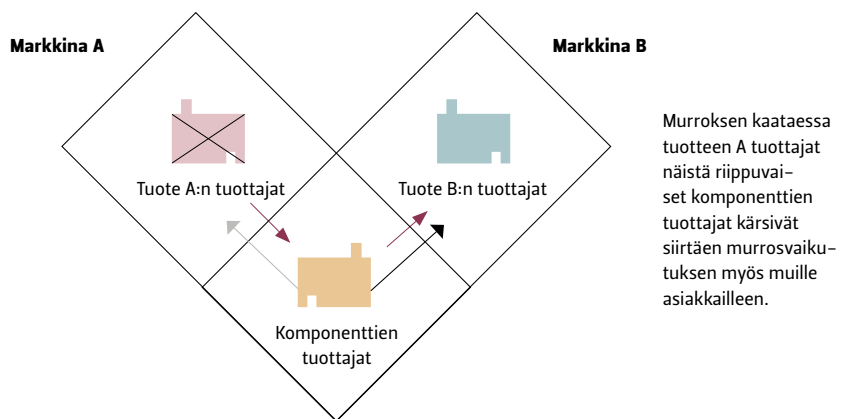
⁵⁹ Gans 2016, 129–134.



Kuva 5. Murroksen eteneminen asiakkasiirtymän myötä markkinalta toiselle

Murroksen eteneminen toimittajien kautta

Murros voi myös edetä, kun sama tai samat yritykset ovat tuottaneet tiettyjä komponentteja tai tiettyä palvelua eri markkinoilla olevien tuotteiden A ja B valmistajille, mutta eivät kykene tulemaan toimeen pelkästään tuotteen B valmistajien tilauksilla. Tässä tilanteessa myös tuotteen B valmistajat voivat tuottajan A kaatuessa kohdata murrosvaikutuksia vaikkei tuottajan A kaatanut uusi tuote heidän asiakassegmenttiään siirtäisikään. Esimerkiksi generatiivisten koneoppimismallien suosio on johtanut grafiikkapiirien (GPU) hinnan nousuun, mikä on puolestaan vaikuttanut pelaajien kykyyn päivittää järjestelmiään, mikä on puolestaan vaikeuttanut grafiikkavaatimuksiltaan korkeiden pelien markkinoihin.



Kuva 6. Murroksen eteneminen komponenttituottajien kautta markkinalta toiselle

*Murroksen eteneminen kertarysäyksellä
innovaation arkkitehtonisesta luonteesta johtuen*

Arkkitehtonisilla innovaatioilla viitataan keksintöihin, joissa muutos on seurausta komponenttien järjestelemisen tai yhteensovittamisen tavasta erotuksena innovaatioista, jotka ovat seurausta uusista komponenteista.⁶⁰ Esimerkiksi tablettitietokone oli arkkitehtoninen innovaatio, koska se yhdisti tietokoneen ja älypuhelimien komponentteja uudella tavalla, muttei sinänsä perustunut uusille komponenteille.

Koska uusia komponentteja ei tarvita, ei niille myöskään tarvitse syntyä tuotantoketjuja, mikä usein nopeuttaa murrosvaikutusten syntymistä merkittävästi. Toisaalta tämä voi myös jättää murrosvaikutukset hyvin vähäisiksi, kuten tablettitietokoneiden tapauksessa kävi. Samasta syystä johtuen arkkitehtoniset innovaatiot ovat erityisen vaikeasti ennakoitavissa, mikä myöskin näkyi tablettitietokoneiden yllättävänä ilmentymisenä markkinoille vuonna 1989.⁶¹

Luonteenomaisesti arkkitehtoniset innovaatiot ovat huomattavan vaikeasti kopioitavissa. Tämä johtuu siitä, että usein yrityksissä tuotteiden kehittäjät on käytännön hallinnollisista syistä johtuen jaettu omiin tuote- tai komponenttikeskeisiin tiimeihinsä, joissa tiimienvälinen kommunikaatio on rajallista ja joissa hyvin harva, jos kukaan, ymmärtää lopputuotteen teknologisen kokonaisuuden juurta jaksaen. Arkkitehtonisen innovaation toimeenpaneminen kuitenkin edellyttää toimintatavan muutoksen kommunikoimista kaikille tai lähes kaikille tuotekehittelytiimeille samalla, kun tiimien työskentelyä ja interaktiota ohjaava organisaatorakenne on uudistettava tavalla, joka uhkaa ihmisten työpaikkoja ja arvoasemia.

Tämä on merkittävää, koska silloin kun arkkitehtoniset innovaatiot aiheuttavat merkittäviä murrosvaikutuksia, on murrossiirtymä tyypillisesti poikkeuksellisen hidas ja kivulias prosessi. Tästä hyvänä esimerkkinä on edellä mainittu Applen kosketusnäyttöisen älypuhelimien tulo markkinoille.

On hyvä huomata, että jo käytössä ollut alusta tai dominoiva arkkitehtuuri (*dominant design*)⁶² ei ole uuden suosionkasvun myötä murroksellinen riippumatta siitä kuinka merkittävästä suosionkasvusta on kyse. Esimerkiksi auto ei ollut murroksellinen teknologia, koska aluksi sen markkinat olivat hyvin pienet ja hevos pohjaiset siirtymisratkaisut dominoivat vuosikymmenien ajan auton keksimisen jälkeenkin. Henry Fordin kehittämä massatuotannon mahdollistama tuotantolinjan optimointimalli,

60 Henderson & Clark 1990.

61 Ensimmäinen tablettitietokone oli Microsoftin GRIDPad 1900.

62 Utterback & Abernathy 1975.

jossa työntekijät työstivät yhteensovittamisen mahdollistamiseksi standardisoituja yksittäisiä komponentteja ja työvaiheita sen sijaan oli murroksellinen teknologia (joka lopulta kasvoi myös yleiskäyttöteknologiaksi) ja johti paitsi autokannan räjähdysmäiseen kasvuun myös vastaavien tuotantolinjojen leviämisen.

2.2. MURROKSET JA NIIDEN PULLONKAULAT

Murroksellisen innovaation myötä syntyneen tuotteen valmistusta tai suosionkasvua on voinut pidätellä pullonkaula, jonka äkillinen purkautuminen aiheuttaa murrosvaikutusten hyvin nopean ja voimakkaan etenemisen. Tällainen pullonkaula voi olla esimerkiksi tuotantotekninen (skaalautuvuus- tai massatuotantokyvykkyyden puute), tiedollinen (tarvitaan toinen innovaatio, jotta tuote pääsee täyteen potentiaaliinsa), lakitekkinen (voimassaoleva säädös tai sen tulkinta), offensiivinen (kilpailija voi pyrkiä hidastamaan murroksen leviämistä esimerkiksi ostoilla, lakisyötöksillä tai lobbaamalla), tai ne voivat liittyä yleiseen saavutettavuuteen, jolloin kyseessä on jokin ulkopuolinen käytön leviämisen estävä puute. Esimerkiksi suolamarkkinat lopulta murttanut kotikokoinen jääkaappi levisi vasta kotitalouksien sähköistymisen myötä. Sähköverkon kattavuuden puutos siis toimi murrosvaikutuksia viivästyttävänä (muttei lievittävä) pullonkaulana.

Pullonkaulojen vaikuttavuus ei myöskään vaadi täyttä tukkeumaa, vaan kyseessä voi olla myös markkinoiden vetävyuden ja teknologisen kehityksen välinen epäsuhta.⁶³ Esimerkiksi puhelimen leviäminen oli aluksi hidasta, koska omistaminen ei ollut mielekästä ennen kuin muillakin oli puhelin. Kun yhä useammalla oli puhelin käytössään, ei ilman jääminen ollut mielekästä.

Pullonkauloja voidaan synnyttää myös poliittisin keinoin joko offensiivisia tarkoituksia varten tai kotimaisten yritysten edun varjelemiseksi, kuten esimerkiksi Yhdysvallat on tehnyt *Inflation Reduction Act* -lainsäädännöllä, joka tukee kotimaan autoteollisuutta.⁶⁴ Tarkoituksenhakuinen pullonkaulojen luominen voi tapahtua myös yritysten omien intressien vuoksi. Esimerkiksi puolijohteita valmistava taiwanilainen TSMC on onnistunut pitämään huippupienten transistorivälien mikroprosessorien valmistustekniikan omana tietonaan estämällä tavoitteellisesti osaamisen leviämistä. Tässä tapauksessa kyse on tosin sarjasta ylläpitäviä eikä siis murroksellisia innovaatioita.

63 Christensen [1997] 2016, 226.

64 117th Congress 2022b.

Myös sosiokulttuuriset muutospainet voivat toimia pullonkauloina, mikä näkyy esimerkiksi tuotteen käytön yleistymisen vastustamisena myös sellaisten henkilöiden toimesta, jotka hyötyvät tuotteen leviämisestä. Esimerkiksi lukutaidon yleistyminen 1800-luvulla johti kirjailijoiden ja näytelmäkirjoittajien suosion nousuun. Tuoreeltaan suosioon nousseet näyttelijät, kirjailijat ja käsikirjoittajat protestoivat elokuva-kameroiden ja radion tuloa tarinankerrontamarkkinoille uskoen alan ajautuvan ahdinkoon. Vastaava ilmiö toistui television tullessa markkinoille, mutta jälleen kulttuurintuottajien arvostus ja suhteellinen varakkuus sekä alan työpaikkojen määrä yksinomaan kasvoi. Näin kävi myös suoratoistopalvelujen ja sosiaalisen median myötä. Vastaavasti tällä hetkellä oppivien algoritmien hyödyntäminen kirjoituksen ja kieliasukorjauksen, kuvataiteen ja äänitaiteen aloilla aiheuttaa laaja-alaista vastustusta.⁶⁵

Toisaalta kulttuuriset odotukset voivat toimia pullonkauloina suoraan kuluttajamarkkinoihin vaikuttamalla. Esimerkiksi 1980-luvun Yhdysvalloissa VHS- ja Betamax-kasettien välinen kamppailu kääntyi VHS:n eduksi, koska usko sen suurempaan leviämispotentiaaliin levisi kuluttajien keskuudessa⁶⁶ muodostuen lopulta itsensä toteuttavaksi ennustukseksi.⁶⁷

Yksi hyvä keino rakentaa mikrotason ennakointia on pyrkiä tunnistamaan pullonkauloja, mikä vaikuttaa tutkimusaineiston perusteella lupavimmalta kehityskohteelta. Jo yhden näennäisen tuntemattomankin komponentin valmistaminen voi tuottaa määrävän markkina-aseman, mikäli yritysasiakkaat ovat siitä riippuvaisia. Edellä mainitun kaltainen pullonkaulatilanne voi syntyä teknologian ainutlaatuisuuden johdosta tai alhaisten voittomarginaalien johdosta. Esimerkiksi hintakilpailukykyänsä ansiosta Neuvostoliiton rakentamat ammoniakkin erottelulaitokset dominoivat halvoilla hinnoillaan ammoniakkimarkkinoita, kunnes Venäjän hyökkäyssota Ukrainaan muutti tilanteen. Vastaavien pullonkaulojen seuraaminen on harvan yrityksen intresseissä, mikä korostaa kansallisen seurannan tarvetta.

Huomionarvoista on, että vaikka murroksellisilla teknologioilla on määritelmällisesti oltava merkittävä potentiaali kasvattaa markkinaosuutta, näin ei ole välttämätöntä tapahtua. Valtavan hyödyllisenkin murroksellinen tuote voi jäädä marginaaliseksi joko väliaikaisesti tai lopullisesti, jos pullonkaulat tai muut edellä käsitellyt syyt estävät sen yleistymisen. Tämän huomioiminen on varautumisen kannalta keskeistä, koska se muistuttaa ylireagoinnin riskistä. Tästä huolimatta markkina-aseman

65 The Economist 9.11.2023.

66 Park 2004.

67 Tverskoi et al. 2022.

määrävyys indikoi sitä, minne huomio kannattaa keskittää, koska murroksen vaikutukset ja niitä vastaan varautuminen vaikuttavat hyvin erilaisilta organisaation koosta riippuen. Pienelläkin yrityksellä voi olla hallitseva markkina-asema pienempään rooliin jääneen teknologian piirissä. Vastaavasti näennäisen vähämerkityksellisellä teknologialla voi olla hallitseva asema yksittäisissä tuotantoketjuissa.

Pullonkaulojen seuraamisen lisäksi varautumistoimijat voivat rakentaa kanavia, joilla keskeisten yritysten teknologia-asiantuntijat tulevat kuuluisiksi. Suositus löytyy jo Christensenin ja Bowerin termin lanseeranneesta artikkelista, jossa he suosittelevat yritysjohtajia konsultoimaan teknologistejaan yli markkina-asiantuntijoiden.⁶⁸ Huoltovarmuustoiminnan kannalta suositusta voidaan toteuttaa sekä kannustamalla yrityksiä toimimaan suosituksen mukaisesti, että aggregoimalla asiantuntija-arvioita yli sektorirajojen. Konkreettisempi ehdotusmuotoilu esitellään luvussa 6.4., joka yhdistyy myös osaamisen saatavuuden varmistamiseen. Tätä ennen on kuitenkin syytä tarkastella tutkimushankkeen aikana esiin nousseita teknologisia trendejä.

68 Christensen & Bower 1995, 49–50.

/ 3

3. TEKNOLOGISET TRENDIT

Kansallisen varautumistoiminnan näkökulmasta lähitulevaisuuden murroksia aiheuttavat todennäköisesti innovaatiot teknologia-aloilla⁶⁹, joiden kehitys on viimevuosina ollut nopeaa.⁷⁰ Modernit teknologiat ovat pääsääntöisesti kaksikäyttöisiä, minkä vuoksi niillä tulee olemaan vaikutuksia yleiseen kansalliseen huoltovarmuuteen poikkeusolojen eri vakavuusasteilla. Analysoimalla teknologioiden roolia teknologisen työn ja tuotannon tehostamisessa, teknologiset trendit voidaan jakaa kansallisen kokonaishallinnan (*tech stack*) kannalta yläkategorioihin, jotka helpottavat omaksumista ja ennakoimista. Yläkategorioita ovat osaamistyöhön liittyvä lisääntyvä automaatio, laitteiden etäkäyttöön ja hajautettuun hallintaan sekä järjestelmähallintaan liittyvät ratkaisut, uusiin materiaaleihin ja materiaalien luomiseen liittyvät mahdollisuudet, arvonsiirtoon liittyvät finanssiteknologiset ratkaisut. Monet seuraavaksi käsiteltävistä teknologioista ja teknologisista ratkaisuista sopivat usean edellä mainitun yläkategorian alle, eikä listausta ole tarkoitettu kaikenkattavaksi.

Osaamistyön automatisaatio kokoaa alleen teknologioita, joiden avulla osaamista ja luovuutta vaativaa työtä ja työvaiheita tehostetaan uuden automatisaation avulla. Etäkäyttö ja hajautettu hallinta puolestaan mahdollistaa työn tehostamisen vähentämällä suorituspaikalle siirtymisen tarvetta ja hallintaresursseja keskittämällä. Järjestelmähallinta-kategorian

69 Todellisuudessa kyse on usein tekniikanaloista, mutta yksinkertaistuksen nimissä sana tekniikka on tässä raportissa systemaattisesti korvattu sanalla teknologia.

70 Kyseessä on siis kirjoittajan arvio merkittävästä innovaatioiden kehkeytymisnopeudesta ja markkinarajat ylittävän interaktion merkityksestä. Vastaavanlaisista luokittelusta käytetään joskus englanninkielistä ilmaisua "key enabling technologies", mutta se, mitä teknologiat mahdollistavat, jätetään usein avoimeksi. Esimerkiksi Euroopan parlamentaarisen tutkimuspalvelun aihetta käsittelevässä raportissa termiä ei määritellä lainkaan. European Parliamentary Research Service's Scientific Foresight Unit 2021.

teknologiat niin ikään mahdollistavat hallintaresurssien keskittämistä mahdollistamalla suurempien muuttujamäärien käsittelyn⁷¹ tai käsittelyn turvallisuuden. Materiaaliset mahdollisuudet -kategoria taas kokoaa alleen teknologioita, joiden avulla materiasta riippuvaisia suorituskykyjä parannetaan ja uusia mahdollisuuksia luodaan. Finanssiteknologiat -kategoria kuvastaa arvonsiirron ja resurssien fasilitoinnin uusia tapoja.

On myös syytä muistaa, että vaikka raportin tulevaisuusfokus voi antaa ymmärtää muuta, on teknologinen kehitys usein yllättävän hidas prosessi. Asiat eivät etene lineaarisesti vaan yksittäiset komponentit, pullonkaulat, tai ympäristötekijät voivat viivyttää lähes kypsiltä vaikuttavien innovaatioiden tuotteistumista vuosilla tai jopa vuosikymmenillä. Sama pätee joskus myös jo valmiin tuotteen halventumiseen ja/tai pienentymiseen massakulutuksen vaatimalle tasolle. Usein myös massatuotantoon siirtyminen vaatii kokonaan uusia innovaatioita yksittäisten tuotteiden valmistamiseen verrattuna. Näistä tekijöistä voi myös seurata vuosien tai vuosikymmenien viivästyksiä, mikä antaa aikaa varautumiselle.

3.1. OSAAMISTYÖN AUTOMATISAATIO

Osaamistyön automatisaatiolla (*automation of creative labour*) tarkoitetaan teknologioita, jotka mahdollistavat luovan ja osaamisintensiivisen työn tehostamisen automaation avulla. Sen ytimessä on datamassojen käyttöönotto, mutta myös datamassojen kohdennettu tuottaminen erilaisten teknologisten järjestelmien ja toimintamallien avulla. Osaamistyön automatisaation voi nähdä vielä olevan kehittymiskaarensa alkuvaiheessa, jossa korostuu tuotannon tehostuminen osana yleisempää tietotaloussiirtymää.

Tieto, niin datana kuin osaamisenakin, on kasvavissa määrin teknologisen kehityksen ja vaurauden luomisen ytimessä. Siten data, sen tuotanto, siirto, käsittely, ja hyödyntäminen, on keskeisessä roolissa myös kehkeytyvien murroksellisten teknologioiden kehittämisessä, käyttämisessä ja murrosvaikutusten leviämisessä. Kuitenkin arviolta vain 32 prosenttia nykykeinoin saatavilla olevasta datasta on otettu käyttöön⁷², mikä kertoo valtavasta kasvupotentiaalista. Lähitulevaisuudessa yhä useammat laitteet ja järjestelmät tulevat digitalisoitumaan ja kerryttämään dataa erilaisille analyysi- ja jatkojalostusjärjestelmille valtavia tehokkuushyötyjä tuottaen, mutta myös yhteiskuntien ja järjestelmien digitaalista haavoittuvaisuutta kasvattaen.

71 Erityisesti Big data -analytiikka ja tekoäly kuuluvat myös tämän kategorian alle.

72 Seagate 2020.

Teollinen vallankumous tehosti tuotantoa huomattavasti noin 1770-luvulta alkaen. Seuraava tuotannon tehostumisen aalto alkoi 1820-luvulla höyrykoneiden ja erityisesti niiden mahdollistamien rauteiden yleistymisen myötä. Noin vuodesta 1875 eteenpäin terästeollisuuden kehittymistä seurannut mekaaninen automaatio ja tehokkuutta lisäävä uusi infrastruktuuri nostivat omaksujensa tuotantotehokkuutta. 1900-luvun alussa öljypohjainen teollisuus mullisti kuljetustehokkuuden lisäksi useita maataloustuotannon ja kemianteknologian aloja samalla kun massatuotannon hallintomallit levisivät ympäri maailman. 1970-luvulla digitaaliavusteinen automaatio alkoi tehostamaan tuotantoa samalla kun digitaalitekologiaan pohjaava internet mahdollisti ennennäkemättömän tiedon ja osaamisen leviämisen.⁷³ Tämän noin 50-vuotisen tuotannon-tehostumissyklin jatkuessa teoria on, että nyt olisi alkamassa osaamisen automatisaation valta-aika, siirtymä small datasta big dataan.

Oli miten oli, osaamistyön automatisaatio on merkittävä kategoria myös siitä syystä, että monet aikamme merkittävistä murroksellisista teknologioista nojaavat datamassojen käyttöönottoon ja hyödyntämiseen. Perustellusti voi myös ennakoita, että erityisesti suurten datamassojen käyttöönottokyvyykkydellä kilpailu tulee lähivuosina edelleen koventumaan ja kehitys kiihtymään. Usein juuri suuret datamassat mahdollistavat luovan työn tehostamiseen vaadittavat ohjelmistot.

Big data -analytiikka

Big data -analytiikan (BDA) voidaan yleisellä tasolla todeta olevan laajojen datamassojen analysoimista tavalla, joka olisi ilman pitkälle edistynyttä automatisaatiota käytännössä mahdotonta. Tavoitteena on erottaa korrelaatioita, kaavamaisuuksia, poikkeamia ja yllättäviä synergioita valtavista datamassoista. Datan käsittelyssä on siis nojattava sellaisiin ohjelmistoihin, jotka käytännössä säilyvät mustina laatikkoina eli joiden toimintaa ihminen ei kykene reaalitasolla seuraamaan.

Yksi vakiintunut tapa jäsenellä Big data -analytiikkaa on lähes tyä käsitettä viiden englanninkielisen V:n avulla. Tässä määritelmässä korostuvat datan ja sen prosessoinnin määrä (*volume*), monipuolisuus (*variety*), nopeus (*velocity*), arvo (*value*) ja paikkansapitävyys (*veracity*). Satojen miljardien yhteen kytkettyjen laitteiden tuottama datamäärä ja koko ajan nopeutuva datansiirto ovat tehneet Big data -analytiikasta yhden aikamme kriittisimmistä teknologioista. Analytiikka vaatii valtavan määrän datan luokittelua ja laadunvarmistusta, mikä hidastaa alan kehitystä. Osa näistä toimista tosin voidaan toteuttaa automatisoidusti, käyttäen avuksi käsityönä tuotettuja vertailuaineistoja.

73 Perez 2002.

Huoltovarmuuden kontekstissa Big data -analytiikka näyttäytyy sekä murroksellisten innovaatioiden että entistä suurempien kokonaisuuksien hallinnan mahdollistajana. BDA on keskeinen taustatekijä myös osaamisen automatisaatiossa ja kriittinen osa ennennäkemättömän laajoja ja tarkkoja seurantajärjestelmiä, joiden kehittämiseen investoidaan nyt valtavasti, mikä näkyy esimerkiksi siinä, että Big Data analytiikkapalvelujen tulosten myyminen on sekä Alphabetin (Google), että Meta Platformsin (Facebook, Messenger ja Whatsapp) pääasiallinen tulonlähde. BDA-kyvykkyyden varmistaminen ei kuitenkaan juuri eroa muista ohjelmistopohjaisista sovelluksista, joiden keskiössä on data- ja palvelusuhteen varmistaminen pääosin yhdysvaltalaisiin yrityksiin. BDA:n kasvupotentiaali on kuitenkin valtava ja pula osaajista (ja koulutusohjelmista) on nykyhetken merkittävä pullonkaula.

Sodanajan erityispiirteiden kannalta Big data -analytiikka näyttäytyy keskeisenä kyvykkyytenä, koska tuotantoketjujen reaaliaikaisen seurannan ja nopean reagoinnin tarve on korostunut. Erityisesti BDA:n mahdollistama tiedustelutiedon aggregointi ja datamassojen hyödyntäminen esimerkiksi ennakoivassa huollossa, logistiikassa ja yleisessä todennäköisyysarvioinnissa korostaa BDA-kyvykkyyden jatkuvuuden varmistamisen tarvetta. Sotilaallisia kyvykkyyksiä ei myöskään voida tuottaa ja hyödyntää siiloissa. Jatkuva kyky hallita kokonaisuutta, joka koostuu monista itsenäisistä järjestelmistä (*system of systems*), on modernin johtamiskyvykkyyden edellytys ja suoraan riippuvainen siviilisektorin ylläpitämistä järjestelmistä. Tämä pätee erityisesti johtamisjärjestelmiin ja tiedustelutoimintaan liittyviin järjestelmiin (C4IRS⁷⁴). Yhdysvalloissa puolustus-teollisuudesta on muodostunut yksi osaamisen tuottajista.

Tekoäly, erityisesti koneoppimismallit

Yleisesti tekoälyllä (*artificial intelligence, AI*) voidaan tarkoittaa ”koneen kykyä käyttää perinteisesti ihmisen älyyn liitettyjä taitoja, kuten päättelyä, oppimista, suunnittelemista tai luomista.”⁷⁵ Niinpä tekoälyyn pohjautuvat laitteet tai järjestelmät ”voivat havainnoida ympäristöään, käsitellä havaintojaan ja ratkaista ongelmia saavuttaakseen tietyn päämäärän. [Lisäksi ne] kykenevät muokkaamaan käytöstään tiettyyn pisteeseen asti analysoimalla aiempien toimien vaikutuksia ja työskentelemällä itsenäisesti.”⁷⁶

Termi ’tekoäly’ kattaa laajan joukon teknologioita, menetelmiä ja sovelluksia. Kaikki nyt käytössä ja näköpiirissä olevat tekoälyt ovat niin

74 C4IRS on lyhenne sanoista Command, Control, Computers, Communications (C4) ja Intelligence, Surveillance and Reconnaissance (ISR).

75 Euroopan parlamentti 4.9.2020. Ks. Myös High-Level Expert Group on Artificial Intelligence 2019.

76 Ibid.

sanotusti kapeita, mikä tarkoittaa, että ne toteuttavat niille kapeasti määritettyä tehtävää rajatusti opetetulla tavalla. Suuri osa vuonna 2023 merkittävistä tekoälysovelluksista pohjautuu koneoppimiseen. Koneoppimiseen pohjautuvat mallit ovat tietokoneohjelmia, jotka omaksuvat operatiivisia parametrejä niille syötetystä pohjadatasta, joko jatkuvasti tai päivitysten myötä.⁷⁷ Malleja on hyvin monenlaisia: jotkin mallit, esimerkiksi ChatGPT, pohjautuvat neuroverkkoihin ja laskevat sanojen (tokenien) esiintymistodennäköisyyksiä toisten esimerkiksi analysoidessa visuaalista dataa. Erityisen hyvin koneoppimismallit soveltuvat ennustamiseen ja suurten datamassojen pakkaamiseen ihmiselle ymmärrettävään muotoon. Koneoppimista sovelletaan jo kaikilla tutkimuksen sektoreilla⁷⁸, mikä ennakoii niiden hyödynnettävyyden, sovellusten määrän ja hyödynsaannin jakautumisen epätasaisuuden voimakasta kasvua lähitulevaisuudessa.

Huoltovarmuuden kontekstissa koneoppimismallit voidaan nähdä yhtenä tietoteknisenä työkaluna muiden joukossa. Näiden uusien työkalujen omaksuminen tuottaa merkittäviä tehokkuushyötyjä, mutta samalla se myös lisää mahdollisten häiriötilojen vaikuttavuutta. Erityisesti koneoppimismallien kyky tuottaa lähes reaaliaikaisesti niin sanottu cocktailkutsuilmio suurille datamassoille, eli kyky erotella yksittäisiä mielenkiintoisia informaatio-sarjoja kaiken 'tietohälyn' seasta, mahdollistaa paitsi massavalvonnan räjähdysmäisen tehostumisen, myös datamassojen seulomiseen käytetyn työvoiman vähentämisen samalla kun yhä harvemmin oleellinen tieto jää huomaamatta. Esimerkiksi laitteiden huoltoa voidaan toteuttaa ennakoivasti ja tuotantoketjujen häiriöihin on mahdollista varautua ennen kuin niiden vaikutukset yltyvät kriittiseen osaan ketjua. Näitä kyvykkyyksiä kehitetään nyt erityisesti Yhdysvalloissa merkittävin panostuksin etenkin sodanajan varautumisen käyttöön (sodan aikana häiriöiden potentiaaliset vaikutukset ovat korostuneet ja viiveensieto rajoittunut).

Sodanajan huoltovarmuuden kontekstissa ennakoivan huollon ja logistiikan lisäksi myös tiedostelutiedon (ml. rajavalvontatiedon) aggregointi ja seulominen, skenaariopohjainen ennakoointi sekä koneoppimisavusteiset haaittaohjelmat vakoilun ja sabotoinnin käyttöön tuottavat potentiaalisesti kriittisiä kyvykkyyksiä, joiden ylläpitäminen on pitkälti siviilisektorin käsissä niin osaamisen kuin operatiivisen infrastruktuurin osalta. Ukrainan sota on osoittanut, että tekoäly on riittävän kehittynyttä teknologiaa sotanäyttämöllä hyödynnettäväksi. Vaikka häive- ja vastahäivetekniikoiden tai autonomisen liikkumisen kohdentamisen mahdollistavien mallien kaltaiset teknologiat näyttävät vasta verrattain

77 High-Level Expert Group on Artificial Intelligence 2019.

78 The Economist 14.9.2023.

pienessä roolissa ja vaikka teknologisten kyvykkyyksien skaalautuminen on usein yllättävän hidas prosessi, oppivat sovellukset tehostavat useita taustalle jääviä prosesseja ennakoivasta huollosta viestintätaajuuden valintaan. Ennakoiva huolto ja logistiikkaketjujen seuranta tulevatkin olemaan merkittävä osa sodanajan huoltovarmuutta ja suorituskykyjen ylläpitoa, ja niiden kehittämiseen panostetaan nyt valtavasti. Käytännössä kyvykkyyksien tuottaminen ja ylläpitäminen tulee pitkälti olemaan siviilisektorin toimijoiden käsissä – ja sovellettavissa myös siviilipuolelle. Edistyneimmissä tuotantolaitoksissa näin myös jo tehdään, koska ennakointi- ja seurantajärjestelmät kykenevät BDA:n avulla syöttämään dataa tuotekehityksen käyttöön.

AI-agentit assistenteina

AI-agentit ovat algoritmeja, jotka kykenevät ottamaan toimintaympäristön muuttujat huomioon ennalta asetetun tehtävän onnistumista edesauttavalla tavalla.⁷⁹ Agenttien odotetaan kykenevän toteuttamaan henkilökohtaisen assistentin tehtäviä murto-osalla assistentin palkkaamisen hinnasta, koska palvelua tuottava yritys voi tarjota agenttimallia lukuisille asiakkaille yhtäaikaaisesti. Assistentteina AI-agenttien tulee kyetä 1) kommunikoidaan käyttäjien kanssa näille luonnollisella kielellä ja 2) itsenäisesti toteuttamaan tehtäviä useista (myös erityyppisistä) lähteistä ammentaen. Kelvollisten agenttien markkinoille tulo on todennäköisesti vuosikymmenen tai parin päässä, mutta niiden merkitys varhaisten omaksujien tuotantotehokkuudelle tulee olemaan merkittävä.

AI-agenttien tehokkuus tulee riippumaan pohjakoulutusdatan määrän ja laadun lisäksi pääsystä palvelun käyttäjän henkilökohtaiseen dataan, mikä korostaa teknologian vaikutuksia osaamisen huoltovarmuudelle. Merkittävistä tietoturvariskeistä ja verkkoriippuvuuden suhteellisesta lisääntymisestä huolimatta hyödyt (ml. käyttömukavuus) tulevat olemaan niin merkittäviä, etteivät (varsinkaan demokraattiset) valtiot kykene täysin välttämään niiden omaksumista, mikä korostaa ennakoinnin merkitystä.

Sodanajan huoltovarmuuden näkökulmasta AI-agentit todennäköisesti ottavat aikansa juuri tietoturvariskien takia, ja koska taistelijan käytössä yksittäisten tehtävien (kuten tähtäysavustuksen) suorittaminen laadukkaasti on todennäköisesti joustavaa yleisavustusta tärkeämpää. Tietoturvasyistä myös siviilipuolella luottamuksellisen tiedon parissa työskentelevät henkilöt tulevat todennäköisesti pitämään ihmisassistentteissa hyvin pitkään.

Digitaaliset kaksoset

Digitaalisilla kaksosilla (*digital twins*) viitataan kyvykkyyteen toisintaa fyysinen järjestelmä digitaaliseen ympäristöön.⁸⁰ Digitaalisia kaksosia rakennetaan tiedon tallentamista, mallintamista ja simulointeja varten esimerkiksi tilannekuvan muodostamisen, jatkotutkimuksen,

79 Woolldridge & Jennings 2009.

80 Ks. Usländer et al. 2022.

ennakoimisen, ja koulutuksen käyttöön. Usein digitaaliset kaksoset päivittyvät sensorien avulla automaattisesti, mutta abstraktimpia kokonaisuuksia toisinnettaessa myös muut tiedonkeruu- ja tallentamismenetelmät voivat olla käytössä.

Digitaalisten kaksosten nykykäyttö on yleisintä konetekniikassa niin huollon kuin tuotekehityksenkin työkaluna, mutta myös tuotantolinjoja ja kokonaisii logistiikkaketjuja voidaan toisintaa. Sellaisenaan menetelmä omaakin merkittävää potentiaalia huoltovarmuuden käyttöön erityisesti yksittäisten yritysten ja tuotantolaitosten käytössä. Samalla se kuitenkin myös lisää yhteiskunnan, laitosten, ja kyvykkyyksien suhteellista riippuvaisuutta tietoliikenneinfrastruktuurista.

Sodanajan näkökulmasta digitaalisten kaksosten teknologioihin laite-taan nyt runsaasti rahaa erityisesti tiedustelutietoa aggregoivien tilannekuvien luomiseksi sekä huoltotarpeen ja logistiikkaketjujen toiminnan ennakoivan seurannan mahdollistamiseksi. Sellaisenaan tekniikka on tiukasti linkittynyt sotatilan teknologistumiseen ja tulee todennäköisesti muutaman vuosikymmenen aikajänteellä osaksi modernin puolustuksen 'välttämätöntä' johtamisen ja tiedustelun (C4IRS) suorituskyvykkyyttä.

Virtuaalitodellisuus

Virtuaalitodellisuuden (*virtual reality*, VR) teknologioilla tarkoitetaan 3D-näyttöjen ja asentotunnistimien avulla tuotettua simuloitua todellisuutta.⁸¹ Virtuaalitodellisuuden suurin vaikutuspotentiaali liittyy koulutustoimintaan ja etäkokoukustamiseen. VR soveltuu myös uuteen ympäristöön totuttamiseen ja tutustuttamiseen, minkä lisäksi sen viihdekäyttöpotentiaali tulee nopeuttamaan laitteiden ja sovellusten leviämistä yhteiskuntaan.

Oletettavasti lähitulevaisuudessa useat yritykset, jotka valmistavat kalliita erikoissimulaatiolaitteita, kuten ajoneuvojen koulutussimulaattoreita, tulevat Applen ja muiden VR-teknologiaa kehittävien yritysten haastamiksi ja todennäköisesti osittain syrjäyttämiksi. Toisaalta VR-alustoille syntyy omat modulaariset⁸² simulaatiomarkkinansa. Huoltovarmuustoimijoille VR-teknologialla tuskin on suoraa käyttöä ilman uusia innovaatiota.

Puolustuskäytön perspektiivistä erityisesti kyvykkyydestä tutustuttaa taistelijat operatiiviseen ympäristöön ja laitteisiin (simulaattorit) ennakoidaan tuottavan paitsi harjoitustoiminnan säästöjä myös operatiivista etua. VR-kyvykkyyksien sodanajan ylläpito tuskin merkittävästi eroaa muista korkean tehon tietoverkosta riippuvista teknologioista.

81 Newsby 1996.

82 Ks. luku 5.1.

Lisätty todellisuus

Lisättyllä todellisuudella (*augmented reality*, AR) tarkoitetaan koneoppimisavusteista teknologiaa, jossa todellisen näkymän päälle esimerkiksi linsseihin tai reaaliaikaiseen videokuvaan heijastetaan reaalityodellisuuden kohdennettua lisäinformaatiota.⁸³ Lisättyä todellisuutta voidaan pitää virtuaalityodellisuuden alalajina, jossa simulaatio hyödyntää reaali maailman objekteja.

Huoltovarmuuden näkökulmasta AR näyttyy lähinnä yleisesti hyödyllisenä teknologiana, minkä vuoksi sen huoltovarmuudesta joudutaan huolehtimaan, mutta josta tuskin on huoltovarmuustoimijoille paljoo hyötyä ilman uusia innovaatiota. AR-teknologiat voivat kuitenkin aiheuttaa mullistuksia aloilla, jotka vaativat tiedon nopeaa omaksumista, erityisesti erityislaitteiden huollossa ja korjaamisessa. Jos/kun AR-teknologia yhdistetään digitaalisten kaksosten teknologiaan, erityiskorjaaja voi esimerkiksi kytkeä itsensä paikan päällä olevan korjaajan todellisuuteen ja näyttää 'kädestä pitäen', mitä laitteen korjaamiseen vaaditaan.

Sotilasalaehtori on todennäköisesti valvomotekniikkaa hyödyntävien alojen ohella ensimmäisiä sektoreita, jossa AR-teknologiaa tullaan laajamittaisesti hyödyntämään. Taistelutilan hyödynnettävyys on kuitenkin riippuvaista luotettavan ja salatun langattoman internetyhteyden ylläpitokyvystä.

Älykäs automaatio

Älykäs automaatio (*intelligent automation*, IA)⁸⁴ yhdistää koneoppimista ja ohjelmistorobotiikka tavoitteenaan parantaa automatisoitujen prosessien toimintakykyä tilanteen muuttuessa. Toisin sanoen kyse on automaatiohjautuvista tietokoneen ominaisuuksista, jotka ohjaavat toimintamallien muutosta siten, että prosessin kompleksisuus jää piiloon käyttäjiltä. Tilanteen muutos voi tapahtua joko toimintaympäristössä, jolloin muutoksen aiheuttava syöte (*prompt*) välittyy koneelle sensoritekniikan avulla, tai se voi olla prosessin sisäinen ennakoimaton muutos, joita voi syntyä esimerkiksi ohjelmistojen välisen interaktion seurauksena.

Huoltovarmuuden perspektiivistä älykäs automaatio on osa ennakoivan huollon ja logistiikan järjestelmiä, joita kuvattiin tarkemmin koneoppimismallien kohdalla. Myös tiettyjen järjestelmien, kuten kaasua ja öljyputkien sekä sähköverkon, iskunsietokykyä voidaan parantaa älykään automaation avulla. Sama pätee myös muihin järjestelmiin, jotka kärsivät edellä mainittujen äkillisistä häiriöistä. Älykäs automaatio auttaa

83 Ks. Preda 2011.

84 Joskus myös hyperautomaatio

myös äkillisten kuljetusreitimuutosten kommunikoinnissa ja resurssien käytön tehostamisessa.

Sodanajan perspektiivissä älykäs automaatio on edellä mainittujen lisäksi merkittävässä roolissa suojeltavien kohteiden, kuten erinäisten ase- ja C4IRS-järjestelmien ja niiden käyttäjien, hajauttamisessa eri paikkoihin. Viime aikoina merkittävästi huomiota herättäneet autonomiset taistelulennokit ja lennokkiparvet ovat vielä kehitys- ja koekäyttöasteella haasteiden liittyessä erityisesti koneoppimismallien väliseen kommunikaatioon ja virheenkorjaukseen. Kuitenkin yhä useammat lennokit (ja muutkin laitteet) suorittavat yksittäisiä autonomisia toimintoja. Myös teknologia-avusteisten vastatoimikyvykkyyksien (*Counter Robotic and Autonomous Systems*, C-RAS) kehittämiseen panostetaan merkittävästi. Näihin kyvykkyyksiin lukeutuvat esimerkiksi konetunnistukselta ja kohdentamiselta suojaavat naamiopeitteet sekä kohdennetun elektronisen häirinnän järjestelmät.

Koneoppimisavusteiset käyttöliittymät

Koneoppimisavusteisten käyttöliittymien (IUI) ytimessä on lisääntyvien informaatiovirtojen paketoiminen ihmiselle ymmärrettävään ja käytettävään muotoon. Osittain kyse on siitä, että keilaavilla sensoreilla kerätty informaatio (esimerkiksi ihmissilmälle näkymättömät valon taajuudet) 'käännetään' ihmiselle ymmärrettävään muotoon. Toisaalta kyse on myös tavasta rakentaa mahdollisimman intuitiivisia ja helppokäyttöisiä käyttöliittymiä, valikkoja ja komentojärjestelmiä, millä varmistetaan, etteivät käytettävän järjestelmän mahdollisuudet jää turhaan hyödyntämättä.⁸⁵

Huoltovarmuuden perspektiivistä koneoppimisavusteisten käyttöliittymien teknologioilla on kriittinen rooli siinä, että yhä lisääntyvää tietomassaa on mahdollista omaksua ja käyttää tehokkaammin samalla, kun huoltovarmuustoiminnassa siirrytään kohti resilienssiorientoitunutta lähestymistapaa. Ilman uusia innovaatiota koneoppimisavusteista käyttöliittymistä tuskin on huoltovarmuustoimijoille suoraa käyttöä.

Sodanajan perspektiivistä ihmisen ja koneen välisen vuorovaikutuksen sujuvoittaminen tulee olemaan entistä tärkeämpää kiihtyvään tahtiin teknologistuvassa taistelutilassa. Samalla myös taistelutilan henkiset ja ajalliset paineet korostavat sujuvan vuorovaikutuksen merkitystä.

Esineiden internet

Esineiden internetillä (*Internet of Things*, IoT) tarkoitetaan usein joukkoa sellaisia 'älykkäitä' laitteita, jotka hyödyntävät verkkoyhteyttä (erityisesti

85 Ks. Nauman 2021.

internetiä) vaihtaakseen tietoa keskenään.⁸⁶ Kun verkon kantokapasiteetti kasvaa ja datansiirto sekä internet-yhteyden mahdollistavat mikropiirit halventuvat, yhä useampien laitteiden yhdistäminen internetin avulla tulee kannattavaksi. Samalla kuluttajille syntyy lisää heitä hyödyttäviä lisäominaisuuksia, ja valmistajat puolestaan kykenevät keräämään enemmän heitä hyödyttävää kuluttajadataa. Tulevien vuosikymmenten kuluessa esineiden internet tulee entisestään kasvattamaan tietotalouden merkitystä. Datamassojen käyttöönoton myötä tehokkuushyödyt tulevat olemaan merkittäviä kaikilla talouden ja yhteiskunnan sektoreilla. Osamisen automatisaatioissa esineiden internet on mukana kahdella tapaa: se mahdollistaa tiedonkeruun entistä suuremmasta määrästä kohteita ja toimintoja, minkä lisäksi yksittäisissä laitteissa olevien ominaisuuksien määrää voidaan kasvattaa.

Huoltovarmuuden perspektiivistä esineiden internet tarkoittaa ennen kaikkea yhteiskunnan digitaalisen riippuvuuden syventymistä ja häiriöaikojen suhteellisten haittojen kasvua. Huoltovarmuustoiminnan mahdollisuuksien suhteen paljon tulee riippumaan siitä, minkälaisia kyberturvallisuus-, laatu-, ja korjattavuusstandardeja IoT-laitteilta tullaan edellyttämään. Joka tapauksessa Suomen riippuvuus ulkomaisista tuotteista ja palveluista tulee lisääntymään esineiden internetin yleistymisen myötä.

Sen lisäksi, että esineiden internet mahdollistaa Suomea vastaan toteutettavien hybridioperaatioiden keinovalikoiman kasvun, se myös antaa runsaasti informaatiota esimerkiksi tuotteiden määrästä ja sijainnista, kunnosta ja käytettävyydestä. Keskeisenä ehtona näiden tuotteiden käyttöönotolle on epäilemättä kyky tarjota riittävä kyberturvallisuuden taso ja selkeä lainsäädännöllinen kehikko sille, mitä tietoa tuotteiden valmistajat tai ylläpitäjät saavat kerätä ihmisten kodeista, liikkeistä ja työpaikoista, sillä tietoa voidaan myös käyttää ihmisten, yhteiskunnan, ja kriisinkestävyyden kannalta epäedullisten tarkoituksien ajamiseen.

Kvanttilaskenta

Kvanttilaskennalla (*quantum computing*) viitataan laskentatapaan, jossa hyödynnetään kvanttikokoluokan partikkelien erityisominaisuuksia. Hieman tarkemmin sanottuna se perustuu kvanttibittien (*qubit*) liikkeen kvanttiprosessoreiden sisältämien loogisten porttien läpi.⁸⁷ Toisin kuin digitaalisissa porteissa, joiden varaus aina vaihtuu, kvanttiporteissa näin ei välttämättä tapahdu. Tämä seurauksena kvanttilaskennassa pystytään kantamaan epävarmuutta mukana laskuvaiheesta toiseen, mikä

⁸⁶ Ks. Xia 2012.

⁸⁷ Ks. Steane 1998.

mahdollistaa estimoinnin tyystin erilaisessa mittaluokassa. Kvanttilaskennan suurimmat lupaukset liittyvätkin todennäköisyyslaskentaan ja epävarmuuksien hallintaan.

Koska kvanttietokoneet ovat tietynlaisia tehtäviä varten rakennettuja koneita, on melko todennäköistä, että kvanttilaskentapalveluja tullaan tarjoamaan erityisesti pilvipalveluina verrattain harvojen toimijoiden investoimalla omaan tietokoneeseensa. Vaikka Suomessa on runsaasti lupaavasti kehittyvää alan teollisuutta, tulee tämä todennäköisesti tarkoittamaan riippuvuutta useista ulkomailla sijaitsevistä laskentapalveluista. Koska kvanttietokoneita operoidaan digitaalisten tietokoneiden avulla, tietoliikenneinfrastruktuurin huoltovarmuusvaatimuksiin⁸⁸ tuskin tulee merkittäviä muutoksia. Kvanttilaskenta on myös teknologia, jonka kehittymiseen on Suomen varauduttava päivittämällä kaikki valtion alueella käytössä olevat salaukset kvanttikestävään muotoon.⁸⁹

Sodanajan perspektiivistä kvanttiavusteisen todennäköisyyslaskentakyvykkyyden turvaamisesta tulee lähivuosikymmeninä osa digitaalista varautumista muun muassa siksi, että teknologia tarjoaa strategisen ennakkoinnin ja optimoinnin suorituskykyjä. Myös puolustusvoimien järjestelmien salaukset on päivitettävä kvanttikestävään muotoon riippumatta siitä, onko laitteet kytketty internetiin.

3.2. ETÄKÄYTTÖ JA HAJAUTETTU HALLINTA

Etäkäyttöteknologioilla (*remote technologies*, myös *decentralised interconnections*) tarkoitetaan yhden laitteen käyttämistä toisella laitteella, usein langatonta teknologiaa hyväksikäyttäen. Tässä raportissa kategoriaan on laskettu mukaan myös etäkäytön yleensä vaatimat teknologiat. Yhteiskunnallisesta näkökulmasta kyse on erityisesti luotettavan langattoman tiedonsiirron kyvykkyyksistä. Etäkäyttöteknologioiden yleistäminen vaatii tietoisia panostuksia langattomien yhteyksien resilienssin rakentamiseen. Keskiössä ovat riittävän kestävien akkujen saatavuus, laitteiden huolto ja korjaaminen, riittävä kyberturvallisuuden taso sekä selkeys erinäisten järjestelmien ja toimintojen vastuukysymyksistä.

Esimerkiksi teleoperaattoreiden kyvykkyys tarjota erilaisissa kriisitilanteissa ja poikkeusoloissa palveluita kilpailijoidensa verkossa rakennetaan normaaliolojen vallitessa. Mobiiliverkkojen jakamisvelvoitteet

⁸⁸ Huoltovarmuusvaikutus syntyy, jos tuotannon, palveluiden tai kriittisen infrastruktuurin toimivuus häiriintyy tavalla, jossa väestön, talouselämän tai maanpuolustuksen välttämättömiä perustarpeita ei pystytä täyttämään (Huoltovarmuuskeskus 8.3.2024).

⁸⁹ Aiheesta tarkemmin seuraavassa luvussa kohdassa kvanttikryptografia.

eroavat eri maissa merkittäväillä tavoilla⁹⁰ palveluntarjonnan ja kriisinkestävyyden varmistamiseksi. Euroopassa suositaan suosituspohjaista lähestymistapaa, josta esimerkiksi Yhdysvallat luopui kesäkuussa 2022 velvoittamalla verkkovierailupalveluiden tarjoamisen kilpailijoiden verkoon silloin, kun yrityksen oma palvelu on alhaalla.⁹¹ Yhdysvaltojen säädös ei kuitenkaan velvoita yrityksiä rakentamaan kyvykkyyttä, vaan voi pahimmillaan jopa kannustaa sen välttämiseen. Hyvin toteutettuna langattomien verkkopalvelujen yhteensovittamis- ja jakamisvelvoite myös tuottaa kustannustehokkaan tavan vanhuuttaan tuottamattomiksi käyneiden verkkojen ylläpitämiseen ja järjestelmien väliseen verkkovierailuun.⁹²

On tärkeä huomata, että yhä useammat kriittiset palvelut on mahdollista keskittää etäyhteyksien päähän, mikä tuottaa merkittäviä säästöjä, parantaa tuotekehityksen mahdollisuuksia massadatan keräämisen ja aggregoinnin myötä sekä parantaa palvelujen saavutettavuutta. Samalla kriittisten palveluiden keskittäminen myös lisää yhteiskuntien ja järjestelmien riippuvuutta etäkäyttötekniikoista ja ulkomaisista palveluntarjoajista sekä lisää tiedonsiirtoon liittyviä tietoturvariskejä. Lisäksi etäyhteydet mahdollistavat osaamisresurssien aiempaa suuremman keskittämisen, mikä näkyy yhteiskunnallisella tasolla muuttopaineena asutuskeskuksiin, jota tosin osittain helpottaa yksittäisten työntekijöiden mahdollisuus etätyöskentelyyn hyvien tietoliikenneyhteyksien kattavuusalueella.

6G-mobiiliverkko

6G:llä (IMT-2030⁹³) tarkoitetaan seuraavan sukupolven mobiilitiedonsiirtoteknologiaa. 6G:n määrittely on vielä kesken, mutta odotuksissa on, että se hyödyntää intensiivistä 30–300 GHz kaistataajuutta, tukee suurta kapasiteettia vaativia uuden sukupolven laitteita, korjaa 5G:n epäoptimaalisuuksia, on alustamaisesti sovellettavissa⁹⁴ ja kykenee (koneoppimisen avulla) reaaliajassa moduloitua kaistanhallintaan.⁹⁵ Lisäksi 6G:n vahvuuksia ovat tiedonsiirtonopeus, signaalin kantokyky ja matala latenssi (viive). Teknologian heikkoutena on puolestaan signaalin heikko kyky läpäistä eri materiaaleja. 6G-tietoverkoilla tulee todennäköisesti olemaan merkittävä rooli esineiden internetin ja uuden sukupolven etäpalvelujen

90 International Telecommunications Union 2020.

91 Federal Communications Commission 6.7.2022.

92 GSMA Head office 2012. Ks. myös, GSMA 2019.

93 International Telecommunication Union 2023.

94 Alustamainen sovellettavuus tarkoittaa sitä, että alustana toimivaan laitteeseen tai järjestelmään voidaan kytkeä itsenäisinä osakokonaisuuksina toimivia liitännäisiä tuotteita sellaisten tuottajien toimesta, joiden ei tarvitse osata valmistaa koko alustalaitetta.

95 Ks. International Telecommunication Union 2023

(kuten erinäisten korjauspalvelujen ja lääketieteellisten leikkausten) sekä virtuaalitodellisuuden mahdollistajana. 6G-teknologian odotetaan tehostavan tuotantolaitosten, logistiikkahallien ja laboratorioden toiminnan optimointia, mutta samalla pidemmälle kehittyvä optimointi pahentaa häiriöiden suhteellista vaikuttavuutta.

Nokia on yksi harvoista yrityksistä maailmassa, jotka vaikuttavat lähitulevaisuudessa kykenevän rakentamaan 6G-verkkoa. Tästä johtuen suomen osaamis pohja on alalla laajempaa kuin muilla raportissa esitellyillä teknologia-aloilla. Koska 6G-yhteyden leviäminen tulee mahdollistamaan datansiirtomäärien massiivisen kasvun, on varsin todennäköistä, että se johtaa useiden toistaiseksi tunnistamattomien pullonkaulojen puhkeamiseen. Samalla on todennäköistä, että langattoman tiedonsiirtokyvykkyyden kasvu johtaa siitä riippuvaisten teknologisten sovellusten murroksellisen nopeaan yleistymiseen. Näin on erityisesti esineiden internetin, virtuaalitodellisuuden ja lisätyn todellisuuden teknologia-perheiden piirissä.

Sodanajan näkökulmasta tarkasteltuna verkon korjaamistarpeen voidaan odottaa lisääntyvän merkittävästi. Koska 6G-verkko soveltuu erittäin heikosti ulkotiloihin, sen merkitys jäänee kuitenkin vähäiseksi kenttäoperaatioiden viestinnässä. Kuitenkin 60 GHz:n taajuusalueen tunnumassa sijaitseva happiabsorptio⁹⁶ pitää sironnan⁹⁷ vähäisenä, mikä vaikeuttaa väliintulohyökkäyksiensä⁹⁸ toteuttamista. Verkon jatkuvuuden merkitys tulee myös korostumaan 6G-verkosta riippuvaisten sovellusten, kuten esineiden internetin sekä VR-teknologiaan perustuvien sotilaskoulutussimulaatioiden, myötä. Myös Yhdysvallat vaikuttaa olevan rakentamassa uuden sukupolven sotilaskommunikaatioverkkoa 6G-järjestelmän varaan, mikä saattaa myötävaikuttaa globaalin mobiiliverkkostandardin syntymiseen.

LoRAWAN

LoRAWAN (*long-range wide area network*) on pitkiin etäisyyksiin ja matalaan kapasiteettiin optimoitu langaton tiedonsiirtoteknologia, jolla tulee olemaan merkittävä rooli esineiden internetin taloudellisen kannattavuuden mahdollistajana. LoRAWAN perustuu radiomodulaatioon, jossa matalan taajuuden radioaallot hajautetaan usealle taajuudelle ilman,

96 Absorptio tarkoittaa kvanttimekaanista prosessia, jossa fotonien energia siirtyy hiukkaselle (esim. atomi) tai alkeishiukkaselle (esim. elektroni) niin että yleensä atomin uloimman kuoren elektronin (valenssielektroni) energialataus lisääntyy. Koska absorptiossa fotoni lakkaa olemasta informaatiota välittävä signaali heikkenee.

97 Sironna on prosessi, jossa aineen läpi kulkemisen seurauksena hiukkasen tai säteilyn liikkumissuunta muuttuu.

98 Signaalinhallintaan kohdistuva kyberhyökkäys, jossa kahden viestijän väliin asetetun releen avulla hyökkääjä vakoilee tai muokkaa viestintää. Rele on sähköisesti operoitava sähkömagneettinen kytkin. Kytkin on sähkövirran ohjain tai katkaisija.

että alkuperäinen lähetysoimakkuus kärsii. LoRAWANin hyödynnettävyys liittyy erityisesti sijaintitietojen seurantaan ja tekstimuotoisen datan (esim. IoT-laitteiden käyttödatan) siirtämiseen.⁹⁹

Huoltovarmuuden kannalta LoRAWAN näyttäytyy omana tiedonsiirto-infrastruktuurinaan, jonka ylläpito ei merkittävästi poikkea muista langattomista verkoista. LoRAWAN-verkko ei kuitenkaan sovellu varaverkoksi eli vaihtoehtoiseksi korvaajaksi muulle tietoliikenneinfrastruktuurille. Se voi kuitenkin mahdollistaa entistä nopeamman ja yhteismitallisemmän massadatan keräämisen huolto- ja toimitusketjujen solmukohdista, mikä auttaa ennakoimaan häiriövaikutusten leviämistä.

Sodanajan LoRAWANin käyttö ei todennäköisesti eroa merkittävästi normaaliolojen käytänteistä. Poikkeuksena tähän on LoRAWAN-protokollan sallima asynkroninen lähettäminen, joka mahdollistaa laitteen kytkeytymisen verkkoon vain lähetyksen ajaksi, mikä lisää liikkuvien lähettimien signaaliturvallisuutta ja madaltamaa kineettisten vastaiskujen todennäköisyyttä.

Satelliitti-internetjärjestelmät

Satelliittiyhteyksiin pohjautuva kansainvälinen internetjärjestelmä vaatii toimiakseen lukuisia satelliitteja, toisin sanoen satelliittikonstellaation. Satelliittikonstellaatiolla tarkoitetaan järjestelmää, jonka toiminnallisuus on jaettu useiden satelliittien verkoksi.¹⁰⁰ Näitä ovat esimerkiksi paikkunukseen käytettävä GPS, videon ja datan siirtoon käytettävä SES S.A. sekä laajakaistayhteyksiä kaupalliseen ja sotilaskäyttöön tarjoava ViaSat. Toiseksi ainoa suurta satelliittien määrää hyödyntävä satelliitti-internetjärjestelmä on konstellaationa toimiva Yhdysvaltalainen Starlink¹⁰¹, joka on osoittanut, että matalan kiertoradan satelliittikonstellaation avulla on mahdollista tarjota kelvollinen internetyhteys. Vaikka Starlink ei saavuta lankaverkkoon verrattavia suorituskykyjä, se tarjoaa kustannustehokkaan tavan ulottaa verkkoyhteys syrjäseuduille, kuten arktiselle alueelle, vuoristoon, merelle, ilmatilaan sekä tulevaisuudessa myös maan kiertoradalle. Lisäksi sitä on mahdollista käyttää häiriö- tai poikkeusolosuhteissa, jos muu tietoliikenneinfrastruktuuri on syystä tai toisesta käyttökelvoton.

Kansallisen huoltovarmuuden näkökulmasta Starlink on muun internetin tavoin ulkomainen kyvykkyys, tosin sen runkoverkon huolto on kokonaan Yhdysvaltojen vastuulla. Starlinkin maanpäällisten terminaalien varastominen on mahdollista, mikäli päivityksistä huolehditaan, mutta sitäkin merkityksellisempää olisi palvelun käytön leviäminen

99 Ks. Adelantado et al, 2017

100 Ks. International Astronomical Union 2020

101 Marraskuussa 2023 Starlink ohitti 5000 satelliitin rajapyykin siten kattaen yli puolet maailman aktiivisista satelliiteista. Toiseksi laajimmassa satelliittikonstellaatiossa Iridiumissa on 82 satelliittia.

siviiliväestön pariin niin, että teknologian ympärille syntyy kotimaan markkinat. Palvelun jatkuvuuden kannalta Yhdysvaltojen sitouttamisen merkitys korostuu. Tämä ei ole sinänsä uutta, sillä myös perinteisten datansiirtojärjestelmien runkoverkkojen komponentit, sovellukset, sekä osittain myös ylläpitopalvelut tulevat Yhdysvalloista.

Modernin sodanajan erityispiirteenä taistelutilan informaatiotiheys kasvaa voimakkaasti, mikä korostaa turvallisen verkkoyhteyden ylläpitoa tarvetta. Starlinkin tietoliikennesatelliitteja vastaan iskeminen todennäköisesti vetäisi Yhdysvallat mukaan konfliktiin. Konstellaation yksittäisten satelliittien tuhoaminen tai häiritseminen tuottaa vain rajallista etua, mutta vielä keskeisempää on se, että suurien mastojen ja yksittäisten kaapelien sijasta Starlinkin (tai vastaavan) maanpäälliset osat on hajautettu valtavaan määrään pieniä antennivastaanottimia, jotka ovat lähellä yhteyden käyttäjää. Lisäksi Ukrainan sota on osoittanut, että järjestelmän ollessa myös siviilien käytössä strateginen viestintä voidaan piilottaa siviilisignaalien massaan.¹⁰² Koska Starlink-verkkoyhteys ei tarvitse kytkeä tyiltä laitteilta yhtä tarkkoja sijaintitietoja kuin mobiiliverkkoyhteys, on verkkoyhteys voitu ulottaa aivan eturintamalle asti taistelutilan digitaalisatiota kiihdyttäen.

Kvanttikryptografia

Kvanttikryptografialla (*quantum cryptography*) tarkoitetaan kvanttilaskennan hyödyntämistä tietojen salakirjoituksen avulla toteutettavaan suojaukseen liittyvissä toiminnoissa, kuten tietojen salaamisessa ja salauksen purussa.¹⁰³ Kvanttiavusteinen salauksenpurku tulee murentamaan nykyään laajasti digitaalisessa maailmassa käytössä olevan salausrjestelmän perustan – julkisen avaimen RSA-salausalgoritmin.¹⁰⁴ Mikäli kaikkia yhteiskunnan digitaalisia salausrjestelmiä ei tätä ennen päivitetä kvanttikestävään muotoon, kansallisen varautumisen teknologisen kehityksen vaikutuksiin voi todeta totaalaisesti epäonnistuneen. Toisaalta yllättävä kvanttilaskennan edistysaskel voi kasvattaa kvanttikestävien salausrjestelmien kysyntää mittaluokassa, jota ei maailmanhistoriassa ole ennen nähty. Tulevaisuuden tietojensalaukseen tullaan todennäköisesti käyttämään skaalautuvaa menetelmää, joka hyödyntää

102 Holmgren 2023.

103 Ks. Bennett et al. 1992.

104 Ks. Bernstein & Lange 2017.

kvanttiviestintää¹⁰⁵ (*quantum communication*) ja perustuu kvanttiavaimen jakamiselle (*quantum key distribution, QKD*)¹⁰⁶.

Kansallisen huoltovarmuuden näkökulmasta kvanttikryptografian ja digitaalisten järjestelmien päivittämisen ei pitäisi päätyä varautumisorganisaatioiden toimikentälle muuten kuin omien järjestelmien päivittämisen osalta. Valtion kattavan siirtymän koordinoiminen vaatii asiaan erikseen nimetyn viranomaistahon, jonka tehtävä on varmistaa, että ainakin julkisen hallinnon toimijat ja kriittiset yritystoimijat ovat tehneet päivityksen ajallaan. Asiasta on myös yleisemmin tiedotettava kansalaisia, elinkeinoelämää ja kolmannen sektorin toimijoita. Yleisesti voinee todeta, että on valtava kiire päivittää kaikki julkisessa, yksityisessä, kaupallisessa sekä yleishyödyllisessä käytössä olevat salausjärjestelmät kvanttiheikoista kvanttikestäviin. Päivitystarve koskee jokaista tietokonetta, älypuhelinlaitea, kameraa, satelliittia ja kelloa, jonka digitaalisen sisällön emme halua olevan kaikkien vapaasti luettavissa ja hyödynnettävissä. Toisaalta on myös hyvä huomata, että mikäli koodinpurkuteknologia ottaa merkittävän harppauksen, niin esimerkiksi useiden purkumenetelmien suosimista grafiikkakorteista voi syntyä pulaa ja kansainvälinen hankintakilpailu.

Sodanajan näkökulmasta kryptografian merkitys korostuu, mutta kvanttikryptografia tuskin tuo omia erityispiirteitään Suomen sodanajan huoltovarmuuteen vielä vuosikymmeniin, mikäli kvanttikestävyyspäivityksen päivittämistä ei lasketa. Sen toteuttaminen mahdollisimman nopeasti ja laadukkaasti on luonnollisesti ensiarvoista maanpuolustuksen luottamuksellisen kommunikaation turvaamiseksi.

Suoratoisto

Suoratoistolla (*streaming*) tarkoitetaan tietoverkon avulla toteutettua tiedon siirtotapaa, jossa palvelukokonaisuuksien tai niiden osia (kuten suoratoistopalveluiden elokuvia) ei ladata ennakkoon tai tallenneta väli-tilaan, vaan lähetetään jatkuvana ja välittömästi kulutettavana virtana käyttäjille.¹⁰⁷ Palvelumalli oli markkinoille tullessaan 2000-luvun alussa voimakkaan murroksellinen, erityisesti yhdistettynä jäsenyyteen pohjautuvaan rahoitusmalliin.¹⁰⁸ Suoratoistolla on potentiaali fasilitoida uusia murroksia, kun verkon kantokapasiteetti kasvaa, prosessointiprotokollien

105 Kvanttiviestintä perustuu kahden fyysisesti erillään olevan kvanttiprosessorin kykyyn jakaa informaatiota keskenään. Erityisten kvanttiprosessorien väliin voidaan rakentaa informaatioverkko, jonka toimintaperiaatteet ja ominaisuudet poikkeavat digitaalisesta verkoista (joista tunnetuin on internet) perustavanlaatuisella tavalla. Koska kvanttisignaalin tarkastelu matkan varrella romahduttaa kvanttitilan, muuttuu vakoilyritys häirinnäksi. Teknologia on kuitenkin vasta varhaisella kokeiluasteella, epäluotettavaa ja soveltuu vain hyvin lyhyille matkoille. Vuosikymmenten aikajännteellä teknologiasta saattaa kuitenkin kehkeytyä merkittävä viestintäjärjestelmä. (Ks. Gisin & Thew 2007).

106 Ks. Scavani et al. 2009.

107 Ks. Austerberry 2004. Ks. myös Kirvan 2023.

108 Gans 2016.

ja vastaanottolaitteiden monipuolisuus lisääntyy (esim. esineiden internetin myötä) ja digitaalisten valuu-
tojen käyttö yleistyy.

Kansallisen huoltovarmuuden näkökulmasta suoratoistossa korostuu mahdollisuus siirtää jatkuvasti suuria datamassoja olemassa olevien tietoliikenneyhteyksien avulla. Tämän ei pitäisi lähtökohtaisesti erota merkittävästi yleisistä tiedonsiirtoinfrastruktuurin huoltovarmuusvaatimuksista tai haasteista.

Sodanajan huoltovarmuuden näkökulmasta datan ja erityisesti videokuvamateriaalin suoratoisto on oleellista ei-autonomisten lennokkien ja muiden etäoperoitavien laitteiden hallinnassa. Myös autonomisten laitteiden tapauksessa ihmisen pitäminen mukana päätöksentekoprosessissa (*in the loop*) eli kyvykkäänä tekemään tarvittavia päätöksiä, erityisesti estämään koneen katastrofaaliset virhearviot, edellyttäisi suoratoistoa. Teknologialla on merkittäviä signaaliturvallisuusvaatimuksia, ja sodanajan sotilaskäytössä laitteiden eliniänodotus on siitä johtuen todennäköisesti erittäin lyhyt, mikä korostaa kotikutoisen massatuotantokyvykkyden merkitystä.

Uudelleenkäytettävät kantoraketit

Uudelleenkäytettävät ja osittain uudelleenkäytettävät kantoraketit kattavat laajan kokoelman erilaisia teknologioita autonomisista stabilisaattoreista laskeutumisalustoihin, joita vaaditaan rakettien tai raketin osien kontrolloituun laskeutumiseen. Teknologian avulla satelliittien määrä on yli kaksinkertaistunut viidessä vuodessa.¹⁰⁹ Halventuneiden hintojen seurauksena yhä pienemmät yritykset voivat innovoida satelliittipohjaisia sovelluksia, mistä johtuen palvelujen monimuotoisuuden tahdin voi olettaa entisestään kiihtyvän lähivuosina. Samalla myös murrokselliseksi osoittautuvien innovaatioiden todennäköisyys kasvaa.

Myös riippuvuus avaruusinfrastruktuurista kasvaa nyt vauhdilla. Useat palvelut ja sovellukset, joita emme sellaisiksi miellä (esimerkiksi digitaaliset finanssitransaktiot), ovat riippuvaisia kiertoratapalvelujen jatkuvuudesta. Palvelujen määrän kasvaessa riippuvuussuhteen voi olettaa syventyvän lähivuosina. Kotosyntyisten kyvykkyyksien puutteessa erityisesti eurooppalaisen yhteistyön tiivistäminen ja keskeisten toimijoiden sitouttaminen korostuvat.

Sodanajan erityispiirteenä kyky huoltaa avaruudessa toimivia tai sitä hyödyntäviä laitteita, palveluja tai ohjelmistoja näyttäytyy sekä kriittisenä että epätasaisesti jakautuneena. Tästä huolimatta erityisesti satelliittiavusteisen tiedustelun merkitys korostuu nyt vauhdilla. Samaan aikaan maa-satelliittiyhteyttä kyetään häiritsemään, ja erityisesti vanhemmissa

109 Burgueño Salas 2023.

laitteissa tietoturva on usein hyvin heikko. Huomionarvoista on, että avaruuskäyttöön valtiot kykenevät todennäköisesti tuhoamaan kaikki tai ainakin lähes kaikki matalan kiertoradan satelliitit, mutta se olisi poliittisesti ja strategisesti järjettömän kallis ratkaisu.¹¹⁰

Akut

Akut eli sähkökemialliset energiavarastot ovat liikkuvan etäkäytön perusta. Niillä on myös merkittävä rooli hajautettujen kyvykkyyksien mahdollistamisessa. Akkujen kysynnän ennakoidaan kasvavan tuotantoa nopeammin ainakin niin kauan kuin uusi teknologia mahdollistaa energian varastoinnin määrän kasvun, kasvaneen resurssitehokkuuden, tai huomattavasti nykyisiä vaihtoehtoja halvemmän massatuotannon. Kysyntäveitoisten markkinoiden vuoksi tuotekehitykseen sijoitetaan nyt valtavasti resursseja ympäri maailman. Akkujen lisäksi kategoriaan voidaan laskea myös patterit, kondensaattorit, minigeneraattorit ja joissain tapauksissa akkujen vaatimat muuntajat.

Hidas siirtymä fossiilisten polttoaineiden varastoinnista ei ole tekniiksessä mielessä murros (disruptio), vaikka siirtymä vaatiikin hallinnollisia ja teknologisia muutoksia. Tämä johtuu siitä, että muutostarve on merkittävistä haasteistaan huolimatta tiedossa. Kyseessä on siis haasteita tuottava muutospaino. Tilanne muuttuu, mikäli markkinoille ilmestyy uusi, jollain parametreillä parannuksia tarjoava akkuteknologia, joka alkaa nopeasti valtaamaan alaa. Akkuteollisuuden sekä akkujen raaka-aineteollisuuden keskittymisen purkamisen ja sitouttaminen ovat osa poikkihallinnollista kansallista varautumista. Osittaisena ratkaisuna voidaan myös kannustaa hankkimaan vara-akkuja ja valmistella säädöksiä, jotka velvoittavat tekemään akkujen vaihtamisesta mahdollista.

Sodanajan näkökulmasta akkujen merkitys korostuu erityisesti sen takia, että kiinteän sähköverkon toiminnan jatkuvuus saattaa olla helposti uhattuna. Suuri osa maailman akkuteollisuudesta on keskittynyt Kiinaan, mikä tuottaa haasteita akkutoimittajien sitouttamiselle (*resilience of commitment*). Samaan aikaan alan raaka-aine- ja työresurssi-intensiivisyys sekä kova kilpailu tekevät kotimaisten kyvykkyyksien rakentamisesta kallista, ellei sitten uusi murroksellinen innovaatio avaa tietä uudelle markkinasegmentille. Sen sijaan akkujen korjaamiselle ja kierrättämiselle voitaisiin huolellisen sääntelyn avulla synnyttää pienimuotoiset markkinat ainakin Euroopan unionin sisällä¹¹¹.

110 Avaruudellisten suorituskykyjen geostrategisesta käytöstä ks. Holmgren 2023.

111 Euroopan akkumarkkinoiden kehityspyrkimyksistä ks. esim. European Battery Alliance 2017.

Uusiutuva energia

Uusiutuvan energian tuotantomuodot perustuvat pitkälti teknologioihin, jotka ovat olleet olemassa jo hyvän aikaa. Murrokselliset innovaatiot ovat olleet harvinaisia, mutta voimakkaasti lisääntyvä kysyntä sekä tutkimus- ja kehitystoimintaan kohdistettu rahoitus tekevät niistä yhä todennäköisempiä. Uusiutuvan energian tuotanto voidaan hajauttaa pieniin ja paikallisiin tuotantoyksiköihin.¹¹² Paikallisen tuotannon vaikutukset ovat erityisen suuria alueilla, joita ei ole kytketty kansalliseen runkoverkkoon.

Kansallisen huoltovarmuuden näkökulmasta sähköenergian varastoinnin haasteet vaikeuttavat erityisesti energiankuljetusinfrastruktuurin turvaamista ja varmuusvarastointia. Varastointiongelman ratkaisemiseen laitetaan nyt valtavan kysynnän vuoksi runsaasti tutkimus- ja tuotekehitysresursseja, mikä voi synnyttää odotuksista huolimatta merkittäviä murrosvaikutuksia. Samalla sähköntuotantomuotojen hajautuminen ja paikallistuminen vähentää laaja-alaisten katkosten riskiä ja energiansiirron tarvetta.

Sodanajan näkökulmasta aurinkoenergian merkitys suhteessa muihin uusiutuvan energian muotoihin korostuu. Tämä johtuu pitkälti akkujen pienestä koosta johtuvasta liikuteltavuudesta. Vastaavasti myös energiantuotannon hajautuminen pienempiin paikallisiin tuotantoyksiköihin näyttää hyödyllisenä, vaikka sähköverkkoa ei olekaan hajautettu itsenäisesti toimintakykyisiin solmuverkkoihin.

3.3. JÄRJESTELMÄNHALLINTA

Järjestelmähallinnalla voidaan tarkoittaa yleisesti teknologioita, jotka mahdollistavat yhä suurempien kokonaisuuksien hallinnan. Digitaaliavusteisessa järjestelmänhallinnassa tietoa kerätään laajemmin sekä organisaation sisältä että ulkopuolelta kokonaiskuvan luomiseksi, prosessiautomaation tehostamiseksi ja strategisen johtamisen vahvistamiseksi. Digitaalisavusteisella järjestelmänhallinnalla on valtava kasvupotentiaali, mutta se saattaa johtaa myös skaalaetujen kasaantumisen myötä toimijakentän supistumiseen ja jopa monopolisaatioon. Hallintamallin taustalla on langattomien verkkojen, esineiden internetin ja Big datan mahdollistama datamassojen käyttöönotto. Tässä yhteydessä on myös syytä huomata, että kehityskulku on ristiriidassa yksityisyydensuojalle keskeisen päästä-päähän-salausmallin kanssa.

¹¹² Esimerkiksi aurinkoenergian talteenoton varhaisemmassa kehitysvaiheessa aurinkokennostojen käyttövisio keskittyi syrjäisten aavikkoalueiden käyttöönottoon, kun taas lopulta varsinainen käyttöönotto keskittyi pienempiin tuotantoyksiköihin kulutuspaikkojen läheisyyteen kuljetuskustannusten ja riskien minimoimiseksi.

Järjestelmänhallintateknologioiden kehitys voi tuottaa murrosvaikutuksia esimerkiksi tiedonkäsittelyvaltaisilla aloilla, erityisesti tehostuvasta tiedonkäsittelystä ja järjestelmänhallinnasta hyötyvillä aloilla. Tiedonkäsittelijöiden jatkokoulutustarve kasvaa, ja järjestelmänhallinnan keskittämismahdollisuudet voivat tuottaa muuttopainetta asutuskeskuksiin kansainvälisestikin. Samalla alojen nopea kehitys tulee synnyttämään uusia yrityksiä, jotka vaativat pääosin korkeasti koulutettua työvoimaa.

Mikropiirit

Modernit yhteiskunnat eivät kykene tulemaan toimeen ilman mikropiirejä. Tämä johtuu luonnollisesti siitä, että yhteiskuntien tehokas toiminta perustuu monin tavoin erilaisten teknologisten laitteiden, sovellusten tai palvelujen sekä internetin ja muiden tiedonsiirtojärjestelmien käyttöön. Näiden ytimessä on joukko erilaisia mikropiirejä, kuten mikroprosessoreja, muistipiirejä, grafiikkapiirejä tai järjestelmäpiirejä. Ilman niitä tietokoneet tai muut digitaaliset laitteet olisivat valtavasti suurempia, kalliimpia ja heikompia.

Mikropiirejä tuotetaan kaikkialla maailmassa, ja erityisesti kaikkein kehittyneimmät versiot tuovat kehittäjilleen paitsi mittavaa taloudellista hyötyä myös geoekonomista valtaa, joka kumpuaa osittain asymmetrisestä riippuvuudesta. Kansallisen huoltovarmuuden näkökulmasta on hyvä huomata, että Suomessa suunnitellaan erityispiirejä, mutta niiden tuotantomahdollisuudet ovat rajalliset. Suuri osa mikropiirien tuonnista on kuitenkin mahdollista hajauttaa, sillä ainoastaan huipputuotteet (kaikkein pienintä teknologiaa käyttävät, tehokkaimmat mikropiirit) ovat yksittäisten monopolien hallussa. Huipputuotteiden tapauksessa lyhyet toimituskatkokset tuskin olisivat ongelmallisia, mutta valmistajia voi myös pyrkiä sitouttamaan palvelun jatkuvuuteen esimerkiksi sopimuksin.

Sodanajan näkökulmasta on hyvä huomata, että kaikki digitaalisia komponentteja sisältävät puolustuslaitteet hyödyntävät mikropiirejä ja ovat usein erikoissuunniteltuja. Laitteiden huolto ja korjaus tapahtuu usein komponenttitasolla (samoin kuin varmuusvarastointikin), mutta mikropiirien pieni koko mahdollistaa niiden maa- ja lentokuljetuksen, mikä helpottaa logististen ketjujen ylläpitämistä tilanteessa, jossa Itämeren laivayhteydet on katkaistu ja ilmaherruus kyseenalaistettu.

Pilvirobotiikka ja reunalaskenta

Pilvirobotiikalla tarkoitetaan automaatiota, joka tapahtuu hajautetusti pilvipohjaisessa ympäristössä. Keskenään pilvessä kommunikoivat robotit mahdollistavat useiden laitteiden hallitsemisen yhtenä kokonaisuutena. Reunalaskennalla taas tarkoitetaan tiedon prosessoinnin, käytännössä

laskentaoperaatioiden, hajauttamista mahdollisimman lähelle käyttökohdetta eli (pilven) reunalle, jotta tietoliikennekaistaa vapautuu muulle datavirralle. Kun näitä sovelletaan yhdessä, laitteiden hallinta keskitetään ja datan prosessointi puolestaan hajautetaan reunalle. Tämänkaltaisen tekniikka mahdollistaa entistä suurempien ja monimutkaisempien kokonaisuuksien yhteisohjaamisen ja samalla tilannekuvan ylläpitämisen. Se myös mahdollistaa kyvykkyyksien jakamisen eri toimijoiden kesken, mikä laajentaa käyttäjäpohjaa.¹¹³

Huoltovarmuuden kannalta tekniikan mahdollistama hajauttaminen ja järjestelmäoptimointi helpottavat yhteiskunnan eri toimintojen jatkuvuuden hallintaa, mutta samalla lisäävät riippuvuutta (joskus ulkomailla sijaitsevista) hallintakeskuksista. Reunalaskennan myötä myös aiempaa suurempi määrä dataa tuotetaan reunalla, mikä mahdollistaa paikallisen jalostamisen ja vähentää datansiirrosta syntyvää energiankulutusta ja tietoturvariskejä. Tekniikan pitäisi myös useimmiten lyhentää häiriöaikojen kestoja, koska hajautetun arkkitehtuurin ansiosta järjestelmän pitäisi kaatua ainoastaan osa kerrallaan häiriötilanteiden ilmaantuessa.

Sodanajan näkökulmasta edut suorituskykyjen hajauttamisesta ja verkkoliikenteen vähentämisestä tai välttämisestä kannustavat puolustusvoimia (ja yleisemmin eri maiden sotilasvoimia) panostamaan pilvirobotiikkaan ja reunalaskentaan. Siinä missä reunalaskenta mahdollistaa kriittisen tiedon pitämisen tuotantopaikassaan, pilvirobotiikan osalta tieto- ja signaaliturvallisuuden haasteet vetävät kuitenkin toiseen suuntaan.

Avoimen datan palvelut

Avoimen datan palvelulla (*open digital architecture/ open data repository*) tarkoitetaan erillisellä palvelimella sijaitsevaa palvelua, joka tallentaa avoimesti, ilmaisesti ja reaaliaikaisesti haettavaksi esimerkiksi tutkittua tietoa, koodinpätkiä tai ohjelmistoja. Kyseessä on järjestelmänhallintamalli, jossa tieto ja tuotteet tarjotaan kaikille vapaasti käytettäväksi ja kehitettäväksi. Toisin sanoen kyse on tiedon hajauttamisesta, mutta mallin pohjalta harjoitetaan myös liiketoimintaa. Esimerkiksi käyttämällä ja kehittämällä ilmaiseksi tai alennettuun hintaan tarjottuja tuotteita käyttäjät tuottavat serverin ylläpitäjille dataa, jota voidaan hyödyntää seuraavassa tuotteen iteraatiossa. Toisaalta tarkoituksena voi olla tutustuttaa ja sitouttaa ihmisiä ja yrityksiä myöhemmin maksulliseksi muutettavan palvelun käyttäjiksi, tai tarjolla saattaa alusta asti olla 'paranneltu' maksullinen versio. On myös mahdollista, että kaikki kolme edellä mainittua vaihtoehtoa ovat käytössä yhtäaikaisesti.

113 Ks. Cao et al. 2020.

Kansallisen huoltovarmuuden näkökulmasta avoimen datan palvelut tukevat kansallisten ratkaisujen käyttöönottoa, koska ne lisäävät sovellettavuutta ja korjattavuutta sekä niihin vaadittavan osaamisen leviämistä. Samalla riski kriittisen osaamisen menettämisestä vähenee. Keskeisimmin datan avoin saatavuus kannustaa tuottajia laittamaan resursseja fyysisten ja digitaalisten haavoittuvuuksien ja epäoptimaalisuuksien paikkaamiseen. Samalla se luo markkinat lisäsovelluksille tai moduuleille, jotka paikkaavat haavoittuvuuksia. Kilpailuedun saavuttaminen tuotteiden tai järjestelmien heikkouksien piilottamisella tai epärehellisellä markkinoinnilla ei ole yhteiskunnan edun mukaista.

Tietoisuus vallitsevista haavoittuvuuksista on hyvin arvokasta, sillä yhä useammat sotilaalliset suorituskyvyt nojaavat joka tapauksessa siviilitoimijoiden kehittämiin ja hallitsemiin teknologisiin järjestelmiin. Tiedon avoimuutta pitää aina punnita olemassa olevia salauskyykykyksiä ja oleellisten tietomurtajien kyykykyksiä vastaan, jotta ei vahingossa päädytä tilanteeseen, jossa tieto salataan omilta muttei vastustajilta.¹¹⁴

Suljetut arkkitehtuurit

Suljetut arkkitehtuurit (*closed-system environment*) ovat teknologisia kokonaisuuksia, joiden toimintaperusteet pyritään salaamaan ja joihin päivityksiä voi syöttää vain tiukasti kontrolloidun järjestelmän kautta. Kyseessä on siis järjestelmänhallintamalli, jossa kaikki muuttujat pyritään pitämään tiukasti hallinnassa turvallisuussyiden takia ja jottei kukaan muu pääse hyötymään käyttäjädatasta. Avoimen datan palvelumallin tavoin myös suljettujen arkkitehtuurien suosio on kasvussa: ne ovat osoittaneet toimivuutensa esimerkiksi Applen tuoteperheen laitteissa sekä eri valmistajien pelikonsoleissa ja ajotietokoneissa.

Kansallisen huoltovarmuuden näkökulmasta asiallisesti toteutetut suljetut arkkitehtuurit ovat lähtökohtaisesti luotettavia ja niihin on vaikea murtautua. Niiden kehittäminen kuitenkin vaatii korkeatasoista osaamista ja merkittäviä taloudellisia panostuksia. Lisäksi keskitettyihin arkkitehtuureihin perustuvat järjestelmät ovat kriittisesti riippuvaisia yksittäisistä ylläpitäjistä, jotka eivät usein ole kansallisen määräysvallan piirissä edes valmiuslain voimassaoloaikana ja joita ei ole mahdollista kansallistaa. Mikäli suljetun arkkitehtuurin ylläpitäjä joutuu vaikeuksiin, on koko järjestelmän romahtaminen mahdollista tavalla, jossa korvaajan on hankalaa tai mahdotonta hyödyntää rakennettua infrastruktuuria.

Suljetut arkkitehtuurit ovat puolustusteollisuuden piirissä edelleen suosittuja, vaikka siviilijärjestelmiin nojautuminen ja vaadittavan

114 Tämä ei luonnollisesti tarkoita, etteikö myös salauksia ja turvatoimia pitäisi vahvistaa, tai että turvallisuusorganisaatioilla olisi painetta siirtyä avoimen datan palvelumalliin.

osaamisen kustannusten nousu on pakottanut alan toimijat osittaiseen muutokseen.

Digitaalinen tuotantoverkosto

Digitaalisella tuotantoverkostolla (*digital supply network*, DSN) tarkoitetaan digitaaliavusteista verkostomaista tuotantojärjestelmää, jossa pyritään tehostamaan laitteen tai palvelun tuottamista sekä edistämään verkkomaisen järjestelmäkokonaisuuden hallintaa keräämällä syötteitä (informaatiota) järjestelmän eri lähteistä.¹¹⁵ Yksinkertaistettuna kyse on tietopohjaisen päätöksenteon mahdollistamisesta ja automatisoinnista. DSN-lähestymistavan ytimessä on tuotantoverkoston kartoittaminen ja seuraaminen paitsi prosessien sujuvoittamiseksi ja tehostamiseksi, myös häiriöiden ennakoimiseksi ja ennaltaehkäisemiseksi digitaaliavusteisella keskusyksiköllä. Sellaisenaan kyseessä on varautumisen ympärille rakennettu tuotannon optimointijärjestelmä, jonka heikkouksia ovat hinta, riippuvuus digitalisaatiosta sekä digitaalisuudesta kumpuava haavoittuvuus.

Kansallisen huoltovarmuuden näkökulmasta digitaalisen tuotantoverkoston avulla voidaan pyrkiä luomaan kansallista, sektorirajat ylittävää tilannekuvaa. Digitaalisena huoltovarmuusjärjestelmänä DSN olisi erittäin kallis, mutta on myös mahdollista, että investointi tehostaisi kansallista tuotantoa riittävästi ollakseen pitkällä tähtäimellä valtiontaloudelle kannattava. Lisäksi tietosuoja- ja kilpailuteknisistä syistä kyseinen järjestelmä olisi toteutettavissa vain julkisen sektorin toimesta.

Sodanajan näkökulmasta DSN-järjestelmiä sovelletaan erityisesti logistiikkaketjujen ennakoivaan optimointiin, ja teknologian kehittämiseen investoidaankin nyt merkittävästi erityisesti Yhdysvalloissa.

115 Ks. Sinha et al. 2021.

Älykaupunki

Älykaupungilla voidaan suppeassa merkityksessä viitata urbaanille alueelle rakennettuun digitaalisoituun kontrolliverkkoon, jossa kulutusta, tarjontaa, ja valvontaa voidaan säätää tarpeen mukaan, tai laajasti kaupunkiin, jossa toimintoja on digitalisoitu. Älykaupunkien piirteitä ovat esimerkiksi sähkö- ja lämmönsiirtoverkkojen sensorienvarainen optimointi, liikennejärjestelyjen optimointi ja uudelleenohjaus, automaattiveloitus, tiedonkeruu käyttöasteista ja massavalvonta.¹¹⁶ Erityisesti massavalvonnan suosio kasvaa vauhdilla. Se perustuu pitkälti erinäisten sensorien, erityisesti kameroiden, avulla kerättyyn dataan sekä visuaalista dataa analysoiviin koneoppimis-malleihin, joita soveltamalla kaupungilla liikkuvia ihmisiä on mahdollista tunnistaa biometrisesti. Myös ihmisten toimintaa on mahdollista kategorisoida lähes reaaliajassa. Älykaupunkia voidaan pitää digitaalisen tuotantoverkoston skaalattuna versiona.

Huoltovarmuuden näkökulmasta on tärkeää taata esimerkiksi sensorien tai tiedon prosessointiin liittyvien tuotteiden saatavuus kaikissa olosuhteissa. Mitä paremmin ymmärretään älykaupunkien tuotteiden tuotantoketjuja (kaikkine osineen), sitä paremmin voidaan ennakoita pullonkaulojen vaikutuksia sekä varautua hankintaan liittyviin toimitushäiriöihin. Keskeisiä varautumiskeinoja ovat tällöin esimerkiksi tuotteiden kohdennettu varmuus- ja vastuuvastointi sekä vaihtoehtoisten toimittajien etupainotteinen kartoitus. Yleisemmin on myös hyvä huomata, että sensoriverkkojen toteuttama seuranta mahdollistaa häiriötiedon välttämisen toimijoille, joihin häiriön aiheuttamat viiveet tulevat vaikuttamaan ennen kuin itse häiriöt ilmaantuvat.

Sodanajan näkökulmasta älykaupunkien mahdollistaman tehokkuusoptimoinnin varjopuolena on riippuvuus monimutkaisen ja samalla verrattain haavoittuvasen järjestelmän jatkuvuudesta, olipa kyseessä sodanajan kyberhyökkäys, kineettinen pommituskampanja tai järjestelmän ylläpitoon osallistuvan ulkomaisen yrityksen päätös vetäytyä riskialueelta.

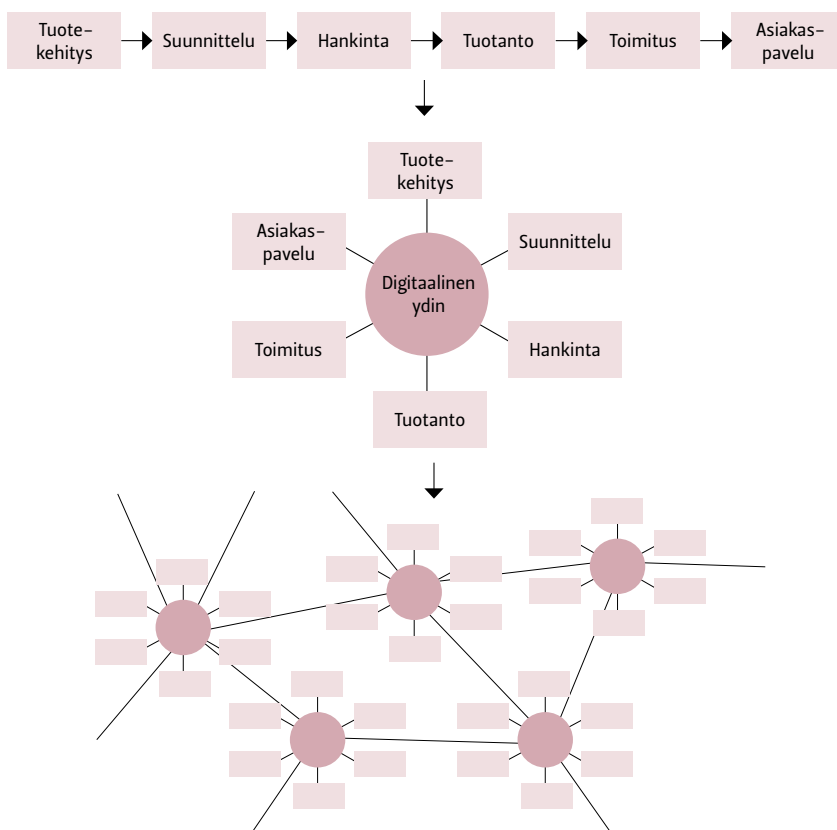
Verkkojen verkko

Verkkojen verkolla tarkoitetaan laajaa kokonaisuutta, joka itsessään koostuu useista itsenäisesti operoitavissa olevista verkoista (solmuverkoista), jotka keskustelevat keskenään. Lisäksi mikä tahansa verkon osa (solmuverkko) voi toimia kokonaisuuden hallinnollisena ytimenä niin, ettei verkkojen verkko ole riippuvainen yhdenkään yksittäisen solmun toiminnan jatkuvuudesta. Hyvä esimerkki verkkojen verkko -periaatteella toimivasta (ei-digitaalisesta) järjestelmästä on lentokenttä, sillä lentokenttien osat ovat kauppoja ja kahviloita myöten suunniteltu yhteistavoitteelliseksi kokonaisuudeksi. Toimiakseen tehokkaasti digitaalinen verkkojen verkko vaatii tulevaisuudessa muun muassa 6G-teknologiaa, pilvirobotiikkaa ja reunalaskentaa. Ilman näitä siirrettävän tiedon määrä ylittää helposti tiedonsiirtokapasiteetin rajat, jolloin solmuverkot eivät kykene toimimaan itsenäisesti. Verkkojen verkon kehittämiseen investoidaan nyt erityisesti Yhdysvalloissa. 6G-tiedonsiirtoteknologian keskeisen roolin ansiosta myös Suomella on mahdollisuus olla edelläkävijä ja hyödyntää verkkojen verkko -periaatetta ensimmäisten joukossa.

116 Ks. Angelidou 2014.

Kansallisen huoltovarmuuden näkökulmasta verkkojen verkko näyttyy mullistavana, mutta myös hintavana mahdollisuutena aggregoida tietoa ja lisätä verkkojen iskunkestävyyttä. Teknologia tulee todennäköisesti mahdollistamaan esimerkiksi sähkönsiirtoverkon rakentamisen niin, että yksittäisen verkon osan kaatuessa shokkiaalto ei kaada koko verkkoa, tai finanssiverifikaation rakentamisen niin, ettei verkkoyhteyden katkeaminen Yhdysvaltoihin, Sveitsiin ja Alankomaihin estäisi pankkikorttitransaktioiden verifointia Suomessa.

Sodanajan näkökulmasta verkkojen verkko näyttyy kriittisenä osana digitalisoituvan ja monipuolivan taistelutilan hallintaa. Sotatilassa verkkojen ylläpito tulee kohtaamaan merkittäviä ja monipuolisia toiminnanestopyrkimyksiä. Tämän vuoksi toiminnan jatkuvuuden varmistaminen tilanteessa, jossa verkon osia putoaa pois käytöstä, on kriittisen tärkeää. Samaa toimintaperiaatetta noudattaa myös internet, joka soveltuu kuitenkin heikosti merkittävää datansiirtokapasiteettia ja -nopeutta vaativien sotilaallisten suorituskykyjen ylläpitämiseen, koska se ei kykene priorisoimaan kriittisimpiä datavirtoja.



Kuva 7. Havainnollistus tuotantoketjusta, digitaalisesta tuotantoverkostosta (dsn) ja verkkojen verkosta

Sensorit

Sensoreilla viitataan teknologisiin järjestelmiin, jotka keräävät informaatiota ympäröivästä todellisuudesta ja prosessoivat sen koneelle hyödynnettävissä olevaan muotoon. Sensorit voivat kerätä informaatiota esimerkiksi valosta (kamera, röntgen, radiovastaanotin), materiaalin värähtelystä (audiovastaanotin, seismografi) tai energian liikkeistä (lämpömittari, sähkömittari, painemittari), tai kemiallisesta koostumuksesta (alkometri, palovaroitin, raskaustesti). Sensoriteknologian kehitys mahdollistaa muun muassa autonomisesti ohjautuvat autot ja lennokit¹¹⁷ (erityisesti Radar¹¹⁸ ja LiDAR¹¹⁹), entistä tarkemman ja kattavamman satelliittikuvantamisen sekä kvanttiefektien havaitsemisen ja mittaamisen. Samalla sensorien tarkkuuden kehitys mahdollistaa yhä pienempien ja suurempaa tarkkuutta vaativien kappaleiden työstämisen. Tästä ajankohtaisena esimerkkinä on kolmiulotteinen (3D) tulostaminen.

Kansallisen huoltovarmuuden näkökulmasta sensoritekniiikan kehitys mahdollistaa häiriötiedon keruun ja kattavien tilannekuvien luomisen ennennäkemättömällä tehokkuudella. Samalla sensoritekniiikan merkityksen kasvu kuitenkin lisää suhteellista riippuvuutta sensoridataa keräävistä, välittävistä ja prosessoivista järjestelmistä sekä korostaa signaaliturvallisuuden tärkeyttä. Autonomisten ajoneuvojen yleistyessä sensoritekniiikka tulee myös osaksi liikenneverkon ylläpitoa, koska autonominen ohjaus toimii vain sellaisessa ympäristössä, jossa se on koulutettu toimimaan.

Sodanajan näkökulmasta sensoritekniiikan edistysaskeleet korostavat lennokkien ja satelliittivusteisen tiedustelun merkitystä, minkä seurauksena taistelutilasta tulee yhä läpinäkyvämpi. Samalla on yhä tärkeämpää turvata sensorien ja niihin pohjautuvien laitteiden tuotantokyvyn jatkuvuus poikkeusoloissa.

3.4. MATERIAALISET MAHDOLLISUUDET

Materiaalitiede- ja tekniikka tutkii materiaalien rakennetta, ominaisuuksia ja valmistusta sekä etsii niille käyttökohteita. Materiaalikehityksellä ei vain paranneta olemassa olevien laitteiden laatua, vaan myös luodaan

117 Usein toistetusta harhakäsityksestä huolimatta lennokit eivät ole murroksellisia tuotteita, vaikka pitkällä aikavälillä tietynlaiset lennokit voivat aiheuttaa häiriöitä esimerkiksi lento- tai hyönteismyrkkyteollisuuden tuotantoketjuissa. Sen sijaan sotilaallisen käyttöparadigman muutos on ollut merkittävä sekä organisoitujen armeijoiden että puolisolitaallisten joukkojen keinovalikoiman kasvattamisessa.

118 Radioaaltojen heijastuskulmien ja nopeuksien mittari, joka soveltuu erityisesti pitkän matkan päässä olevien kohteiden ja sääolosuhteiden analysoimiseen.

119 Laserpulssien heijastuskulmien ja aikojen mittari, joka soveltuu erityisesti tarkkaan lyhyen matkan analytiikkaan.

mahdollisuuksia kokonaan uusille käyttökohteille. Useiden laitteiden kehityksessä materian saatavuus tai ominaisuudet aiheuttavat pullonkauloja, joiden purkautuminen voi aiheuttaa murrosvaikutuksia usealakin markkinasektorilla sekä luoda pohjan uusille innovaatioille. Kyse ei ole vain olemassa olevien materiaalien toiminnallisuuden parantamisesta, vaan myös kokonaan uusien mahdollisuuksien luomisesta, mikä tekee kehityksen (ja murroksellisten innovaatioiden) ennakoimisesta erityisen haastavaa.

Uudet materiaalit

Termi 'uudet materiaalit' kokoaa yhteen joukon tekniikoita, joiden avulla valmistetaan uusia käyttömateriaaleja, kuten grafeenia, hiilinanoputkia, muistimateriaaleja ja pietsosähköisiä materiaaleja (joiden avulla valmistetaan esimerkiksi haptisia pukuja ja ohjaimia). Useilla kehitteillä olevilla materiaaleilla on merkittävä murrospotentiaali talouden eri sektoreilla. Esimerkiksi tehokkaille akuille välttämättömän litiumin korvaajaa kehitetään nyt kymmenissä yrityksissä ympäri maailmaa. Useiden teknologioiden tapauksessa materiaalin saatavuus tai soveltuvuus muodostavat pullonkauloja, joiden ratkaiseminen materiaaliteknologisilla innovaatioilla voi aiheuttaa merkittäviä murroksia raaka-aineiden tuotantoketjuihin. Tästä hyvänä esimerkkinä ovat täysin synteettisen muovin massatuotannon aiheuttama kilpailu puu-, kangas-, ja metalliteollisuudelle 1940–50-luvuilla sekä useat kokonaan uudet tuotteet, joiden valmistuksesta tuli mahdollista muovin ja muovikomposiittien myötä.

Kansallisen huoltovarmuuden näkökulmasta uudet materiaalit saattavat vähentää teollisuuden riippuvuutta useista luonnollisesti esiintyvistä raaka-aineista. Esimerkiksi sinkki-manganeesioksidantti saattaa vähentää litiumin tarvetta akuissa, grafeeni piin tarvetta mikropiireissä¹²⁰ ja lasikuitumuovi alumiinin tarvetta kevytrakenneteollisuudessa. Samalla uusia materiaaleja hyödyntävät teollisuuden alat tulevat kuitenkin riippuvaiseksi vaihtoehtoisten materiaalien tuotantokyvystä ja toimitusketjuista. Kehityksen voi ennakoida tuottavan murrosvaikutuksia ja siirtävän kriittisiä riippuvuuksia toimittajasta toiseen.

Sodanajan näkökulmasta uusia materiaaleja käytetään monissa uuden sukupolven puolustusteknologisissa laitteissa. Ajankohtaisesti juuri Yhdysvalloista ostetuissa F35-häivehävittäjissä käytetään paljon uusia materiaaleja muun muassa ilma-aluksen häivekyvyn ja keveyden tuottamiseksi. Näiden keskeisten materiaalien huoltovarmuuden varmistamiseksi on solmittava erillissopimuksia. Sopimukseen liittyviä prosesseja

¹²⁰ Hyödyt tosin kertyisivät sähkönjohto-ominaisuuksista, eivät piin tarpeen vähentymisestä, koska piikin on hyvin yleinen alkuaine.

kannattaa valtionhallinnossa käsitellä oppimiskokemuksena, sillä vastaavan osaamishankinnan tarve yleistyneenä tulevaisuudessa.

Bioteknologia

Bioteknologialla tarkoitetaan biologisten organismien kehittämistä (yleensä toisessa biologisessa organismissa) ja hyödyntämistä ihmiselle hyödyllisellä tavalla. Kehittyneiden analyysimenetelmien (erityisesti BDA, AI ja sensorit) kehittyminen on nopeuttanut useiden bioteknologian alojen kehitystä genetiikasta mikrobiologiaan. Bioteknologian piiristä voikin muutaman vuosikymmenen aikajänteellä kehkeytyä uusi yleiskäyttöteknologia, kun alan sovellettavuus yleistyy terveysaloja laajemmin. Useat bioteknologia-alan sovellukset keräävät henkilöitävää kuluttajadataa, ja isoimpien yritysten tapauksessa tiedonkeruuta saatetaan tehdä kansallisesti merkittävässä mittakaavassa. Tästä huolimatta sovelluksiin ja niiden tiedonkeräämiseen liittyvät kyberturvallisuusstandardit ovat huomattavasti matalammat ja epätarkemmat kuin muiden terveystuotteiden turvastandardit. Tämän lisäksi heikkolaatuisen tietoturvan aiheuttamissa onnettomuuksissa vastuukysymykset ovat edelleen epäselviä, mikä usein vapauttaa laitevalmistajat ja palveluntarjoajat vastuusta luoden markkinan, jolla kilpaillaan heikolla laadulla.

Kansallisen huoltovarmuuden näkökulmasta lääkkeiden ja lääkintätarvikkeiden varastoimisen merkitys tuskin tulee muuttumaan. Muroksellinen uusi lääke voi aiheuttaa kilpajuoksun valtioiden varustelussa, kuten koronavirusrokotteiden tapauksessa kävi. Etukäteisvarastoinnin ollessa mahdotonta kansallisten varautumistoimien kirjo vastaavanlaisessa tilanteessa on rajattu. On mahdollista pyrkiä sitouttamaan muita valtioita olemaan sulkematta kauppayhteyksiä kriittisten tarvikkeiden osalta ja panostaa lääketieteiden osaamiseen sekä innovaatioiden syntymiseen ja niiden pysymiseen kotimaassa rauhan aikana niin, että sekä osaamista että tuotantokapasiteettia on kriisin syttyessä tarjolla.¹²¹

Sodanajan näkökulmasta suuria mullistuksia ei bioteknologian saralla ole vielä syntynyt, mutta tiedonhallintamenetelmien soveltaminen kasvavaan määrään sovelluksia voi tuottaa merkittäviä edistysaskeleita muutaman vuosikymmenen aikajänteellä. Huolena on, että uudet tiedonhallintamenetelmät mahdollistavat myös biologisten aseiden kehittämisen entistä tehokkaammiksi ja lukuisten vuosikymmenten aikajänteellä mahdollisesti jopa jossain määrin kohdennettaviksi (esimerkiksi kansanryhmiin). Kansanryhmien ja etnisyyksien rajat ovat kuitenkin aina biologisestikin hyvin joustavia, joten täysi kohdennettavuus tuskin on edes

121 Suosituksista tarkemmin luvussa 6.4.

mahdollista, ja vaikutusten hallitsematon leviäminen on aina äärimmäisen vakava riski.

Kemianteknologia ja kemiantutkimus

Kemianteknologialla (*chemical engineering*) tarkoitetaan kemiallisten tuotantomenetelmien tutkimista ja kehittämistä, usein teollisessa mittakaavassa. Kemianteknologian avulla kemian tutkimustulokset prosessoidaan laajemmin hyödynnettäväksi erilaisissa sovelluksissa esimerkiksi lääke-, öljy-, elintarvike- ja kemikaaliteknologian aloilla. Uudet digitaaliset analytiikkamenetelmät (mukaan lukien sensoriteknikka) mahdollistavat myös kemianalojen kiihtyvän kehityksen ja prosessioptimointi vaikuttaa myös kemiantekniikkaan. Tämän seurauksena on odotettavissa, että myös murroksellisten innovaatioiden esiintymistiheys kasvaa.

Kansallisen huoltovarmuuden näkökulmasta kemiantekniikan nopea kehitys uhkaa hajauttaa alan osaamista ja tuotantokapasiteettia Euroopassa, erityisesti Saksasta Yhdysvaltoihin. Uusien innovaatioiden skaalaaminen massatuotantoon soveltuviksi on kuitenkin usein hidas prosessi, mikä yhtäältä antaa aikaa varautua muutokseen ja toisaalta aiheuttaa pulonkauloja tuotantoketjuihin. Erityisesti lääketeollisuudella on taipumus aiheuttaa merkittäviä kysyntäpiikkejä ja houkutellessa vientirajoitteita, mikä korostaa sitouttamisen ja hajauttamisen merkitystä.

Sodanajan näkökulmasta kemianteollisuuden jatkuvuuden turvaaminen näyttää yhtäältä tuotantolaitosten herkkyyden takia haasteellisena ja toisaalta useiden tuotteiden vaatimien kuljetusmäärien (massa/tilavuus) suhteen verrattain ongelmattomana. Poikkeukset tähän liittyvät erityisesti polttoaineiden ja lannoitteiden kuljetukseen, sillä lähitulevaisuuden innovaatiot tuskin vähentävät niiden kuljetustarvetta (potentiaalisesti pois lukien riippuvuuden siirtymä akkuteollisuuteen ja sen raaka-aineisiin).

3D-tulostaminen

3D-tulostamisella (*additive manufacturing*) tarkoitetaan nopeasti jähmettyvän komposiittimassan tulostamista hyvin ohuina kerroksina kokonaisiksi tuotteiksi.¹²² Teknologian ansiosta komponentteja ja varaosia voidaan tuottaa paikallisesti, mikä paitsi vähentää kuljetusjärjestelmien kuormitusta myös lyhentää erikoisosien odotusaikoja. 3D-tulostaminen myös halventaa erityisesti sellaisten erikoisosien tuottamista, joita tarvitaan pieniä määriä.

Kansallisen huoltovarmuuden näkökulmasta tuotantomenetelmän yleistymisen johtaa todennäköisesti siihen, että tulostinmassan

122 Ks. Wong & Hernandez 2012.

ja erityisesti 3D-tulosteiden pohjapiirustusten varmuus- ja velvoitevarastoinnin merkitys kasvaa. Syynä on se, että 3D-tulostettavat tuotteet soveltuvat käytettäviksi tuotantoketjujen häiriöiden aikana. 3D-tulosteiden pohjapiirustusten varmuus- ja vastuubarastointi sekä avoimen lähdekoodin datapankkien tukeminen kannattaakin aloittaa hyvissä ajoin.

Sodanajan näkökulmasta 3D-tulostaminen hakee vielä muotoaan, mutta erityisesti metalliseosten hyödyntämismahdollisuuksien kehittäminen saattaa parantaa esimerkiksi erilaisten kentällä käytettävien laitteiden komponenttien huoltovarmuutta. Puolustusteollisuudessa tuotteiden elinkaaret ovat usein hyvin pitkiä, eikä kaikkea voi varastoida tai edes ostaa. Tämä korostaa paikallisen, reaaliaikaisen 3D-tulostamiskyvykkyyden merkitystä sekä tulosteiden pohjapiirustusten huoltovarmuutta.

3.5. FINANSSITEKNOLOGIAT

Finanssiteknologia (*financial technology, fintech*) voidaan määritellä teknologian mahdollistamiseksi innovaatioiksi, joilla on potentiaali tuottaa finanssipalveluihin, -instituutioihin tai -säädäntöön vaikuttavia uusia bisnesmalleja, sovelluksia, prosesseja tai tuotteita.¹²³ Yleisesti ottaen voidaan sanoa, että finanssiteknologioiden kehitys tehostaa resurssiallokaatiota ja lisää siitä hyötyvien tahojen määrää. Määritelmän mukaisesti fintech on kategoriana potentiaalisesti päällekkäinen kaikkien muiden kategorioiden kanssa, niin että kategoriointi tapahtuu jälkikäteen vasta finanssisektorivaikutusten ilmestyttyä. Fintech-sovelluksia liitetäänkin usein olemassa olevien finanssipalveluiden kylkeen tehostamaan ja kehittämään niitä kokonaan uusien sovellusten ollessa harvinaisia mutta usein murroksellisia.

Fintech-sektori on kasvanut räjähdysmäisesti erityisesti älypuhelimien yleistymisen myötä. Taustalla vaikuttavat älypuhelimien käyttöliittymän joustavuus, puhelinarkkitehtuurien¹²⁴ rajallisuudesta johtuva verrattainen turvallisuus¹²⁵ ja älypuhelimien laaja levinneisyys (älypuhelimia on arviolta kolme kertaa enemmän kuin henkilökohtaisia tietokoneita).

Kansallisen huoltovarmuuden näkökulmasta finanssiteknologisten murrosten ennakointi ja niiden mahdollisten seurausten arviointi on haastavaa, sillä muutokset voivat vaikuttaa järjestelmiin, joiden tuotantoketjujen ainoa Suomessa sijaitseva osa on loppukuluttajat. Lisäksi finanssiteknologioiden säädäntä tapahtuu yleensä EU-tasolla ja usein

123 Financial Stability Board FSB 2017.

124 Teknologinen arkkitehtuuri voidaan määritellä komponentit yhdistäväksi suunnitelmaksi (*design*).

125 Hyppönen 2021.

vasta kun jokin teknologia on jo vakiintunut käyttöön. Tietotaloussiirtymän myötä arvonsiirron ja omaisuuden järjestelemisen muodot voivat kohdata merkittäviäkin muutoksia seuraavien vuosikymmenten aikana, mutta konkreettisia prosesseja ei ole havaittavissa.

Pankkien ulkopuolinen rahoitussektori

Pankkien ulkopuolisella rahoitussektorilla (*Non-bank financial institutions*, NBFi) tarkoitetaan instituutioita, joilla ei ole pankkitoimintaan oikeuttavia lisenssejä ja jotka eivät siksi saa vastaanottaa asiakastalutuksia, mutta jotka kuitenkin fasilitoivat muita perinteisten pankkien tarjoamia palveluita, kuten finanssiliikennettä, sijoitus- tai riskinjako- palveluita, arvopaperivälitystä, talouskonsultointia tai maksunvälitystä.¹²⁶ Pankkien ulkopuolisen rahoitussektorin kasvu on ollut erityisen nopeaa Aasiassa. Kiinalaisen WeLabin ja filippiiniläisen vmoneyn arvioidaankin olevan maailman suurimmat fintech-yritykset.¹²⁷ Suomessa tanskalainen MobilePay vastaa merkittävästä osasta pankkien ulkopuolista rahaliikennettä.

Kansallisen huoltovarmuuden näkökulmasta pankkien ulkopuolinen rahoitussektori hajauttaa finanssiliikennettä, mutta samalla toistaiseksi kevyt sääntely ja usein määrittämättömät vastuullisuuskysymykset siirtävät riskejä yrityksiltä valtiolle ja asiakkaille.

Sodanajan näkökulmasta pankkien ulkopuolisen rahoitussektorin toimijoita ei ole toistaiseksi sitoutettu toimimaan kohonneen maariskin ympäristössä. Sitouttamisesta tarkemmin luvussa 6.3.

Kryptovaluutat

Kryptovaluutoilla tarkoitetaan kryptografiaan perustuvia yleisen keskuspankkijärjestelmän ulkopuolisia digitaalisia vaihdon välineitä.¹²⁸ Tunnetuimpia kryptovaluuttoja ovat esimerkiksi niistä ensimmäisenä luotu Bitcoin (BTC) sekä huomattavasti nuoremmat Ethereum (ETH) ja Tether USDt (USD₮). Suurin osa kryptovaluutoista nojaa ylläpito- ja välityspalveluihin, joiden arkkitehtuuria ylläpitävät fintech-yritykset. Osa kryptovaluutoista perustuu jaetun ja hajautetun tietokannan verifikaatioon eli lohkoketjuun. Käytännössä niidenkin kohdalla markkinoiden ylläpidosta vastaa tyypillisesti yksi ylläpitäjä tai pieni joukko, joka veloittaa palvelustaan provision vaadittavan laskentatehon takia. Lohkoketjuun nojaavien valuuttojen tapauksessa keskeisenkään ylläpitäjän poistuminen markkinoilta ei lopullisesti romahduta valuuttaa, vaan vaihdantajärjestelmä

¹²⁶ The World Bank 2012.

¹²⁷ Wewege & Thomsett 2020, 30–31.

¹²⁸ Ks. Reserve Bank of Australia 2022a.

voidaan pystyttää uudelleen käyttämällä lohkoketjussa turvassa olevia tietoja. Kryptovaluuttojen arvo vaihtelee määränlisäysmenetelmän¹²⁹ sekä kysynnän ja tarjonnan mukaan, mikä luo investoijille kannusteet houkutella uusia investoijia markkinoille. Koska fintech-yrityksille ei ole asetettu samanlaisia laatu-, vastuu-, ja laillisuusvelvoitteita kuin pankkeille, on kryptovaluutoista muodostunut merkittäviä rikollisen vaihdon välineitä.

Kansallisen huoltovarmuuden näkökulmasta kryptovaluuttojen käyttö on Suomessa vielä sen verran vähäistä, ettei sillä juuri ole huoltovarmuusvaikutuksia. Yhdysvalloissa on kehitteillä kryptovaluuttojen luotettavuutta lisäävää sääntelyä, jolla toivotaan olevan käyttöä lisäävä vaikutus, mutta koska samalla ero perinteisiin valuuttoihin vähenee, ei kehityskulku ole selvä. Lohkoketjuteknologialla laajemmin on kuitenkin potentiaalia synnyttää murroksellinen innovaatio.

Sodanajan näkökulmasta kryptovaluutoille on muodostunut merkittävä rooli kavalletun tai varastetun sotilaskaluston ja tiedustelutiedon kaupassa sekä palkkasotilas- ja kyberrikollisorganisaatioiden toiminnan rahoituksessa. Suomeen toiminnalla on kuitenkin vähäiset vaikutukset, mutta sodan aikana harmaa talous usein lisääntyy ja Suomen kaltaisessa teknologisesti kehittyneessä maassa kryptovaluutoille voisi kehkeytyä merkittäväkin laitonta kauppaa fasilitoiva rooli.

Digitaaliset keskuspankkivaluutat (CBDC)

Digitaaliset keskuspankkivaluutat (*Central Bank Digital Currency*, CBDC) ovat kryptovaluuttojen oleellinen alaluokka. Ne ovat keskuspankkien liikkeelle laskemia ja takaamia digitaaliseen verifikaatioon ja kryptografiaan perustuvia valuuttoja.¹³⁰ Yksikään näistä digitaalisista valuutoista ei hyödynnä lohkoketjuteknologiaa. Tyypillisesti digitaaliset keskuspankkivaluutat noteerataan yhteismitallisesti keskuspankkien ylläpitämän käteistakauksen kanssa. Keskuspankkien digitaalisten valuuttojen ylläpito kuitenkin eroaa osittain perinteisestä finanssiarkkitehtuurista, mikä tuottaa omat lupauksensa ja riippuvuussuhteensa liittyen kuluttajadatan keräämiseen, finanssi liikenteen valvontaan ja tietoturvaan. Toisin sanoen, CBDC:n tapauksessa perinteisten luottokorttien transaktiosta (ja metadatatista) vastaisi kaupallisen pankin sijaan keskuspankki ja täten viime kädessä valtio.

129 Esimerkiksi Bitcoinien maksimimäärä määriteltiin valuutan luonnin yhteydessä, ja niiden hankintaa varten luotiin pääosin sattumanvarainen ja enenevän monimutkainen matemaattinen yhtälö, jonka ratkaisemista kilpajuoksuna muiden ”mainareiden” (*miners*) kanssa kutsutaan louhinnaksi (*mining*). Louhinta yö valtavat määrät laskentatehoa ja sähköä, ja on siksi vaikuttanut sekä sähkön että grafiikkakorttien maailmanmarkkinahintaan merkittäväällä tavalla.

130 Ks. Reserve Bank of Australia 2022b.

Kansallisen huoltovarmuuden näkökulmasta digitaaliset keskuspankkivaluutat lisäävät valtion kontrollia finanssiliikenteestä. Samalla järjestelmän ylläpitokustannukset siirtyvät osittain kaupallisilta pankeilta valtioille, minkä hyvin toteutettuna pitäisi vähentää kaupallisten pankkien vipuvoimaa, luottokorttimarkkinoiden monopolisaatiota¹³¹ sekä yleisesti talouskuplien riskiä.

Sodanajan näkökulmasta keskuspankkien kontrollin vahvistaminen digitaalisesta finanssiliikenteestä tuskin tuo merkittäviä muutoksia. Digitaalisten keskuspankkivaluuttojen myötä valtion vastuu näennäisesti lisääntyy, mutta käytännössä valtio usein kantaa viimekätistä vastuuta rahoitusmarkkinoiden toimivuudesta jo nyt. Tämä näkyy esimerkiksi finanssinsa huonosti hoitaneiden pankkien pelastamisina konkurseilta, minkä tarkoituksena on turvata niiden asiakkaiden ja finanssimarkkinoiden vakaus, kuten kävi esimerkiksi vuoden 2008 finanssikriisin yhteydessä.¹³² Valtio takaa talletukset tiettyyn rajaan asti ja suojaa täten myös pankkien asiakkaiden omaisuutta.

¹³¹ Maailmassa on tuhansia luottokorttien liikkeelle laskijoita, mutta 10 suurinta kattavat yli 90 prosenttia markkinasta. *Wewege & Thomsett 2020, 47.*

¹³² *CNN Money 2009.*

/4

4. MAKROTEKNOLOGISET TRENDIT

Teknologisella kehityksellä on taipumus edetä nopeamman ja hitaamman kehityksen aaltolina. Tästä hyvänä esimerkkinä ovat tekoälytutkimuksen kehityksen taantumukset eli niin sanotut tekoälytalvet 1970–80-lukujen taitteessa ja uudemman kerran 1990-luvulla. Kehitys saattaa lähteä nousuun yksittäisen innovaation poikimista lisäinnovaatioista ja hiipua, kun uutta läpimurtoa ei synnykään. Tällaisen kehityksen ennakoiminen on kuitenkin äärimmäisen vaikeaa, minkä vuoksi edellisessä luvussa kehitys yksinkertaistettiin teknologia-alojen tasolle. Tässäkin on kuitenkin ongelmansa.

Kun huomio keskittyy yksittäisen tekniikanalan kehitykseen, teknologisten murrosvaikutusten todennäköisyys vähenee juuri siksi, että niitä odotetaan, vaikka uusien läpimurtoteknologioiden esiintymistiheys samalla yhä kasvaisi. Toisin sanoen yllätyksellisyys on osa ongelmaa, jonka voisi periaatteessa ratkaista investoimalla ennakoititiedon keräämiseen kaikilta teknologia-aloilta. Käytännössä tämä on kuitenkin liian kallista ja kriittisen tiedon saanti (erityisesti ulkomaisilta) yrityksiltä vaikeaa. Alipanostaminen teknologia-kohtaiseen ennakointiin taas synnyttää sokeita pisteitä samalla kun luottamus ennakoitokyvykkyyteen nousee, mikä on vaarallinen yhdistelmä. Tämän takia on perusteltua keskittää ennakoitiresurssit niin sanotusti ylemmälle tasolle, teknologiarajat ylittäviin makroteknologisiin kehityskulkuihin.

Makroteknologisen tason kehityskulkujen ennakoiminen on luotettavampaa kuin yksittäisten teknologia-alojen tasolla, koska indikaattorien määrä kasvaa ja kehitys on hitaampaa. Kehityksen vaikutuksiin varautuminen on myös tärkeämpää, koska muutokset ovat isompia. Varautumistoimet eivät kuitenkaan voi olla yhtä täsmällisiä, kun tietokaan ei voi

olla yhtä täsmällistä kuin suppeammalla tasolla. Teknologisen toimintaympäristön dynamiikkojen muuttuessa se, mitkä järjestelmät ja toiminnot ovat elintärkeitä, voi muuttua. Tällöin myös varautumisen kohdennusta on kyettävä päivittämään.

Tässä luvussa esitellään viisi tutkimushankkeen aikana identifioitua makroteknologista trendiä, joiden voidaan ennakoida vaikuttavan kansallisen varautumisen teknologiseen toimintaympäristöön niin laajasti, että ne tulee huomioida strategiatasolla. Kyseiset trendit ovat modularisaatio, miniatyrisaatio, hajautuminen, operatiivisen aikajänteen muutos sekä digitaalisen vaikutuspinta-alan kasvu.

4.1. MODULARISAATIO

Modularisaatiolla tarkoitetaan kehityskulkua, jossa yhä useammat tuotteet ovat modulaarisia eli koostuvat itsenäisistä osakokonaisuuksista eli komponenteista. Modulaarisen tuotteen keskeinen etu ja määrittäjä on, että sen komponentit voidaan vaihtaa tai niitä voidaan muokata ja korjata ilman, että kokonaisuuteen täytyy tehdä muita muutoksia. Modulaarisuus lisää laitteiden sovellettavuutta. Sen lisäksi, että valmistajat voivat tuottaa laitteita, jotka vastaavat aiempaa useampaan tarpeeseen, käyttäjät kykenevät aiempaa halvemmalla hankkimaan tarpeisiinsa erikoistuneita tuotteita, koska erikoislaitteen hankkimisen sijasta moduulikomponentin hankkiminen riittää. Modulaarisuus myös yleisesti ottaen pidentää tuotteiden elinkaarta, koska komponentit eivät yleensä vanhene samaan aikaan. Hyvä esimerkki tästä on kotitietokone, jonka elinikää voi usein pidentää vuosilla päivittämällä nopeammin vanhenevia osia, kuten näyttönohjaimen tai keskussuorittimen eli prosessorin.

Käytännön tasolla modularisaatio tarkoittaa sitä, että teknologiatuotteiden suunnittelussa muokattavuus ja korjattavuus otetaan huomioon. Tämä tapahtuu esimerkiksi ulkokuoren ja komponenttiliitosten suunnittelussa, mutta myös suunnittelemalla ohjelmistopuolen operatiiviset periaatteet kattamaan suuri, usein ennalta tuntematon määrä vaihtoehtoisia käyttötarkoituksia esimerkiksi pitämällä yhdysväyläkoodaaminen mielessä jo perusohjelmistoa suunniteltaessa. Käytännössä teknologiatuotteiden korjaaminen tarkoittaa vioittuneiden komponenttien vaihtamista ehjiin, mutta usein tämä on jopa tarkoituksella tehty vaikeaksi. Taustalla on usein dynamiikka, jossa tuotteen valmistajat ja korjaajat ovat keskenään kilpailevia yrityksiä. Modularisaatio onkin siis luonnostaan suurempien yrityserheiden tai toimijoiden etu. Tämä puolestaan korostaa tarvetta markkinoiden vapautta vahvistavalle sääntelylle, jolla alustat

avataan kilpailulle, kuten Euroopan unioni vaatii osana Digimarkkinasäädöksen toimeenpanoa.¹³³ Kartelli- tai monopoliaseman väärinkäyttöön puuttuminen myös silloin, kun se tapahtuu digitaalisessa toimintaympäristössä, on osa riippuvuuksien hallintaa ja siten kansallista varautumista.

Paikallisen muokattavuuden ja korjattavuuden helpottamisen takia modularisaation hyödyt puolustusteollisuudelle ovat selkeät. Koska tulevaisuuden sotilaslaitteet ovat yhä useammin 1) tietoriippuvaisia, 2) kaupallisia, 3) siviilien ylläpitämiä ja 4) säännöllisiä ohjelmistopäivityksiä vaativia, on niiden ylläpito huomattavasti helpompaa, mikäli pohjalla on modulaarinen alusta. Esimerkiksi lennokin lento-, ohjaus-, ja hallintabarometrit voidaan suunnitella toimimaan erillään ympäristön tarkkailubarometreistä niin, että käyttäjä voi ostaa tai valmistaa tarpeidensa mukaisen tarkkailukomponentin ja liittää sen muuten identtiseen lennokkiin. Näin sama lennokka voidaan helposti muokata etsimään ja tunnistamaan esimerkiksi ruskomäntypistiäisen toukkia metsänomistajille, herukkakoita viljelijöille, selviytyjiä pelastuspalvelulle tai vihollisen sotilaita puolustusvoimille. Tällä tavalla erikoismoduulikomponenttinsa itse valmistavat tahot (kuten puolustusvoimat¹³⁴) voivat keskittyä päivittämään vain tiettyyn toimintaan soveltuvaa moduuliaan, sillä kaupalliset toimijat ylläpitävät muita osia.

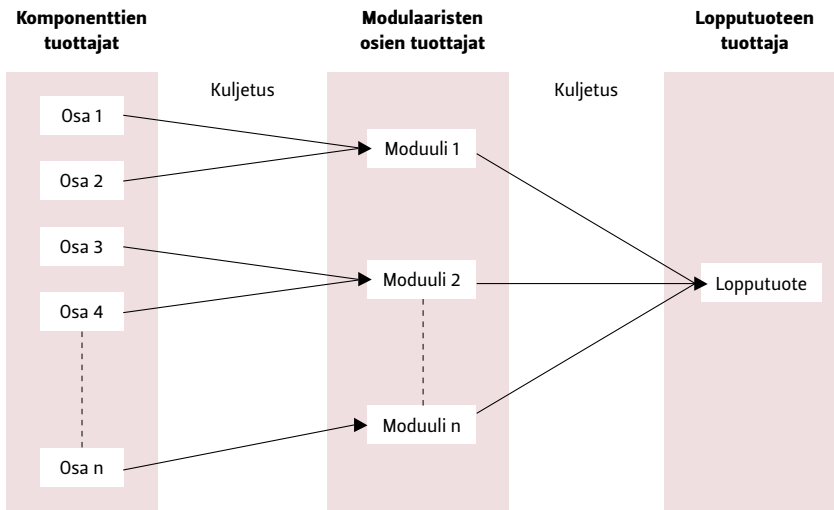
Alustan valmistavalle ja ylläpitävälle yritykselle kertyy merkittävää valtaa, mutta kilpailijoilla on myös merkittävät intressit päästä markkinoille. Pienemmille yrityksille avautuu mahdollisuus tuoda tuotteita reilulle markkinalle niin kauan kuin alustan avoimuus on lainsäädännöllisesti turvattu. Lainsäädäntövallan avulla voidaan myös vaikuttaa siihen, kuinka monta kilpailevaa alustaa markkinoille mahtuu.

Kansallisen varautumisen kannalta modulaarisuus on hyödyllinen trendi myös yleisemmin tuotantoketjujen ja niihin liittyvien riippuvuuksien hallinnassa, koska kriittiset kyvykkyydet kyetään luomaan aiempaa pienemmän laitevalikoiman avulla. Modulaarisuus myös helpottaa tuotannon hajauttamista kahdella keskeisellä tavalla: se vähentää toisistaan kriittisesti riippuvaisten linkkien määrää ja keskittää tuotantoa tarpeen mukaan toisinnettaviin kokonaisuuksiin. Toisin sanoen modulaarisuus muuttaa *Kuvan 8* mukaisesti tuotantoketjujen rakennetta lisäämällä ns. saranakohtien eli osakokonaisuuksia hallitsevien solmujen määrää.

Kehityksellä on kuitenkin myös varjopuolensa. Ensinnäkin riippuvuus alustana toimivan laitteen valmistajista ja tuotantoketjuista kasvaa, ja toiseksi saranakohtien haltijoille saattaa keskittyä portinvartijavaltaa, mikäli laitteella ei ole riittävästi kilpailukykyisiä vaihtoehtoja tai

133 Ks. European Parliament 5.7.2022. Ks. myös European Commission 6.10.2023.

134 Alustapohjaiseen lainsäädäntöön panostaminen modulaarisuuden tukemiseksi voisi myös kehittää puolustusteollisuuden kilpailumahdollisuuksia Euroopassa. Ks. Csernatonni 2021.



Kuva 8. Moduulipohjainen tuotantoketjukaavio

portinvartija-aseman väärinkäyttöä ei estetä lainsäädännöllä. Portinvartijuudella tarkoitetaan pullonkaulakohtaan hallitsemisesta syntyvän vallan käyttöä esimerkiksi markkinoille pääsyä säätelemällä. Alustojen yleistyessä myös portinvartijat yleistyvät ja niiden suhteellinen valta kasvaa, mikä on esimerkki modularisaation mukanaan tuomasta muutoksesta kansallisen varautumisen teknologisessa toimintaympäristössä, mihin on syytä varautua.

4.2. MINIATYRISAATIO

Miniatyrisaatiolla viitataan trendiin, jossa teknologiset laitteet ja niiden komponentit pienenevät. Pienemisen seurauksena enenevä määrä (yhä pienempiä) komponentteja ja niiden mahdollistamia suorituskykyjä mahtuu samaan (itsessään mahdollisesti pienevään) alustaan.

Miniatyrisaatiolla voi nähdä olevan viisi keskeistä vaikutusta. Ensinnäkin yksittäiset laitteet kykenevät vastaamaan yhä useampaan tarpeeseen. Tämän seurauksena erikoistarpeisiin vastaavien laitehankintojen suhteelliset kustannukset ovat kokonaisuudessaan alenemaan päin, mutta samalla yksittäisen alustalaitteen menetyksen suhteellinen hinta kasvaa. Esimerkiksi yksi monitoimimetsäkone kykenee suorittamaan joukon tehtäviä, joihin pari vuosikymmentä aikaisemmin saatettiin tarvita kymmenkin erikoislaitetta.

Toiseksi sovelluksien suurempi määrä mahdollistaa uusia kyvykkyys-
siä luovia synergioita. Esimerkiksi kameran ja paikkatiedon keruun yhdis-
tyminen älypuhelimissa on johtanut siihen, että kännykkäpelejä, jotka
kannustavat kuvaamaan ympäristöä lisätyn todellisuuden avulla, voidaan
hyödyntää tiedustelun työkaluna.¹³⁵

Kolmanneksi erikoiskyvykkyksiä tuottavat laitteet voidaan kiinnit-
tää entistä useammin ja halvemmalla liikuteltaville alustoille. Esimerkiksi
satelliittinavigointitiedon vastaanottimet ovat kutistuneet kokonaisista
vastaanottohuoneista 1970-luvulla yksittäisiin neliömillimetrin kokoisiin
mikropiireihin viisi vuosikymmentä myöhemmin. Tämän seurauksena
vastaanottimia on laajalti käytössä esimerkiksi autoissa, älypuhelimissa
ja älykelloissa.

Neljänneksi pienempi koko voi mahdollistaa kokonaan uuden käyttö-
tavan. Tällöin voidaan puhua kokonaisen käyttöparadigman muutoksesta.
Esimerkiksi SAR-sensorin¹³⁶ miniatyrisointi mahdollisti sen kustannus-
tehokkaan kiinnittämisen (matalan kiertoradan) satelliittiin, mikä puo-
lestaan mahdollistaa koko planeetan kuvantamisen myös pilvipeitteen ja
kevyiden katteiden läpi.¹³⁷ Toisena arkisena esimerkkinä on kameroiden
yleistyminen keskeisenä osana moderneja älypuhelimia, minkä seurauk-
sena kännykän käyttöparadigma on muuttunut soittamisesta (ja tekstai-
lusta) muun muassa tiedonhakuun, kuvien ja videoiden tallentamiseen
ja katseluun sekä pelien pelaamiseen.

Viidenneksi suorituskykyjä on aiempaa helpompi saada aikaan koros-
tamalla määrää laadun sijaan. Toisin sanoen suuri joukko halvempia ja
huonompia laitteita ja järjestelmiä kykenee tuottamaan vastaavan tai
paremman suorituskyvyn kuin harvalukuisempi joukko suuria ja laa-
dukkaita laitteita ja järjestelmiä. Hyvä esimerkki tästä on tiedustelu-
lentokoneiden merkityksen vähentyminen satelliittien ja lennokkien
kustannuksella. Valtioiden onkin paitsi kyettävä ylläpitämään ja koor-
dinoimaan yhä suurempia määriä laitteita, jotka suorittavat samaa teh-
tävää, myös varauduttava siihen, että muutkin tekevät niin.

Tiivistäen voidaan sanoa, että miniatyrisaation taustalla vaikuttaa
materiaalinhallinnan kehityksen lisäksi transistoreihin liittyvä tekno-
loginen kehitys kohti yhä pienempiä transistorivälejä, minkä seurauksena
laitteiden tiedon tallennus- ja prosessointiteho on kasvanut. Miniatyri-
saation hyödyllisyys osaltaan kiihdyttää datariippuvaisuuden kasvua ja
korkean kapasiteetin tietoliikenneyhteyksien merkitystä. Lisäksi alusto-
jen merkityksen korostuessa myös niiden turvaamisen merkitys korostuu

¹³⁵ McMillan 25.5.2022.

¹³⁶ Synthetic-aperture radar. Ks. Nasa 2024.

¹³⁷ Ks. Euroopan avaruusjärjestö 2023. Ks. myös ICEYE 2024.

niin kineettisiä kuin digitaalisiaakin uhkia vastaan. Siinä missä kyberhyökkäjän piti ennen koodata jokaiselle erikoislaitteelle oma haittaohjelmansa, nyt yhteen alustalaitteeseen vaikuttamalla kyetään sabotoimaan ja/tai vakoilemaan useita toimintoja.

4.3. HAJAUTUMINEN

Suorituskyvyt sisältävät yhä useammin spatiaalisesti hajautettuja osia – kaiken ei tarvitse välttämättä olla enää samassa tilassa. Tuotannon tasolla hajautumisesta kertoo se, että yksittäiset laitteet koostuvat yhä useamman ja usein eri maissa sijaitsevien toimittajan komponenteista. Lisäksi hajautumista nähdään yksittäisten laitteiden tasolla: etäkäyttöyhteyksien ja verkostopohjaisen järjestelmänhallinnan ansiosta suorituskyvyn mahdollistavan kokonaisuuden osien ei tarvitse sijaita samassa paikassa.

Kyse ei ole uudesta ilmiöstä. Tuotannon tasolla kehitystä voi helpoiten havainnollistaa historialliseen esimerkin avulla. Ennen teollistumista yksittäiset käsityöläiset valmistivat ja myivät useimmat tuotteet, kuten kengät ja keittiökaluusteet, alusta loppuun lukuun ottamatta niihin käytettävien raaka-aineiden keräämistä. Vieläkin pidemmälle historiaan katsottaessa myös raaka-ainetuotanto sijaitsi usein verrattain lähellä tuotteen valmistus- ja kulutuspaikkaa. Nykyään tilanne on usein radikaalisti erilainen, ja edellä mainittujenkin tuotteiden tuotantoketjut koskettavat tyypillisesti kymmeniä maita ja yrityksiä. Teknisesti monimutkaisempien laitteiden tuotantoketjut ovat tyypillisesti niin ikään monimutkaisempia. Esimerkiksi moderni älypuhelin, tietokone tai ajoneuvo sisältävät todennäköisesti jopa tuhansien valmistajien osia kymmenistä eri maista.¹³⁸ Muutos alleviivaa, kuinka tärkeää on kyetä sopeutumaan (kansainvälisen) tuotannon hajautumiseen ja tuotantoketjujen monimutkaistumiseen. Kansainvälisesti valtioiden pyrkimys sopeutua toimintaympäristön muutokseen ja koventuvaan kilpailuun näkyy esimerkiksi geoeconomisten keinojen yleistymisenä, protektionismin suosion nousuna ja yleisenä muutospainena vastustamisena esimerkiksi tekohengittämällä aiemmin menestyksekkäitä teollisuudenaloja, yrityksiä ja asutuskeskuksia.

Yksittäisten laitteiden tasolla hajautuminen näkyy hyvin esimerkiksi nykyaikaisissa lennokeissa, joita voi operoida laitteesta irrallisen ohjaimen avulla pitkienkin etäisyyksien päästä; valvontakameroissa, joiden avulla vartijan ei tarvitse olla fyysisesti läsnä vartion kohteessa; tai digitaalisissa kirjastoissa, joita käytetään fyysisen vierailun sijaan ottamalla globaalin tietoverkon kautta yhteys etsintäpalveluun ja edelleen kirjastoa

138 Ks. esimerkiksi Software Solutions Unlimited, Inc. 1.2.2024. Ks. myös Larsen et al. 2017.

ylläpitävään tietokoneeseen jossain päin maailmaa. Pisimmillään kehitys on puolustusteollisuudessa, jossa kineettisen uhan jatkuva läsnäolo erityisesti kannustaa esimerkiksi operoijan ja asejärjestelmän hajauttamiseen.

Modularisaation ja miniatyrisaation tapaan myös hajautumistrendin taustalla on tehokkuushyötyjen kasvu. Hyötyjä tavoitellaan esimerkiksi resurssien 'poolaamisella' (yksi osa, esimerkiksi komentoyksikkö tai sensori, palvelee useita laitteita), parantamalla resilienssiä (yhden osan hajoaminen ei hajota muita osia) ja uusien mahdollisuuksien synnyttämisellä (esimerkiksi lennokka pääsee paikkoihin, joihin vaikkapa helikopterilla ei pääse). Suorituskykyjen hajautuminen onkin tiukasti linkittynyt modularisaatioon ja miniatyrisaatioon, ja kehityskulut kiihdyttävät toisiaan.

Hajautuminen korostaa erityisesti tieto- ja signaaliturvallisuuden sekä yhteyksien häiriöttömän toiminnan merkitystä. Mitä pidempiä etäisyydet ja hajautetumpia järjestelmät tai toiminnot ovat, sitä enemmän turvattavaa digitaalista pinta-alaa ja useampia haavoittuvuuksia on. Pääosin kyseessä lienee varautumisen kannalta kuitenkin positiivinen kehitys-suunta, mikäli hajautettujen järjestelmien tai erillään olevien toimintojen seuranta ja ohjaus kyetään käsittelemään yhtenä kokonaisuutena samalla kun itse järjestelmät on hajautettu osiin, jotka kykenevät tarpeen vaatiessa toimimaan itsenäisesti.

4.4. MONIMUTKAISUUDEN KERROSTUMINEN JA AIKAJÄNTEIDEN MUUTOS

Aikajänteiden muutos viittaa siihen, miten paljon aikaa jonkin suoritteen eri vaiheisiin käytetään. Tiivistetysti teknologisen kehityksen myötä toimintojen suunnittelu-, tuotanto- ja valmisteluvaihe pidentyy, kun taas aktiivinen operatiivinen vaihe lyhenee. Yksinkertaistaen voidaan sanoa kehityksen pätevän kaikkiin teknologia-avusteisiin suoritteisiin, mutta poikkeuksiakin on.

Trendi pohjaa siihen yksinkertaiseen tosiasiaan, että teknologiat, laitteet, ja institutionaaliset järjestelyt rakentuvat usein edellisten versioidensa päälle, minkä seurauksena maailma monimutkaistuu. Toisin sanoen laitteiden ja järjestelmien sisältämien ja hyödyntämien laitteiden ja järjestelmien monimutkaisuus kasvaa. Trendi on lähes kaikenkattava. Esimerkiksi tuotantoketjut yleisesti ottaen pitenevät, monimutkaistuvat, ja tehostuvat. Myös riittävän osaamisen hankkiminen vie yhä enemmän resursseja, mutta toisaalta osaamisella myös saadaan yhä suurempia asioita aikaiseksi yhä pienemmässä ajassa. Yleisesti ottaen yhä suurempi

määriä muuttujia on otettava huomioon sekä kognitiivisesti että fyysisin suorituskyvyin, mikä myös lisää henkistä ja fyysistä kuormittavuutta.

Aikajänteen muutokseen liittyvät innovaatiot ovat usein murroksellisia ja vaikuttavia. Hyvä esimerkki tästä on kontin (*intermodal container*) nousu keskeiseksi osaksi merikuljetuksia. Kontin keksimisen ja käyttöön-oton myötä laivauksen valmisteluvaihe piteni käsittämään muun muassa kontin valmistuksen, täyttämisen ja kuljetuksen satamaan sekä satama- ja laiva-arkkitehtuurin muokkaukset. Samalla kuitenkin varsinainen operaatio – laivan lastaus, [purjehdus] ja purku – nopeutui merkittävästi. Saavutettu tehokkuushyöty oli niin merkittävä, että käytännössä kaikki laivausyhtiöt, jotka eivät kyenneet siirtymään käyttämään kyseistä murroksellista teknologiaa, menivät konkurssiin muutamassa kymmenessä vuodessa – huolimatta siitä, että monet niistä olivat aikansa suurimpia ja vauraimpia yrityksiä.¹³⁹

Huomionarvoista on, että konttiliikenteen nousussa dominoivaksi paradigmaksi ei ollut kyse työvoimakustannusten säästöstä. Merkittävä osa ahtaajista menetti työpaikkansa, mutta samalla merellinen rahtikuljetus laajeni merkittävästi. Kun tämä yhdistettiin konttiteollisuuteen ja tavaran liikkuvuudesta hyötyviin uusiin yrityksiin, työvoiman tarve kasvoi erityisesti niissä maissa, jotka hyödynsivät teknologiaa ensin. Kasvu syntyi siis suoritteen itsensä tehostumisesta.

Suoritteen tehostuminen voi tapahtua myös siten, että uusi innovaatio mahdollistaa aikaisempien vaiheiden pudottamisen pois, mutta usein kyse on määrittelystä. Esimerkiksi kangasnapit, joiden valmistus, myynti ja käyttö kiellettiin kovan ja väkivaltaisen rangaistuksen uhalla 1600-luvun Ranskassa, vaativat vähemmän valmistelutyötä kuin perinteiset luunapit, mikäli mukaan lasketaan kangasmateriaalin ja luumateriaalin kasvattamiseen vaadittava aika ja resurssit. Kuten mainittua, tämä saattaa kuitenkin olla määrittelykysymys, koska kangasnapit vaativat korkealaatuista, lujaa ja ohutta lankaa, jonka valmistamiseen vaaditaan tarkkoja ja kovia metallityökaluja. Näiden valmistusmenetelmät taas kehitettiin muihin tarkoituksiin, mikä on esimerkki monimutkaisuuden kerrostumisesta.

Kansallisen varautumisen kannalta oleellista on huomioida, että ylläpidettävien suorituskykyjen määrä kasvaa, yhteiskunnalle elintärkeiden toimintojen monimutkaisuus kasvaa, toiminnan suunnittelun ja valmistelun suhteellinen painoarvo kasvaa, ja että vaadittavan osaamisen määrä kasvaa. Koska monimutkaisuuden kerrostuminen muuttaa operatiivista aikajännettä ja koska osaamisen hankkiminen on aina hitaampaa kuin sen käyttäminen, pitää varautumisen suunnitteluun, valmisteluun ja osaamisen jatkuvuuteen panostaa yhä enemmän ja enemmän resursseja.

139 Gans 1995.

Sodanajan huoltovarmuuden näkökulmasta trendi korostaa jatkuvan varautumisen tarvetta eli sitä, että yhä suurempi osa suorituskyvyistä täytyy voida ottaa käyttöön yhä pienemmällä aikajänteellä. Todennäköisesti trendi myös korostaa pidäke- ja pelotevaikutusten rakentamisen ja ylläpitämisen merkitystä, koska ne ovat jatkuvasti käytössä.

4.5. DIGITAALISEN VAIKUTUSPINTA-ALAN KASVU

Modernit yhteiskunnat perustuvat yhä enenevässä määrin hajautettuihin digitaalisiin kommunikaatiojärjestelmiin ja -sovelluksiin sekä niitä hyödyntävän yhä kasvavan tietomäärän hallintaan. Tämä kehityskulku lisää kriittisten digitaalisten haavoittuvuuksien määrää ja merkitystä. Uusia haavoittuvuuksia voi löytyä esimerkiksi yhä lukuisammista tietoliikenneporteista, pullonkauloista, yhdysväylistä tai päivittämättömistä järjestelmistä ja sovelluksista.

Digitaalisen vaikutuspinta-alan kasvu on aikajänteen muutoksen tavoin suoraa seurausta teknologisen monimutkaisuuden kerrostumisesta, mutta tällä kertaa huomio on yksittäisten operaatioiden sijaan koko maailmassa. Hajautuminen, miniatyrisaatio, ja modularisaatio itsessään kiihdyttävät digitaalisen vaikutuspinta-alan kasvua, koska ne synnyttävät uusia syitä ja käyttötarkoituksia digitaaliteknologioille.

Makroteknologisten trendien lisäksi myös taloudelliset ja suurvalta-poliittiset intressit ajavat digitaalisen vaikutuspinta-alan kasvua. Tiedonhallintakyvykkyyksien (ml. tietomurtokyvykkyyksien) avulla yhä suuremmat joukot yksilöitä ja organisaatioita voivat kerryttää yhä suurempia taloudellisia hyötyjä. Samaan aikaan myös teollisuusvakoilun ja tietohyökkäysten suhteellinen tuotto-odotus kasvaa tiedon arvonnousun ja järjestelmien monimutkaistumisen takia. Voidaan olettaa, että tämä johtaa tiedonhallintaan kohdistuvien offensiivisten operaatioiden yleistymiseen osana hybridivaikuttamisen työkalupakkia, mikä korostaa varautumisen tarvetta sekä yksityisellä että julkisella sektorilla.

Yhteiskuntien ja talouksien tietoistumisen myötä kyberturvallisuuspanostusten on kasvettava yhä lähemmäksi perinteisen turvallisuuden tasoa, koska perinteisen ja digitaalisen turvallisuuden välinen erokin kapenee. Kapasiteetin kasvattamisen haasteena ja hidasteena ei kuitenkaan ole vain pula talousresursseista, vaan erityisesti osajapula hidastaa kehitystä merkittävästi¹⁴⁰. Näin ollen kapasiteetin kasvattamispyrkimysten tulee heijastua myös koulutuspaikkoihin.

140 Huoltovarmuusorganisaation Digipooli & Accenture Oy 2022.

Digitaalitekniologioiden tapauksessa innovaatiopääoman ja rahallisen pääoman lisäksi oman muuttujansa tuo datan luonne osin tuntemattomana mahdollistajana. Kaikkia datan potentiaalisia käyttömahdollisuuksia on mahdotonta ennustaa etukäteen ja koskaan ei voi aivan tietää, milloin tarkoituksien ajamiseen sitä voidaan käyttää.

/5

5. MAAILMANJÄRJESTYKSEN TASON TRENDIT

Maaailmanjärjestyksen tason trendit, erityisesti raportissa tunnistetut tietotaloussiirtymä, hybridivaikuttamisen yleistyminen ja geoekonomian suosion kasvu, ovat makroteknologisia trendejä laajempia kehityskulkuja, jotka ovat osin teknologisen kehityksen ajamia. Maaailmanjärjestyksen tason trendit ovat kuitenkin osa kansallisen varautumisen teknologisen toimintaympäristön muutosta. Kansainvälisen yhteistyön järjestelmät, käytänteet, arvot ja odotukset tulevat todennäköisesti muuttumaan siinä määrin, että myös kansallisen varautumisjärjestelmän uudelleenorientoituminen on vuosikymmenten aikajänteellä välttämätöntä.

Maaailmanjärjestyksellä viitataan tässä kokonaisuuteen, joka muodostuu toimijoiden, erityisesti valtioiden, väliseen vuorovaikutukseen syntyvistä säännönmukaisuuksista. Koska maaailmanjärjestyksen tason muutokset ovat usein hitaita ja koostuvat useista alemman tarkastelutason muutoksista, on niistä muodostuvien trendien tunnistaminen ja kehityskulujen ennakoiminen verrattain luotettavaa.

5.1. TIETOTALOUSSIIRTYMÄ

Tietotaloussiirtymällä viitataan trendiin, jossa tiedonhallintakyvyn merkitys kasvaa suhteessa muihin taloudellisiin tuotantotekijöihin, kuten raaka-aineiden tuotantoon, työvoiman saatavuuteen, tuotantolaitteiden omistukseen ja tuotantoprosessien optimointiin. Trendin voidaan yksinkertaistaen tiivistää johtavan siihen, että tiedon suhteellinen arvo kasvaa, jolloin myös tiedonhallintakyvyn panostamisen tuottama voitto-odotus kasvaa. On perusteltua myös ennakoita voitto-odotusten suhteellisen

johtoaseman olevan nyt siirtymässä niin sanotusti small datasta big dataan, eli tiedonsiirto- ja hallintokyvvykkyksistä tietomassojen analysointi- ja hallintakyvvykkyksiin.¹⁴¹

Tiedon arvonnousu näkyy esimerkiksi siinä, että useat maailman arvokkaimmat¹⁴² ja nopeimmin kasvavat¹⁴³ yritykset joko perustavat toimintansa tiedonhallintapalveluihin, kuten osaamistyön automaatisaatioon, järjestelmähallintaan ja tiedonvälitykseen, tai niitä mahdollistavien laitteiden suunnitteluun ja valmistukseen. Talousjärjestelmää, jossa tiedonhallintakyvyn tuotto-odotus on korostuneen suuri, kutsutaan tietotaloudeksi.¹⁴⁴ Tietotaloudella voidaan kuitenkin talousjärjestelmän painotusten lisäksi viitata myös siihen osaan maailmanmarkkinoita, jossa tiedonhallinnalla on suuri painoarvo.¹⁴⁵

Tietotaloutta voidaankin pitää kategoriana, joka kokooa alleen kaikki tässä raportissa esitetyt tiedon liikkuvuuteen ja käyttöön vaikuttavat muuttujat yksittäisistä innovaatioista makroteknologisiin kehityskulkuihin. Ylätason kategoriana tietotalous-termistä on riisuttu huomattava määrä informaatiota, mutta samalla se kattaa valtavan määrän tärkeitä kehityskulkuja kognitiivisesti käsiteltävänä olevana pakettina. Tätä tiedon arvonnousun trendiä voi hyvin käsitellä murroksena, jolloin puhutaan tietotaloussiirtymästä.

Tietotaloussiirtymä, kuten muutkin raportissa käsitellyt murrosprosessit, näyttäytyy muun muassa siirtymäkauden aikaisina (tässä tapauksessa tiedon) tuotantoketjujen epäoptimaalisuuksina. Esimerkiksi osaamistarpeen muutos teollisilta aloilta tiedonhallintakivvyä tuotaville ja kivvykkyuden kehityksestä erityisesti hyötyville aloille näkyy työvoimapolitiittisena murroksena ja työttömyytenä. Työvoiman siirtymispaine massatuotantoalojen suosimilta taajama-alueilta tietotalouden suosiimiin asumiskeskittymiin näyttäytyy asumispolitiittisena murroksena sekä asuntojen hintojen epäsuhteena eri alueiden välillä ja suhteessa palkkoihin. Muutokset siinä, mille alueille varallisuutta erityisesti kertyy, näkyvät paitsi Suomen sisäisinä myös globaaleina trendeinä ihmisten pyrkiessä muuttamaan pois alueilta, joille kertyy yhä pienempi osuus globaalista arvosta. Kun syrjäseuduille rakennettujen suurten massatuotantolaitosten työvoiman tarve vähenee, ihmiset liikkuvat tietotalouden yritysten suosimille

141 Kehityksen ytimessä on erityisesti big data -analytiikka, tekoäly ja esineiden internet.

142 Esimerkiksi Alphabet, Amazon, Apple, Microsoft, Meta Platforms, Nvidia, TSMC ja Visa.

143 Esimerkiksi Clockify, Gumroad, Linktree, Oura, Shiprocket, Stackblitz, Tailwind ja Zerotier.

144 Tietotaloutta voidaan pitää datatalouden kattokäsitteenä, joka kattaa digitaaliseen muotoon tallennetun tiedon hyödyntämistä laajemman taloustoiminnan. Näin ollen tietotalous kattaa datan lisäksi esimerkiksi osaamisen ja organisaatiomuistin. Tietotalous-käsitteestä ks. esimerkiksi Harris 2002.

145 Tiedonhallinnan tuotto-odotusten lisäksi mukaan siis lasketaan myös ne taloustoiminnat, jotka ovat kriittisesti riippuvaisia tiedonhallinta-alan yritysten palveluista ja järjestelmistä.

alueille eli hyvien (tieto)liikenneyhteyksien päähän ja sinne missä tietoa luodaan ja osaajat valmiiksi sijaitsevat – eli korkeakoulukaupunkeihin ja erityisesti pääkaupunkeihin.

Huomionarvoisesti tietotaloussiirtymän ja sitä ajavien ja hyödyntävien yritysten nousu globaaleissa arvoketjuissa ei tarkoita sitä, että aikaisemmat tuotantomuodot katoaisivat. Sen sijaan niiden sijainti globaalissa arvoketjussa alenee. Ennen tietoteknologia-alojen kuvainnollista kulta-aikaa maailman vauraimpien ja nopeammin kasvavien yritysten tulonhankinta perustui massatuotantoon ja sitä ennen teolliseen tuotantoon.¹⁴⁶ Eniten arvo-osuus on laskenut kuitenkin alkutuotannossa, jossa myös työvoima-tarve on pienentynyt aikaisempaan verrattuna eniten.

Vaikka tietotaloussiirtymä on murrosvaikutuksia tuottava maailmanjärjestyksen tason trendi, on siihen sopeuduttava kansallisen tason toimin. Tämä aiheuttaa valtioiden välistä kilpailua, jossa ne valtiot, jotka kykenevät parhaiten sopeutumaan, vaurastuvat muutostavastarintaan kompuroivien valtioiden kustannuksella. Aivan kuten alempien tasojen trendienkin tapauksissa, sopeutuminen voi kuitenkin myös olla liian nopeaa ja voimakasta. Tällöin vaarana on, että sopeutuminen jää väliaikaiseksi, verrattain vähäpätöiseksi, tai haaskaa resursseja. Vaaditaan kansallista strategista ketteryyttä, jotta maailmanjärjestelmätason trendeihin sopeutuminen toteutuu niin, että yhteiskunnan sisällä jää liikkumatilaa myös alemman tason trendeihin sopeutumiselle. Tätä edistävät tehokas delegaatio, mahdollisimman avoin tiedonkulku, julkinen keskustelu ja yleinen luottamus.

Kansallisista tiedonhallinnan panostuksista käytetään joskus termiä tietoyhteiskunta. Se on tietotaloudelle rinnakkainen termi, joka viittaa sellaiseen yhteiskuntajärjestelmään, jossa tiedonhallinta on asetettu keskiöön osana yhteiskunnan perustehtävien – ja toimintojen organisoimista. Kyse on siis samojen tiedonhallintakyvyn merkitystä lisäävien dynamiikkojen käsittelemisestä talouden sijaan yhteiskunnan näkökulmasta. Tietoyhteiskunnalla voidaan kuitenkin myös viitata yhteiskuntaan, joka on sopeutunut tietotalouden aikaan. Kansallisen varautumisen näkökulmasta oleellista on, että tiedon huoltovarmuudesta tehdään strateginen prioriteetti ja että tietoliikenneinfrastruktuuria ja palveluja käsitellään tiedon oikea-aikaisen saavutettavuuden työkaluina.

Tiedon huoltovarmuudella tarkoitetaan niitä toimia, joilla varmistetaan, että yhteiskunnan elintärkeille toiminnoille kriittinen tieto on saatavilla, kun sitä tarvitaan. Tavoitteena on varmistaa, että kriisien vastustuskyvyn, toimintakyvyn säilyttämisen ja toimintaympäristön muutoksiin sopeutumisen vaatima tieto (niin osaamisena kuin datanakin) on

¹⁴⁶ Tuotantojärjestelmien ja yhteiskunnallisten ratkaisujen päivitystarpeesta ks. esimerkiksi Perez 2002. Ks. myös Hämäläinen 2003 (erityisesti luku 5), 58–79.

saatavilla häiriötilanteissa yksilön, yhteisön ja yhteiskunnan tasolla sekä kansainvälisesti siellä missä sitä tarvitaan.¹⁴⁷

Yhä suurempi osa kriittisistä tiedonhallintajärjestelmistä perustuu tietoverkkoteknologiaan, joka rakennetaan ja jota ylläpidetään Suomen ulkopuolella. Teknologisen kehityksen myötä erityisesti Big data -analytiikka, tekoäly, etähallintajärjestelmät ja digitaalinen tuotantoverkosto tehostavat tiedonhallintaa, mutta ne tulevat myös lisäämään kriittisten toimintojen tietoverkkoriippuvuutta.¹⁴⁸

Koska merkittävä osa yhteiskunnan elintärkeiden toimintojen tiedonhallintakyvykkyyksistä nojaa yksityisellä sektorilla tuotettuihin palveluihin ja järjestelmiin, on tiedon huoltovarmuutta tavoiteltava markkinaehtoisesti. Erityisen keskeistä on sitouttaa kriittinen osaaminen ja kriittiset yritykset osaksi varautumisjärjestelmää niin, että palvelusuhde jatkuu vakavankin kriisin tai häiriön yli, sekä varmistaa, että kaikki elintärkeät tiedonhallintakyvykkyudet on kahdennettu. Aiheesta tarkemmin luvuissa 7.1., 7.2. ja 7.3. On myös tärkeää suunnitella tarkkaan, mitä tietoa lopulta kannattaa kerätä ja tallentaa digitaaliseen muotoon. Tiedon määrän kasvattaminen ei automaattisesti lisää turvallisuutta.¹⁴⁹

5.2. HYBRIDIVAIKUTTAMISKEINOJEN YLEISTYMINEN

Hybridivaikuttamisella viitataan erinäisiin yhteiskuntaan kohdennettuihin ja hyökkääviksi koettuihin vaikuttamiskeinoihin, jotka eivät kuitenkaan ylitä sodan kynnystä. Kyse voi olla esimerkiksi sotaan valmistelevista toimista, tiedustelutietoa tai teollisia salaisuuksia hankkivista tietomuroista, yhteiskunnan eri ryhmittymien tai liittolaisten välisten erimielisyyksien tarkoituksenhakuisesta lietsomisesta tai edellä mainittuihin valmistelevista toimista.¹⁵⁰

Hybridivaikuttamiskeinojen käytön yleistymisen taustalla on useita syitä, joista osa liittyy teknologisen toimintaympäristön muutoksiin. Kenties tärkeimpänä näistä on teknologian mahdollistama kasvu hallinta- ja organisoimiskyvykkyyksissä. Teknologisen kehityksen myötä on mahdollista hallita entistä suurempia ja monimutkaisempia kokonaisuuksia ja siten myös edistää entistä monimutkaisempia tavoitteita. Samalla

147 Tämä määritelmä pohjaa resilienssin prosessimalliin, ks. Hyvönen & Juntunen 2018. Vaihtoehtoinen tiedon huoltovarmuuden määritelmä, ks. Jalonen et al. 2021.

148 Verkkojen verkko -teknologian voi ennakoida vähentävän verkkopohjaisten järjestelmien haavoittuvuutta.

149 Esimerkiksi asuntojen lämmönsäätöä optimoitaessa lämpötietojen kerääminen asunnoista ja toimistoista on usein järkevää ja perusteltua, mutta vain tiettyyn rajaan asti. Tarkimpien mittareiden keräämästä tiedosta voidaan esimerkiksi selvittää, milloin huoneistossa on ihminen, kuinka monta ihmistä huoneistossa milloinkin on, ovatko he kipeitä tai kiihtyneessä tilassa tai mihin aikaan he yleensä pitävät ikkunaa auki.

150 Wigell 2019.

vaikuttamiskohteiden ja -keinojen väliset synergiat lisääntyvät, mikä kiihdyttää hybridivaikuttamiskeinojen valikoiman kasvua.

Digitaalisen vaikuttamisesta -alan kasvun ohella myös vaikutuskanavien määrä on kasvanut. Globaalit verkkoteknologiat mahdollistavat entistä tehokkaamman (hybridi)vaikuttamisen maantieteellisesti yhä kauempana rajoista sijaitseviin kohteisiin oman valtion rajojen sisältä käsin. Siinä missä vielä toisen maailmansodan aikana vihollisvaltioiden alueelle pudotettiin propagandaa sisältäviä lentolehtisiä¹⁵¹, nykyään samaa tavoitetta edistetään sosiaalisen median viestien, algoritmien ja internetin hakupalvelujen avulla.¹⁵² Internetistä on syystä kehkeytynyt ylivoimaisesti käytetyin tiedonhakuväline niin siviileille, tiedustelupalveluille kuin perinteiselle mediallekin, minkä takia myös tarkoitushakuinen informaatiovaikuttaminen keskittyy verkkoon.¹⁵³

Myös vaikuttamiskohteiden määrä on kasvanut erityisesti demokratioissa, koska keskeiseen päätöksentekoon osallistuu enemmän henkilöitä. Toisin sanoen vallan tasaisemman jakautumisen myötä niiden henkilöiden ja organisaatioiden määrä, joihin vaikuttamalla voi vaikuttaa geostrategisesti merkittäviin asioihin, on kasvanut.¹⁵⁴ Myös markkinakapitalistisen järjestelmän yleistyminen valtionkapitalismin kustannuksella on todennäköisesti johtanut samaan kehityskulkuun.¹⁵⁵

Vastaavasti globalisaation myötä 'vaikuttamisen arvoisten' kansainvälisten linkkien ja epäsymmetristä keskinäisriippuvuutta aiheuttavien resurssivirtojen määrä ja suhteellinen painoarvo on kasvanut.¹⁵⁶ Osittain kehityksen taustalla ovat laivakonttien, globaalin navigoinnin ja liikenteenohjauksen, kansainvälisten tietoverkkojen sekä ylikansallisen finanssiarkkitehtuurin kaltaiset (aikanaan murrokselliset) teknologiat ja teknologiset järjestelmät.¹⁵⁷ Pohjimmiltaan kyse on kansainvälisen kaupan tehokkuushyödyistä¹⁵⁸, jotka myös mahdollistavat kaupan rajoitteiden käytön vaikuttamisen välineinä.¹⁵⁹

151 Tosin Israel käytti taktiikkaa vielä vuonna 2023, mutta taktiikka on nykyään hyvin harvinainen. Ks. Sinmaz 16.11.2023.

152 Hybridihäirinnästä ja massoihin kohdistuvasta informaatiovaikuttamisesta ks. Friedman 2018.

153 Segal 2015.

154 Demokratisaation vaikutuksista ja vastavaikuttamismahdollisuuksista hybrivaikuttamisen yleistymiseen ks. Wigell 2021. Ks. Myös Mikkola et al. 2018.

155 Oletuksen varmistamiseksi tarvitaan kuitenkin tutkimusta aiheesta.

156 Globalisaation ja linkkien roolia hybrivaikuttamisessa ks. esimerkiksi Wang & Qiao 1991.

157 Laajemmin tarkasteltuna kyse on monimutkaisuuden kerrostumisesta. Ks. Luku 5.4.

158 Globalisaation rinnalla nousevasta turvallisuusnäkökulmasta ja pitkän aikajänteen hyötyjen korostumista kuvaavasta geoekonomista tarkemmin seuraavassa luvussa.

159 Taloussodankäynnin (osa geoekonomiaa, josta tarkemmin seuraavassa luvussa) käytön lisääntymisestä ks. Mulder 2022.

Myös ydinaseiden käytön uhka ja suurvaltojen välisen sodan kustannusten nousu ovat todennäköisesti kannustaneet käyttämään ja kehittämään aggressiivisia keinoja, jotka jäävät sodan kynnyksen alle.¹⁶⁰

Hybridivaikuttamiskeinojen yleistyessä ja voimistuessa on panostettava niihin varautumiseen. Käytännössä on varmistettava, että kansallisessa varautumisjärjestelmässä on riittävästi joustavuutta, jotta laajaan (ja yhä laajenevaan) spektriin vaikuttamiskeinoja kyetään sopeutumaan. Seuraavassa luvussa suositellut toimet, jotka liittyvät pohjatason vahvistamiseen, hajauttamiseen ja sitouttamiseen, vahvistavat yleisesti ottaen myös kykyä reagoida hybridivaikuttamiseen. Koska vaikuttamiskeinoja on niin merkittävä määrä, että jokaista niistä on mahdotonta havaita tai seurata, riskineutraalius on hyvä peruseriaate, kunhan sitä täydennetään ennakoimalla yleisiä kehityskulkuja ja sopeutumalla niiden mukaiseen muutokseen.¹⁶¹

Erityisesti kansainvälisiin politiikkaprioriteetteihin vaikuttamiseen kannattaa panostaa, koska niiden tapauksessa muutostarve on jo tunnistettu. Hyvä esimerkki on Yhdysvaltojen ja Euroopan julkilausuma¹⁶² prioriteetti vähentää riippuvuuksia Kiinasta ja teknologiaosaamisen virstaamista Kiinaan. Kyseisessä tapauksessa myös strategisen riskikartoituksen tarve on tunnistettu¹⁶³, mutta keinovalikoima on vielä selvittämättä.

Erityisesti informaatiohäirinnän (*disinformation*)¹⁶⁴ tapauksessa hybridivaikuttamiseen varautumisen rakenteellisena ongelmana (varsinkin demokratioille) on keinovalikoiman asymmetrisyys, joka toteutuu sekä järjestelmien että tavoitteen tasolla.

Digitaaliteknologisten järjestelmien, erityisesti internetin, hyödyntäminen on hybridivaikuttamisessa erittäin yleistä muttei välttämätöntä. Eri tiedonsiirtojärjestelmien toiminnallisuudet myös vaikuttavat hybridivaikuttamisen keinovalikoivaan. Koska merkittävä osa vaikuttamisesta toteutetaan käyttämällä järjestelmiä niiden parametrien näkökulmasta tarkoitettulla tavalla, vaikuttamisen estäminen eroaa usein merkittävästi esimerkiksi haittaohjelmien torjumisesta.

Varsinkin Venäjän informaatiovaikuttamisstrategian (*gibridnaya voyna*) keskeinen tavoite on tiedonkäsittelykyvykkyyden heikentäminen ja luottamuksen rapauttaminen. Tavoitteena on heikentää kohteiden yhteistoimintakykyä ja tiedonvaihtoa sekä toimijoiden välistä ja sisäistä luottamusta. Keskeisenä keinona on tiedon ja väitteen sekä totuuden ja

160 Ydinaseiden ja pelon tasapainon vaikutuksista hybridivaikuttamisen ja erityisesti hybridisodankäynnin yleistymiseen ks. Hoffman 2007.

161 Hybridivaikuttamiskeinoihin varautumisesta ks. Wigell et al. 2021.

162 von der Leyen 2023. Ks. myös Sullivan 2023.

163 European Commission 2023a.

164 Wigell 2019.

informaation välisen rajan häivyttäminen.¹⁶⁵ Näin toteutettuun hybridi-vaikuttamiseen varautuvan toimijan tavoitteet ja toimet eivät voi olla symmetrisiä, koska hyökkäävän viestilähteen (hybridivaikuttajan) luotettavuuden kyseenalaistaminen edistää informaatiotilan epäluotettavuuden tavoitetta. Tämän vuoksi vastausten on pohjattava luottamuksen lisäämiseen, missä esimerkkien tuottaminen on erityisen tehokas keino. Vastauksia on kuitenkin etsittävä laaja-alaisesti, sillä erityisesti tekoäly-tekniologioiden kehitys on viime vuosina tuottanut merkittäviä työkaluja hybridivaikuttamisen käyttöön. Kehityksen ennakoidaan myös lähivuosina jatkuvan. Reaaliaikainen oppiva analytiikka, kuvan ja tekstin muokaus sekä operaattoreiden (trollien) tuotosten jakaminen muodostavat kasvan haasteen kansallisille tiedonhallintakyvykkyyksille.

5.3. GEOEKONOMIAN SUOSION KASVU

Geoekonomia¹⁶⁶ tarkoittaa talouden keinojen käyttämistä strategisten intressien ajamiseksi.¹⁶⁷ Kyseessä on yleistyvä maailmanpolitiikan käytäntö, mikä näkyy esimerkiksi erilaisten vienti- ja tuontirajoitteiden yleistymisenä, valikoivina ja kohdennettuina laatu- ja ympäristöstandardeina, kotimaisuusastevaatimuksina tai vaatimuksina siitä, etteivät kriittisten tuotteiden tuotantoketjut sisällä Kiinassa valmistettuja tuotteita.

Geoekonomisten keinojen käytön voi katsoa yleistyneen osin samoista syistä kuin hybridivaikuttamiskeinojen. Geoekonomiaa voi myöskin pitää hybridivaikuttamisen alakategoriana, joskin varsin laajana ja merkittävänä sellaisena. Geoekonomian tapauksessa erityisen keskeistä on huomioida, että teknologisen kehityksen myötä sekä valtioiden globaalien talousvirtojen ymmärryskyky että tilannetieto ovat lisääntyneet samalla kun kyky vaikuttaa niihin on vahvistunut. Tämä johtuu paitsi koordinaatiokyvyn vahvistumisesta myös siitä, että valtioiden tietoisuus muiden valtioiden kriittisistä riippuvuuksista on lisääntynyt, olipa kyse sitten sodanajan tarpeista, taloudellisista intresseistä tai teknologisista järjestelmistä. Lisäksi on tärkeää ymmärtää, että tieto mahdollistaa laajemman ja tehokkaamman geoekonomisen vaikuttamisen, minkä vuoksi sekä tieto että tietoa käsittelevät hyödykkeet ja yritykset ovat geoekonomisen vaikuttamisen välineitä ja kohteita. Tämä pätee erityisesti sellaiseen tietoon ja tietojärjestelmiin, joilla on merkittävä rooli teknologisen kehityksen mahdollistajina.

¹⁶⁵ Friedman 2018.

¹⁶⁶ Luttwak 1990.

¹⁶⁷ Wigell 2016.

Geoekonomian yleistyminen strategisena vaikuttamisen keinovalikoimana on tehnyt vaurautta tuovista valtioiden välisistä resurssi- ja tuotevirroista sekä virtojen solmukohdista hyökkäävän vaikuttamisen välineitä. Niiden avulla valtioita ja yrityksiä voidaan pyrkiä painostamaan, sitomaan tai kiilaamaan erilleen.¹⁶⁸ Entistä useammin valtio ja yritykset joutuvat tarkastelemaan tuotantoketjuja potentiaalisina haavoittuvuuksina ja tekemään riskianalyyseja, jotka arvioivat epäsymmetristen riippuvuussuhteiden aseistamista.¹⁶⁹ Näitä riippuvuuksia voi syntyä esimerkiksi kansainvälisten toimitusketjujen pullonkauloihin, monopolistiseen tai kvasimonopolistiseen asemaan pääseviin yrityksiin. Riippuvuuksia voi syntyä myös tietyn raaka-aineen tai tuotteen tuotannon keskittyessä liiallisesti yhteen maahan tai yksittäisen toimijan käsiin. Teknologisen kehityksen kontekstissa erityisesti tietoverkon pullonkaulojen, kuten Alphabetin, Amazonin, Applen, Bytedancen, Microsoftin ja Meta Platformsin ylläpitämät alustat ja tiedonvälityspalvelut¹⁷⁰ vaikuttavat valtioiden mahdollisuuksiin synnyttää globaalimarkkinoilla kilpailukykyisiä yrityksiä. Kyse ei ole vain potentiaalisesta monopoliaseman väärinkäytöstä vaan perustavanluontoisesta kysymyksestä siitä, kenellä on oikeus päästä hyödyntämään missäkin osassa internettiä sijaitsevaa tietoa esimerkiksi uusien teknologioiden kehittämiseen.

Internetin ja erinäisten intranettien yleistyessä rakennettu maantiede on noussut perinteisen maantieteen rinnalle valtiopolitiikan ytimeen.¹⁷¹ Tämä tarkoittaa konkreettisimmillaan sitä, että vaikka data liikkuu ja sitä voidaan kopioida valtavalla nopeudella, on se aina fyysistä ja sijaitsee aina jossain paikassa, minkä takia siihen voidaan myös paikallisesti vaikuttaa. Varautumisen kannalta on hyvin merkittävää, missä kriittinen tieto mil-läkin hetkellä sijaitsee ja mitä reittejä se kulkee.¹⁷² Tietoa, jonka sijainti ei ole tiedossa, ei voida tietoisesti myöskään turvata.

Samalla dataan ja tietoverkkojen toiminnallisuuksiin voidaan kuitenkin vaikuttaa hyvinkin pitkien etäisyyksien päästä lähes reaaliaikaisesti niiden toimintaperiaatteiden vuoksi. Tämä sisäänrakennettu kaukovaikutuskyky luo geostrategisia mahdollisuuksia, joita esimerkiksi maa-alasta tai teollisen tuotannon kapasiteetista kamppaillessa ei ole.

168 Ks. Wigell 2019. Ks. myös Choer Moraes & Wigell 2022.

169 Ks. Wigell et al. 2022a, 63–67.

170 European Commission 6.10.2023.

171 Siinä missä geopolitiikan geo-käsitteen keskiössä ovat maantieteellisten erityispiirteiden valtiopoliittinen käyttö ja vaikutukset, geokonomiassa huomio keskittyy rakennetun maantieteen valtiopoliittiseen käyttöön ja vaikutuksiin. Muista rakennetun maantieteen geopolitiittisista konseptualisoinneista ks. Moisis 2018.

172 Erityisesti siksi, että data ottaa automaattisesti nopeimman mahdollisimman reitin kohteeseen, mutta turvallisuusnäkökulmasta nopein ei välttämättä ole optimaalinen reitti.

Koska tieto on enenevissä määrin valtapoliittisten intressien kohde, pitää sen nousta myös kansallisen varautumisen keskiöön. Tämä tarkoittaa, että edellisessä luvussa kuvattu tiedon huoltovarmuuden konsepti tulee ulottaa tiiviimpään yhteistyöhön niiden tahojen kanssa, jotka vastaavat kyberturvallisuudesta ja kyberpuolustuksesta. Koska kyberturvallisuuden ja kyberpuolustuksen toimintaympäristö on tietoliikenneinfrastruktuuri, sen kapasiteetti, kunto, ajantasaisuus ja häiriönkestävyys sekä tietoliikennejärjestelmien ohjelmistoihin liittyvät kysymykset (esim. millaista ja kenen kirjoittamaa ohjelmointikoodia järjestelmät sisältävät) ovat suoraan kytköksissä Suomen kykyyn turvata tiedon huoltovarmuus.

Tiedon sijainnin lisäksi kansallisen varautumisen näkökulmasta on oleellista pysyä tietoisena siitä, kuka tai ketkä kyseistä sijaintia hallinnoivat ja millä toimijoilla on vaikutusvaltaa heihin. Koska merkittävä osa tietoliikenteestä on rakennettu ja sitä operoidaan yksityissektorin toimesta, on digitaalista huoltovarmuutta rakennettaessa huomioitava markkinaintressit. Jos tieto ei ole kyseiselle markkinatoimijalle kriittistä, markkinaintressit kannustavat säästämään tietoturvasta. Tämän takia laitteiden, järjestelmien ja palvelujen tietoturvalaatuvaatimukset ovat keskeinen osa tiedon huoltovarmuuden rakentamista, samoin kuin markkinatoimijoiden sitouttaminen osaksi kansallista turvallisuusarkkitehtuuria.¹⁷³ Yksityisen sektorin kumppaneita voidaan myös velvoittamaan tallentamaan kriittistä tietoa sellaiseen muotoon ja paikkaan, jossa se on käytettävissä esimerkiksi tietoverkon häiriön aikana.¹⁷⁴

Samalla on kuitenkin syytä huomioida, että tiedon turvallisin tai kansallisten suorituskykyjen kannalta optimaalisin sijaintipaikka ei välttämättä ole aina maan rajojen sisäpuolella. Erityisen haitallista on pyrkiä niin sanottuun kovaan datan lokalisaatioon eli ei-kriittisen datan liikkeiden rajoittamiseen oman valtion sisäpuolelle, koska se kannustaa muita valtioita tekemään samoin.¹⁷⁵ Sama pitää paikkansa myös osaamisen kohdalla: kansallisen varautumisen kannalta on tietysti oleellista maksimoida tiedon syntyminen (koulutuspolitiikka) ja maahan saapuminen (maahanmuuttopolitiikka), mutta myös sallia muiden maiden vastaavat toimet. Erityisesti Suomen kaltaisen pienen, ulkoisista yhteyksistä riippuvaisen maan ei kannata tukea kansainvälistä järjestelmää, jossa valtiot kilpailevat vain kotimaisin resurssein, eikä rajoittaa omien yritystensä tai kansalaistensa pääsyä tietotalouden keskisimmän resurssin äärelle.

173 Silloin, kun sitouttaminen ja esimerkiksi laatuvaatimusten pakottaminen vaikuttaa ulkomaisiin yrityksiin, toimet ovat myös geoekonomisen vallan käyttöä.

174 Huomioiden kuitenkin tiedon hyödynnettävyys kyseisessä tilanteessa. Yksinkertaisimmillaan tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että kriittiset toimijat pitävät kriittisten yhteyshenkilöidensä puhelinnumerot paperille tallennettuina.

175 Holmgren 2022b.

Yhtä lailla kuin vilja yksittäisenä resurssina on melko merkityksetöntä kansalliselle ruokahuollolle, jos kyvykkyydet kerätä, kuljettaa, prosessoida, jatkojalostaa ja jakaa sitä myyntiin/kuluttajille ovat puutteellisia, on tietokin itsessään melko lailla arvotonta ilman vastaavia kyvykkyyksiä. Kuitenkin ilman resurssia – viljaa tai tietoa – niihin liittyvät keskeiset kyvykkyydet ovat niin ikään melko merkityksettömiä kansallisen ruokahuollon tai tiedon huoltovarmuuden näkökulmista. Esimerkeissä resurssi onkin niin sanottu välttämätön muttei riittävä ehto. Kummassakaan tapauksessa resurssi itse ei kuitenkaan ole varautumisen pääasiallinen kohde, vaan käyttötuote, jonka avulla pyritään saavuttamaan jotain.¹⁷⁶

¹⁷⁶ Keskeinen ero ruoan ja tiedon välillä on se, että tieto on spesifimpää, eli sen tuottamisen tapa ja paikka vaikuttavat sen käyttömahdollisuuksiin. Toinen keskeinen ero on, että kerran tuotettua tietoa voidaan replikoida näennäisen rajattomasti.

/6

6. VARAUTUMISSUOSITUKSET

Teknologiset murrokset syntyvät yksittäisten innovaatioiden aiheuttamista markkinasiirtymistä, joista kehkeytyy yhdessä muiden kehityskulkujen kanssa makrotason teknologisia kehityskulkuja. Näiden kehityskulkujen ennakoiminen on merkittävästi luotettavampaa kuin yksittäisten teknologisten murrosten ja murrosvaikutusten. Kun trendit on tunnistettu, tarvitaan strategisen tason päätös siitä, minkä trendien kohdalla panostetaan hyötymiseen ja minkä kohdalla keskitytään negatiivisten vaikutusten välttelemiseen. Keskeistä on, että katse pidetään trendien viitoittamassa tulevaisuudessa ja varaudutaan isompiin haasteisiin sen sijaan, että poukkoiltaisiin mikrotason trendien perässä. Varautumisen tulee keskittyä yleisimmälle tasolle ja delegaation avulla tarkentua täsmällisempiin toimiin.

Teknologisiin murrosvaikutuksiin varautumisessa rakennetaan kyvykkyyttä sopeutua teknologisen toimintaympäristön muutoksiin. Teknologisia murrosvaikutuksia on hyvin eri kokoisia, ja koska talous- ja puolustusjärjestelmien teknologiset pohjat ovat keskenään erilaisia, myös teknologiset murrokset vaikuttavat niihin eri tavoilla. Useimmissa tapauksissa sopeutuminen on kuitenkin välttämätöntä, sillä valtio voi välttää murrosvaikutukset ainoastaan, jos häviävän teknologian tuotantoketjut eivät kosketa kyseistä valtiota tai jos tuotantoketjun osat siirtyvät sujuvasti ja kilpailukykyisessä aikataulussa hyödyntämään uutta teknologiaa. Näin ei kuitenkaan käy usein.

Murrokselliset innovaatiot jakavat valtiot ja yritykset hyötyjiin ja häviäjiin. Murroksellisen innovaation tehnyt yritys ja se valtio, jonka lakeja ja ohjausta kyseinen yritys viimekädessä kunnioittaa ja jonka

alueelle työpaikkoja syntyy ja osaamista kertyy, kuuluvat hyvin todennäköisesti hyötyjiin. Saavutetut hyödyt voidaan tietysti myös menettää, eivätkä kaikki murrosvaikutusten vastaanottajat ole myöskään automaattisesti häviäjiä. Usein kyse on järjestelmän kyvystä sopeutua muuttuneeseen tilanteeseen. Kärjistäen voidaan sanoa, että uuden tuotteen suosion kasvu hyödyttää kaikkia, jotka kykenevät osallistumaan kyseisen tuotteen arvoketjuun.

Murroksellisten tuotteiden menestystä on vaikea ennustaa, eikä siihen ei ole olemassa mitään yksiselkoista metodologiaa. Niinpä valtioiden ei kannatakaan yrittää ennustaa markkinavoittajia, vaan varautumisen on tapahduttava yleisemmällä tasolla. Tarkemmin sanottuna on pyrittävä varmistamaan, että väistämättä edessä olevat lukuiset teknologiset murrokset päätyvät edistämään, eivät haittamaan, valtion taloutta ja kokonaisturvallisuutta. Kyse on siis riskineutraaliuden konseptin soveltamisesta varautumisjärjestelmän ulkopuolisten järjestelmien, kuten sähköverkon tai lääkehuollon, sijasta varautumisjärjestelmiin itseensä. Yksi tapa tämän toteuttamiseen on suunnitelmallisesti laajentaa riskivetoista resilienssiä tavoitevetoisen resilienssin lähestymistavalla (luku 2.3.).

Mikäli toivottua positiivista tulevaisuutta ei kyetä sanoittamaan, ei sitä myöskään kyetä tavoittamaan kuin sattumalta. Pyrkimys nojautua tai palata olemassa oleviin järjestelmiin, toimitusketjuihin, ja teknologisiin arkkitehtuureihin johtaa helposti kehityksen jarruttamiseen. Tämä saattaa olla ajoittain välttämätöntä ja jopa toivottavaa, mutta yleinen lähtökohta sen ei pitäisi olla. Toivottua tulevaisuutta voidaan systemaattisesti sanoittaa konkreettisilla teoilla, esimerkiksi lisäämällä turvallisuusstrategioihin, varautumissuunnitelmiin ja strategiseen viestintään tavoitevisio, joka parhaassa tapauksessa on myös synkronoitu TKI-poliittisten tavoitteiden kanssa. Abstraktimmin ilmaistuna kyse on tavoitetietoisuuden luomisesta ja kommunikoimisesta niin, että sen edistäminen mahdollistuu kaikilla hallinnan tasoilla ja niin, että myös yksityissektorin kumppanit ja keskeiset liittolaiset ymmärtävät mistä on kyse ja kykenevät näkemään, miten heidän oma toivottu tulevaisuutensa voisi yhteispeleistä hyötyä.

Toivotun tulevaisuuden sanoittamisen tulisi lähteä valtionhallinnon ylimmältä tasolta ja siirtyä alaspäin hallinnollinen kerros, strategia ja suunnitelma kerrallaan. Tällöin ylimmän tason laaja visio pysyy prosessissa mukana ja tarkentuu askel askeleelta edetessään kunkin osaston, yksikön ja viraston tontille. Ylimmän tason vision määrittelemiseen tarvitaan useita hallituskausia kestävä koko eduskuntaa¹⁷⁷ koskeva konsensuspäätösmenettely. Vision tarkkuuden tulisi mahdollistaa vuosikymmenten pitkäjänteisyys ja kyetä laveasti kuvaamaan Suomen strategiset

177 Koska prosessi vaatii kaikkien puolueiden ylivaalikautisen sitoutumisen, olisi pelkkien hallitusten työllistäminen ajan haaskausta.

painopisteet erotuksena niistä suorituskyyvistä, joissa voidaan joustaa ja nojata liittolaisiin. Tätä toteutettaessa on tärkeä pyrkiä paikallistamaan Suomen markkinarako (*niche*) osana globaalia tuotantojärjestelmää.

Murrosprosessiin varautumisen osalta visio tarjoaa päätöksenteon työkaluja siihen, milloin teknologisen murrokseen kannattaa reagoida siirtymää kiihdyttävällä ja milloin viivyttelevällä tavalla, ja milloin reagointia ei ehkä tarvita. Esimerkiksi strategisilla painopistealueilla päivityssyökiön tulisi olla lyhyempiä kuin muilla alueilla, vaikka se kohottaakin liian varhaisen siirtymän riskiä. Syynä on se, että uusien teknologisten innovaatioiden pohjalta syntyvät innovaatiot ovat yleensä arvokkaampia ja vaikuttavampia kuin vanhempien versioiden pohjalta syntyneet.¹⁷⁸

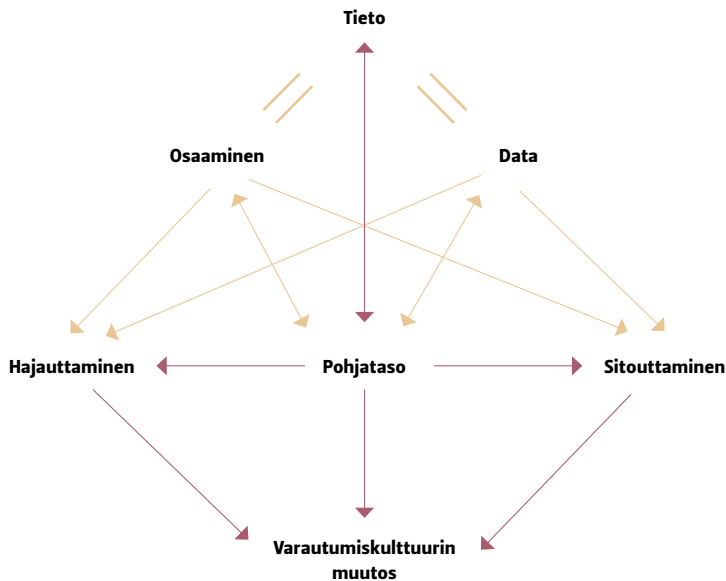
Strategisen vision määrittelyn ja kommunikoinnin lisäksi sopeutumista olisi kyettävä tukemaan myös vaadittavin hallinnollisten uudistuksien. Erityisen tärkeää on vahvistaa varautumisen poikkihallinnollisuutta eli vahvistaa niitä mekanismeja, joilla vastuuvirkahenkilöt vaikuttavat oman vastuualueensa ulkopuolisiin mutta sen kehitystä tukeviin toimiin ja toimintoihin. Konkreettisesti tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että jos virkahenkilö havaitsee kriittisen osaajapulan vaikkapa big data-analytiikan alalla, hänellä olisi tehokas kanava viestiä ongelmasta niille henkilöille, joiden työkuvaan sen korjaaminen kuuluu. Vähemmän konkreettisesti kyse on hallinnonalojen välisen vuorovaikutuksen tukemisesta.

Suomessa on hyvin vähän sellaisia toimintoja, jotka eivät olisi nyky-muodossaan ja nykyaikaisin tehokkuusvaatimuksin kriittisesti riippuvaisia moderneista teknologisista järjestelmistä. Kun modernit teknologiset järjestelmät ja niiden ylläpitämisen reunaehdot muuttuvat, myös järjestelmien itsensä on muututtava. Kyky sopeutua muutokseen sisältää myös varautumisen sopeutumistarpeeseen, mikä puolestaan on sidoksissa normaaliajan suorituskyyviin. Kriisin hetkellä on toimittava sillä osaamisella ja niillä resursseilla, jotka ovat sekä paikallisesti saavutettavissa että joiden sijainti ja käytettävyys on ennalta tiedossa. Tämän kyvykkyyden rakentamista kutsutaan pohjatason vahvistamiseksi. Kaiken edellä listatun huomioimista voidaan kutsua kansalliseksi teknologiseksi kokonaisuudeksi (*national tech stack*)¹⁷⁹

Tieto on tehokkaan toiminnan edellytys, ja teknologisen kokonaisuuden ytimessä on tiedonhallintakyky. Oikean tiedon on oltava osaavien henkilöiden käytettävissä oikealla hetkellä. Koska tämä ei tapahdu itseltään, on tiedonhallintakykyä kehitettävä kaikkien sellaisten toimintojen osalta, joissa tiedolla on oleellinen merkitys. Kansallisen varautumisen kannalta tämä tarkoittaa sitä, että tieto asetetaan keskiöön eli itsessään

¹⁷⁸ Tällä lähestymistavalla Suomen vuoden 1986 videotex- ja minitel-investoinnit voidaan tulkita olleen hyväksyttäviiä riskejä (varsinkin jos niiden seurauksena Suomeen kertyi osaamista).

¹⁷⁹ Holmgren 2022a.



Kuva 9. Tietokeskeisyyden tuominen varautumisjärjestelmään

varautumisen kohteeksi. Käytännössä tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että tiedonsiirtojärjestelmien häiriöihin varautumisen sijasta varaudutaan tiedon saatavuuden häiriöihin. Tässä tiedonsiirtojärjestelmien resilienssi on yksi hyvinkin merkittävä osatekijä ja keino muttei koko toiminnan kohde. Tiedon huoltovarmuuden varmistaminen ja sitä myöten teknologiin murrosvaikutuksiin sopeutumiskyvyn vahvistaminen voidaan jakaa kolmeen konseptuaaliseen kategoriaan, jotka ovat pohjatason vahvistaminen, hajauttaminen ja sitouttaminen.

6.1. POHJATASON VAHVISTAMINEN

Pohjatason vahvistamisen ytimessä on yhtäältä tuottaa yhteiskunnallista (häiriöiden) vastustuskykyä ja toisaalta tukea toimintakyvyn säilyttämistä ja oppivaa mukautumista. Tavoitteena on siis luoda kriisinsieto- ja sopeutumiskykyä mahdollisimman laaja-alaisesti annettujen resurssien puitteissa.

Modernin valtion johtamisjärjestelmät nojaavat viime kädessä tiedon huoltovarmuuteen. Optimitilanteessa toimintaan vaadittu tieto (niin osaamisena kuin datanakin) olisi valmiiksi siellä, missä sitä kriisin sattuessa tarvitaan, tai ainakin olisi tiedossa, miten vaadittu tieto nopeasti hankitaan. Häiriötilaan joutuneiden teknisten ja institutionaalisten

järjestelmien korjaaminen on aina nopeampaa kuin niiden korjaamiseen vaadittavan osaamisen hankkiminen. Tämän takia osaamisen laadun ja määrän varmistaminen ei voi tapahtua reaktiivisesti, vaan sen täytyy tapahtua proaktiivisesti normaaliolosuhteiden vallitessa.

Pohjatasolla viitataan juuri niihin toiminnan edellytyksiin, jotka yhteiskunnalla on kriisin sattuessa. Osaamispoolin lisäksi myös käytettyjen järjestelmien laatu, määrä, korjattavuus ja monet muut ominaisuudet luovat pohjatasoa, joka vahvistaa kriisinsietokykyä. Lisäksi on syytä huomioida, että pohjatasoa luodaan myös kansallisilla säädöksillä ja kansainvälisillä sopimuksilla. Toisin sanoen yhteiskunnan toimintaa ohjaava säädöskehikko on osa pohjatasoa, sillä se paitsi luo toiminnalle rajat, myös vaikuttaa toimijoiden itseohjautuvuuteen. Kansallisesti tai EU-tasolla tulee myös kehittää sääntökehikko sille, että henkilötietoja tai kriittistä dataa käsitteleviä järjestelmiä koskevissa julkisissa hankinnoissa ja kaupissa kilpailun ulkopuolelle voitaisiin sulkea sellaiset yritykset, joiden kotimailla ei ole dataturvallisuussopimusta Suomen tai EU:n kanssa.¹⁸⁰

Myös julkinen hankintamenettely on osa markkinatoimintaympäristön dynamiikkaa. Julkisia hankintoja ohjaavaa lainsäädäntöä ja organisatorisia käytäntöjä tulee kehittää niin, että laatu, luotettavuus ja turvallisuusnäkökannat voidaan ottaa tasavertaisesti huomioon suhteessa hintaan. Näin voidaan paitsi kehittää julkisten hankintojen kestävyyttä, myös kannustaa yrityksiä kilpailemaan hinnan lisäksi laadulla. Hankintamenettelyn uudistamista voidaan helpottaa myös luomalla kriittisille ja ei-kriittisille hankintakohteille omat sääntökategoriansa.¹⁸¹ Hankintajärjestelmän kehittämisessä tulee panostaa myös reiluuden valvontaan ja vallan tasapainotuksen mekanismeihin (*checks and balances*).

Tulevaisuudessa on yhä tärkeämpää ymmärtää uusia teknologioita ja niiden vaikutuksia. Uusien teknologioiden innovointi ei ole ainoa tehtävä, johon erityisasiantuntijoita tarvitaan. Tarvitaan myös erityisasiantuntijoita, jotka ymmärtävät murroksellisia teknologioita ja niiden laajempia vaikutuksia tiettyyn erityisalaan, organisaatioon mutta laajemmin myös talouteen, yhteiskuntaan ja jopa kansainvälisiin suhteisiin. Taloudellisen menestyksen ja kansallisen varautumisen kannalta on samalla entistä tärkeämpää, että yhteiskunta kykenee tuottamaan uusia osajia ja houkuttelemaan heitä muualta.

Tiedon syntymistä ja hajautumista yhteiskunnassa voidaan tukea eritavoin. Yksi varteenotettava ja tehokas keino olisi tukea niin sanottua kolmikierremallia (*triple helix model*)¹⁸², jolla voitaisiin esimerkiksi lisätä

¹⁸⁰ Mattlin et al. 2023.

¹⁸¹ Ibid. 75–141.

¹⁸² Etkowitz & Leydesdorff 1995, 75–103. Ks. myös Etkowitz & Leydesdorff 2000.

tilannetietoisuutta teknologisten murrosvaikutusten etenemisestä. Kolmikierremallilla tarkoitetaan tässä yhteydessä tutkimusmaailman (perustutkimus), yksityisen sektorin (tuotteistaminen) ja julkisen sektorin (regulaatio) organisaatioiden ja toimijoiden vuorovaikutuksen lisäämistä esimerkiksi yhteistyöhankkeilla tai sektorirajat ylittävällä urakierrolla. Pyrkimyksenä olisi vahvistaa kansallista osaamistasoa siten, että yhä useamman osaajan ura sisältäisi toinen toistaan tukevia työvuosia kaikilla kolmella sektorilla. Koulutuksen merkitys osaamisen pohjatason luomisessa ulottuu päivähoidosta korkeakouluihin ja aikuisopistoihin, uudelleen koulutusmahdollisuuksiin, harjoittelutukiin ja vuorotteluvapaisiin.

Suomi ei kuitenkaan kykene tuottamaan kaikkia maailmanmarkkinoilla vaadittavia osaajia koulutuspolitiikan keinoin, vaan se joutuu muiden maiden tavoin kilpailemaan osaajista. Menestys kansainvälisillä osaajamarkkinoilla vaatii toimia, joilla yhtäältä vahvistetaan positiivista Suomi-kuvaa maailmalla sekä kehitetään edelleen työperäisen maahanmuuton prosessia. Prosessin toimivuudella on suuri merkitys paitsi tulijoiden myös palkkausprosessiin ryhtyvien suomalaisten yritysten kannalta. Tässä yhteydessä on myös hyvä huomata, että hyvinvointivaltiota voi pitää keskeisenä osana kansallista innovaatiopolitiikkaa, koska yhteiskunnan turvaverkot mahdollistavat uuden yrittämisen myös konkurssin jälkeen ja koska reilun ja viihtyisän yhteiskunnan voi katsoa houkuttelevan innovatiivisia osaajia Suomeen. Väliaikainenkin asumis- ja työskentelyjakso Suomessa jakaa osaamista kansallisesti ja organisaatioiden välillä.

Osaamisen pohjatason luominen voidaan jakaa kahteen osaan: kilpailukykyä luovaan ja varautumiskykyä luovaan osaamispolitiikkaan¹⁸³. Tämän lisäksi sopeutumiskykyä voidaan parantaa myös vahvistamalla tallennetun tiedon hallintajärjestelmien pohjatasoa.

6.1.1. Kilpailukykyä luova osaamispolitiikka

Kilpailukykyä luovalla osaamispolitiikalla tarkoitetaan tässä yhteydessä toimia, joilla vahvistetaan osaamis pohjaa niillä teknologia-aloilla, jotka ovat oleellisia Suomen kilpailukykyyn kannalta. Soveltuvien alojen pohjakoulutuksella on roolinsa, mutta sitäkin merkittävämpää on kansainvälisten huippuosaajien rekrytoinnin tukeminen ja kohdistettu tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoiminta (TKI). Koska teknologisiin murroksiin varautuminen ja sopeutuminen tapahtuu Suomen kaltaisessa maassa väistämättä joko markkinaehtoisesti tai ei ollenkaan, kyky kilpailla kansainvälisillä teknologiamarkkinoilla muodostaa pohjatason myös teknologiselle varautumiselle.

¹⁸³ Termi osaamispolitiikka kokoa yhteen kaikki politiikanalat, joilla osaamisen luomista ja kertymistä pyritään edistämään. Näitä ovat esimerkiksi koulutus-, maahanmuutto-, TKI-, teollisuus- ja teknologiapolitiikka.

Teknologian tuottamia murroksia kohdatessaan valtioiden on usein järkevää niin sanotusti ajaa kaksilla rattailla eli pyrkiä minimoimaan mahdollisista virhesijoituksista aiheutuvia haittoja lisäämällä redundanssia. Valtiot voivat esimerkiksi kannustaa yrityksiä nopeaan teknologiseen siirtymään auttamalla niitä löytämään uusia toimittajia ja asiakkaita. Tämä voi tapahtua esimerkiksi kasvattamalla datapankkien, verkostoitumistilaisuuksien ja huoltovarmuuskeskuksen poolitoiminnan resursseja. Samalla tarvitaan valmiutta hyväksyä mahdollisesta virhearvioinnista aiheutuvat negatiiviset seuraukset, mihin yritysten toimintalogiikka ei usein kannusta. Valtioiden tapauksessa tilanne on toinen, koska valtioiden menestys ei ole riippuvaista vain myynnistä ja koska valtioiden on elettävä virhesijoitustensa kanssa.¹⁸⁴ Valtiontalouden kannalta keskeistä on, että epäonnistuuksaankin investoinnit kerryttävät osaamista sellaisille toimijoille, jotka jatkavat operointia maassa ja/tai jättävät jälkeensä infrastruktuuria, laitteita ja osaamista muiden hyödynnettäväksi.¹⁸⁵

Toisin kuin valtiot, yritykset¹⁸⁶ eivät ole taipuvaisia minimoimaan mahdollisista virhesijoituksista aiheutuvia haittoja lisäämällä redundanssia. Siksi niiden on järkevää kohdistaa TKI-investointinsa lyhyemmällä aikajänteellä lisäarvoa tuottaviin kohteisiin. Tämä puolestaan korostaa valtion roolia ja vastuuta laajan osaamis pohjan, vankan perustutkimuksen ja korkean riskin mutta suuren potentiaalisen tuoton omaavien sijoitusten mahdollistajina. Yrityksille kunnianhimoiset, uraa-uurtavat ja lopulta riskialttiit investoinnit (*moonshot investments*) ovat usein elämän ja kuoleman kysymyksiä, valtioille eivät.

Koska TKI-tuen kohdentamisella voidaan vahvistaa valtion taloutta¹⁸⁷, olisi TKI-rahoitus hyvä nostaa vähintään neljään prosenttiin bruttokansantuotteesta. Pienenä maana Suomen on kuitenkin osattava kohdentaa lopulta rajalliset tuet tehokkaasti. Tämä tarkoittaa ensinnäkin sekä yritys- että sektorikohtaista valikoimista. Keskittyminen muutamaaan taloussektoriin tai toisiaan tukevien teollisuudenalojen ketjuun luo kerrannaishyötyjä ja vahvistaa arvoa luovan osaamisen kertymistä Suomeen. Riskejä on kyettävä ottamaan, mutta tehottomiksi todettujen tukien jatkamista on syytä harkita kahteen kertaan.

Lisäksi innovaatiotukia tulee kohdentaa entistä enemmän ja pitkäjänteisemmin perustutkimukseen. Digitaalitekologioiden alalla merkittävimmät

184 Pureutumatta aiheeseen tarkemmin on perusteltua sanoa, että valtioiden ja yritysten konkurssit ovat asianomaisille hyvin erilainen prosessi ja seuraamuksiltaan täysin erilaisessa mittaluokassa.

185 Tässäkin suhteessa aiemmin mainittua Saksan UMTS-verkon jakeluoikeuksien ostoa voidaankin pitää pahempana virheinvestointina kuin kyseisen verkon rakentamista kotimaahan.

186 Mahdollisen poikkeuksen sääntöön muodostavat suurimmat kansainväliset konsernit. Tämä olisi hyvä aihe mahdolliselle jatkotutkimukselle.

187 Ks. esimerkiksi Einiö 2022.

innovaatiot ja siten suurimmat taloudelliset hyödyt syntyvät systemaattisesti lähellä perustutkimusta. Esimerkiksi niin sanottu huomiomekanismi (*attention mechanism*), johon esimerkiksi OpenAI:n kielimalli ChatGPT perustuu, julkaistiin alun perin konferenssipaperina.¹⁸⁸ Perustutkimus onkin teknologiselle edistykselle välttämätön, mutta viime kädessä riittämätön ehto.

Läpimurtotutkimusta tehdään myös teollisissa tutkimuslaitoksissa, joiden syntymiseen tulisi kannustaa Suomessa ja Euroopassa merkittävästi. Sama pätee myös teollisten ja akateemisten tutkimuslaitosten yhteistyön syventämiseen. Samalla tulee kiinnittää huomiota siihen, että myös ei-akateemisia tutkimuslaitoksia kannustetaan julkaisujen tuottamiseen ja tutkimukseen, jonka välittömänä tavoitteena ei ole synnyttää tuotteita. Keskittyminen soveltavaan tutkimukseen perustutkimuksen sijaan on yksi perustavanlaatuisista syistä sille, että Eurooppa on jäänyt jälkeen Yhdysvalloista läpimurtoteknologioiden kehittämisessä.¹⁸⁹

Perustutkimus vie usein vuosia, ja kuten edellä todettiin, se vaatii pitkäjänteistä rahoitusta. Pitkäjänteisyys tarkoittaa usein konkreettisesti ennakoitavissa olevaa monivuotista, joskus jopa vuosikymmenien pituista rahoitusta. Pitkäjänteinen rahoitus voi tarkoittaa esimerkiksi tutkimushankkeiden ja lupaavien tutkijoiden tukemista tai palvelusuhdetilauksia, ja sen pitää tarpeen vaatiessa olla sovellettavissa myös tutkimusmateriaalien ja laitteiden hankintaan sekä vaadittavan infrastruktuurin rakentamiseen.

Erityisesti valtioiden on järkevää panostaa strategisesti eri alojen osajiin mahdollistamalla pitkäjänteinen keskittyminen strategisten painopistealojen tutkimiseen. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, etteikö laaja-alaista ja kohdentamatonta tutkimusrahoitusta myös tarvita. Kaikille koulutusaloille on hyvä olla tarjolla joitain paikkoja. Tutkimusvetoinen osaamisen luonti on edukasta, koska sen ansiosta osaajat voivat seurata lupaavia innovaatioita syvemmin, joustavammin ja vapaammin verrattuna työtehtäviin, jotka kerryttävät osaamista. Tuki voisi myös kannustaa ja fasilitoida esimerkiksi työrupeamia, konsultointeja ja koulutustilaisuuksia alan organisaatioissa nykyistä suunnitelmallisemmin.

Innovaatiotukien jakaminen tuotetilauksina on tehokkaaksi todettu rahoituskeino, sillä se ei kannusta yrityksiä leikkaamaan omien innovaatiobudjettiansa perustasosta. Tuotetilaukset on useimmiten hyvä toteuttaa jatkuvan palvelun mallina niin, että toimittaja sitoutuu ope- roimaan tuotettaan ja tilaaja puolestaan sitoutuu aktiivisesti rahoittamaan jatkotutkimusta. Samalla vältetään se riski, ettei tilaajalla olisi tuotteen

188 Bahdanau et al. 2014.

189 Euroopan unionin tutkimusrahoitusohjelmista ks. esimerkiksi Euroopan parlamentti 2022; The European Commission 2023b; European Commission 2021a; European Commission 2021b.

hyödyntämiseen vaadittavaa osaamista. Yksinkertaistaen voidaan sanoa, että mallissa tilataan tuotteen sijasta ratkaisu johonkin ongelmaan.¹⁹⁰

TKI-tuen kohdentaminen epävarmoihin uusiin innovaatioihin ja pohjarahoitusta kaipaaviin kasvuhakuisiin yrityksiin (niin kutsuttuihin startup-yrityksiin) on kansainvälisesti hyväksi todettu rahoitusstrategia, jota olisi hyvä suosia myös Suomessa. Vaikka merkittävä osa tuetuista yrityksistä ei saisikaan kehitettyä toimivaa tai menestyvää tuotetta tai palvelua vaan ajautuisi konkurssiin, menestyvien yritysten valtava kasvupotentiaali voi helposti nostaa tukien keskimääräisen tuoton kansantaloudelle positiiviseksi. Ja vaikka yrityksiä kaatuisikin, toiminnan aikana kumuloitunut osaaminen sekä investoinnit laitteisiin, tiloihin ja komponentteihin jäävät kuitenkin Suomeen, jolloin seuraava potentiaalinen yritys voi ostaa ne (tai osan niistä) alennettuun hintaan.

Erityisen hyvä tapa rahoittaa innovaatioita on keskittyä konseptitodistuksien (*proof of concept*) luomiseen. Tästä hyvä esimerkki on Teknologian tutkimuskeskuksen (VTT) päätös tilata IQM Quantum Computers-yritykseltä Suomen ensimmäinen kvanttitietokone.¹⁹¹ Erityisesti huipputeknologia-alojen startup-yrityksille kyvykkyyksien todistaminen voi olla markkinoillepääsyn edellytys, mutta joissain tapauksissa myös vakiintuneet yritykset voivat tarvita tukea teknologisen kyvykkyytensä osoittamiseen.

6.1.2. Varautumiskykyä luova osaamispolitiikka

Varautumiskykyä luovalla osaamispolitiikalla viitataan toimiin, joilla pyritään varmistamaan, että organisaatioissa on osaamista ja osaajilla aikaa seurata teknologista kehitystä sekä tulkita teknologisten muutosten vaikutuksia organisaation toimintaan. Tähän ei vaadita teknologia-alojen huippuosaamista, vaan oman organisaation ymmärrystä yhdistettynä perustason ymmärrykseen keskeisten teknologioiden kehityksen vaikutuksista.

Varautumisorganisaatioiden organisaatiomuistiin panostaminen on osa varautumiskykyä luovaa osaamispolitiikkaa. Sitä voidaan edistää helpoin ja hyvin tunnetuin keinoin, kuten palkkaamalla poistuvan henkilön seuraaja kuukautta ennen edeltäjänsä työsuhteen päättymistä sekä varaamalla jo suunnitteluvaiheessa aikaa ja resursseja analyysiprosessiin, joka tähtää projektien jälkeiseen oppimiseen. Keskeistä on, että analyysiin osallistuu myös sen tason toimihenkilö, jolla on päätösvaltaa tehdä organisatorisia muutoksia.¹⁹²

¹⁹⁰ Ks. esimerkiksi Schuh et al. 2023.

¹⁹¹ Pursula & Linge 6.11.2023.

¹⁹² Organisaatiomuistista ks. esimerkiksi Walsh & Ungson 1991.

Myös varautumissuunnitelmat ovat osa varautumiskykyä luovaa osaamispolitiikkaa, koska niiden tarkoitus on luoda ja levittää kykyä toimia kriisitilanteissa tavalla, joka tuottaa lisäarvoa. Varautumissuunnitelmien omaksuttavuuteen tuleekin kiinnittää erityistä huomiota. Huolella optimoitu varautumissuunnitelma, jota ei kriisin aikajänteellä osata laittaa toimeen, on käyttökelvoton. Kriisien ja kriisejä kohtaavien järjestelmien monimutkaistuessa varautumissuunnitelmien on oltava yhä laadukkaampia. Vastuuhenkilöiden tietotaito ja toimintakyky korostuvat kriisin iskiessä, koska reagoinnin aikaikkunat ovat kaventuneet, vastuunkanto virheistä on nopeutunut ja järjestelmät, joihin kriisit vaikuttavat, ovat monimutkaistuneet. Yhdessä edellä listatut tekijät johtavat ongelmalliseen tilanteeseen, jossa varautumissuunnitelmien on oltava riittävän yksinkertaisia, jotta avainhenkilöt muistavat ensireaktiot ulkoa, ja jossa toimien oikeasuuntaisuuden merkitys on korostunut. Jo yleisessä käytössä olevat varautumisharjoitukset ovat erinomainen työkalu omaksuttavuuden vahvistamiseen, mutta yhteyttä voidaan entisestään vahvistaa esimerkiksi pedagogisten menetelmien avulla.

Yksittäisiä kansallisia varautumissuunnitelmia voi ja kannattaa valmistella myös yksittäisten yritysten tarkkuudella silloin, kun riippuvuus palvelun jatkuvuudesta on yksiselitteisen kriittistä. Esimerkkejä tällaisista yrityksistä ovat Alphabet (Google), Microsoft ja Dell. Varautumissuunnitelmia tehtäessä saattaa nousta esiin myös tietoa riippuvuuden luonteesta ja yksityiskohdista, mikä osaltaan helpottaa riippuvuuksien hallintaa.

Myös salauksella on oma roolinsa varautumissuunnitelmia tehtäessä. Teknologisten murrosten vaikutukset harvoin jäävät yhden sektorin piiriin, ja informaation on häiriötilanteissakin kuljettava turvallisesti järjestelmästä toiseen. Tulevaisuudessa informaatiovirtojen merkitys tulee korostumaan entisestään, mikä paitsi levittää murrosten vaikutuksia entistä laajemmalle, myös asettaa erityisvaatimuksia varautumissuunnitelmille. Suunnitelmien pitää huomioida yhä useampien alojen erityispiirteet ja pyrkiä ohjaamaan yhä useampien alojen toimijoita. Informaatiovirtojen jatkuvuuden varmistamisen lisäksi myös niiden suuntaisuuteen ja symmetrisyyteen¹⁹³ pitää kiinnittää entistä enemmän huomiota.

Julkisen ja yksityisen sektorien toimijoilla on kaikilla kiire päivittää käytössä olevat salausrjestelmät kvanttiheikoista kvanttikestäviin. Syynä on se, että kvanttiavusteinen salauksenpurku tulee murentamaan nykyään laajasti digitaalisessa maailmassa käytössä olevan salausjärjestelmän perustan – julkisen avaimen RSA-salausalgoritmin. Päivitystarve koskee jokaista tietokonetta, kännykkää, ovea, kameraa, satelliittia, kelloa ja niin edelleen, jonka digitaalisen sisällön emme halua olevan kaikkien

193 Hakala et al. 2019, erityisesti 29–30.

vapaasti hallittavissa. Vähintäänkin kustannusarvion ja toimintatavan suunnittelu tulee aloittaa viipymättä.¹⁹⁴

6.1.3. Verkkoinfrastruktuurin pohjatason vahvistaminen

Teknologiset murrosvaikutukset ulottuvat huomattavasti teknologisia infrastruktuureja laajemmalle, mutta verkkoinfrastruktuurin pohjataso vaikuttaa myös kaikkien siitä riippuvaisten järjestelmien varautumiskykyyn.

Yksi Suomen teknologisen kokonaisuuden (*tech stack*) vahvuuksista on niin sanotun legacyn eli vanhojen teknologiakerrosten vähäinen määrä. Eräs keskeinen syy tälle on se, että olemme olleet melko hyviä uudistamaan järjestelmiämme kokonaisuuksina sen sijaan, että olisimme asentaneet uusia teknologiakerroksia vanhojen päälle. Osittain kyse on myös siitä, että Suomi teollistui melko myöhään, minkä seurauksena teknologista kerrostuneisuutta ei yksinkertaisesti ole ehtinyt syntyä niin paljoa. Suomen lisäksi tämä näkyy vielä selkeämmin Virossa, jossa maan tietoliikennearkkitehtuuri suunniteltiin 1990-luvulla.

Kerrostuneisuus on ongelma monesta eri syystä. Vanhoissa teknologioissa ei usein ollut nykyajan tarpeisiin vastaavia turvajärjestelyjä, ja niiden yhdysväylät ovat merkittäviä haavoittuvuuspesteitä, mikä korostaa jatkuvan päivittämisen tarvetta. Teknologisen pohjan turvallisuutta vahvistavat myös investoinnit uusiin, tehokkaampiin ja turvallisempiin järjestelmiin vanhojen ratkaisujen vanhetessa. Vaikka järjestelmien päivittämispäätöstä saatetaan lykätä kustannussyistä, siihen on sisäänrakennettu taloudellinen kannustin: mitä pidempään teknologinen järjestelmä on käytössä, sitä useampia (turvallisuus)ratkaisuja sen varaan rakennetaan, mikä tekee myöhemmin päivittämisestä entistä vaikeampaa ja kalliimpaa.

Suomi on kriittisesti riippuvainen valtion ulkopuolisten toimijoiden valmiudesta jatkaa Suomen tietoliikenteen ylläpitämistä myös kriisin aikana¹⁹⁵. Suomella ei myöskään ole kyvykkyyksiä tuottaa saati varallisuutta ylläpitää tietoliikenneinfrastruktuureja, jotka ovat irrallisia globaalista infrastruktuurista, lukuun ottamatta yksittäisten laitosten ja toimintojen käytössä olevia järjestelmiä. Tämän takia ylläpidon on tapahduttava markkinaehtoisesti, mikä tarkoittaa sitä, että ylläpito tapahtuu kansainvälisesti. Kriittisen toimijoiden sitouttamisen lisäksi riippuvuuksia kannattaa hajauttaa strategisesti niin, että jos yksi kriittistä palvelua tuottava toimija katkaisee palvelusuhteen yksipuolisesti, se ei johda laaja-alaiseen kriisiin. Vähintäänkin olisi hyvä varmistaa, että joku muu

¹⁹⁴ Mallia voi ottaa esimerkiksi Yhdysvalloista. Ks. 115th Congress 2018. Ks. myös Subcommittee on Quantum Information Science Committee of Science of the national Science & Technology Council 6.1.2023.

¹⁹⁵ Aiheesta tarkemmin luvussa 6.3

toimija voi tarpeen vaatiessa ottaa hoitamatta jääneet palvelut suoritettavakseen. Aiheesta tarkemmin seuraavassa luvussa.

Samalla valtioiden kannattaa tukea edelleen vanhojen teknologioiden jatkuvuutta niin, että vanhat teknologiset arkkitehtuurit jäisivät mahdollisimman usein varavaihtoehtoiksi. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi muodostamalla niistä alustapalveluja.¹⁹⁶

Suorat ulkomaiset investoinnit voivat paitsi heikentää tiedon hallintakykyä myös kasvattaa riskiä geoeconomisen painostuksen alaiseksi joutumisesta. Näin voi käydä esimerkiksi silloin, kun kriittinen toiminto siirtyy epäluotettavan yrityksen omistukseen suoran ulkomaisen investoinnin seurauksena (esimerkiksi päivitetessä modernimpaan versioon). Toisaalta ulospäin suuntautuvat suorat ulkomaiset investoinnit voivat myös siirtää tietoa ja tiedonhallintakykyä kansallisen päätöksenteon ulottumattomiin. Edellä mainitut riskit ovat luonteeltaan sellaisia, että niiden korjaaminen jälkikäteen on hyvin vaikeaa, mutta joita voidaan ennaltaehkäistä esimerkiksi kehittämällä kansallisia investointien seurantamekanismeja (*screening mechanisms*). Keskeistä on ulottaa olemassa olevat mekanismit entistä useammalle sektorille sekä kattamaan myös uutta toimintaa tuottavat investoinnit (greenfield-investoinnit) ja pääomasijoitukset (*venture capital*). Lisäksi tarvitaan mekanismi, jolla voidaan kieltää sellaisten yritysten ostot, jotka siirtävät henkilötietoja pois kansallisen tai EU-tason valvonnan piiristä. Tarvetta on myös mekanismille, jolla rajoitettaisiin yritysomaisuuden lisäksi myös yksityisomaisuuden kertymistä ulkomaiseen omistukseen – myös silloin, kun ostot tehdään yksittäin.¹⁹⁷ Puolustusvoimien oikeutta estää kriittisten kohteiden ja alueiden läheisyydessä sijaitsevien tonttien ja rakennusten siirtyminen ulkomaiseen omistukseen tulee laajentaa kattamaan myös valtaukset.

Suomalaista yritys- ja osaamispääomaa voidaan varjella myös esimerkiksi rajoittamalla nykyistä useammin ulkomaiset osakeostot ja yhteishankkeiden omistusosuudet alle 50 prosenttiin. Tietyissä yksittäistapauksissa, kuten kriittisten lääketarvikkeiden valmistuksessa ja kehityksessä, on järkevää tukea myös takaisinostoja tai kotimaisen tuotannon syntymistä EU-alueelle.¹⁹⁸

Rajoitusten lisäksi verkkoinfrastruktuurin pohjatasoa ja siihen liittyvää osaamista voidaan rakentaa myös positiivisin keinoin. Suomen kannattaa ajaa Euroopan unioniin perustettavaksi teknologisten haavoittuvuuksien tietokantaa (*Technological Vulnerabilities Database, TVD*), joka olisi laajennettu ja päivitetty versio Yhdysvaltojen Kansallisten haavoittuvuuksien

196 Aiheesta tarkemmin luvussa 6.2.2.

197 Mattlin et al. 2023. 37–71.

198 Ibid. 37–71.

datapankista (*National Vulnerability Database, NVD*). NVD:n tavoin TVD toimisi puoliavoimena datapankkina, josta yritykset, viranomaiset ja yksityishenkilöt voisivat tarkistaa teknologisten laitteiden, komponenttien ja sovellusten tiedossa olevia haavoittuvuuksia sekä yhteensopivuuksiin liittyviä haasteita.

Lähestymistavan tavoitteena on paitsi lisätä teknologisten tuotteiden turvallisuutta ja vahvistaa yritysten ennakointikykyä, myös kannustaa kehittämään laadukkaita tuotteita sekä avata markkinat tuotteille, jotka pyrkivät torjumaan haavoittuvuuksia. Lisäksi tarkoituksena on vaikeuttaa haavoittuvuuksien ja heikkouksien piilottamista sekä vaikeuttaa monopolistisen aseman väärinkäyttöä. Huomionarvoisesti yritysten ei myöskään ole itse luovutettava kaikkia tietojaan, vaan raportoinnin voi hoitaa myös ulkopuolinen taho.

Vuosikymmenten kokemuksella on todettu, että NVD on selvästi lisäarvoa tuottava ja valtiontaloudelle kannattava hanke – vaikka yritykset, joiden tuotteissa on raportoituja puutteita, kärsivätkin tiedon leviämisestä, ja vaikka rikolliset sekä (mahdollisesti vihamielisten) vieraiden valtojen edustajat saavatkin haavoittuvuudet tietoonsa.¹⁹⁹ Samat hyödyt toteutuisivat myös TVD:n tapauksessa. Huolella toteutettuna datapankki mahdollistaisi myös datamassojen käytön automaattisesti päivittyvissä tilannekuivissa, joita voitaisiin hyödyntää esimerkiksi strategisessa ennakoinnissa. Tämän tulisi kuitenkin olla toissijainen tavoite markkinoiden avoimuuden ja itseohjautuvuuden tukemisen rinnalla.

6.2. HAJAUTTAMINEN

Hajauttamisella viitataan toimiin, joilla varmistetaan, ettei yksittäisen toimijan, toiminnon, tiedon tai järjestelmän menettäminen aiheuta kansallisen mittapuun ongelmia. Suomessa ja Pohjoismaissa hajauttamisperiaate on ulotettu koskemaan myös varautumisorganisaatioita osana kokonaisuuturvallisuuden viitekehystä. Myös yritykset pyrkivät hajauttamaan toimintonsa varmistamiseksi niiden jatkuvuuden, ja usein kansallisen varautumisen kannalta tehokkainta onkin tukea yritysten omaa toimintaa.

6.2.1. Tiedon hajauttaminen

Kansallinen varautuminen on määritelmällisesti valtiokeskeistä, mutta globaaleista markkinoista riippuvaisen maan varautumista ei voi rakentaa kansainvälisten linkkien kustannuksella. Jos teknologisiin murroksiin varautuva politiikka keskittyy liiaksi kotimaan teollisuuteen, riskinä on

¹⁹⁹ United States Government (Luettu 20.12.2023).

päätyä tekehengittämään tehotonta teollisuutta ja kannustamaan muitakin valtioita vastaaviin toimiin. Kotimaan tuotantoasteen lisääminen harvoin suojaa teknologiselta murrokselta, ja vaikutusten leviämisen viivästyttäminen voi päinvastoin voimistaa niitä. Lisäksi kotimaisuusasteen keinotekoinen ylläpitäminen voi luoda kannustimia tuotantoketjujen keskittämiseen niiden hajauttamisen ja vaihtoehtojen ylläpitämisen sijaan. Tämä on ongelmallista kaikissa niissä tilanteissa, joissa koko tuotantoketju ei ole Suomessa tai Schengen-alueella.

Suomen teknologiateollinen toimintakenttä on niin suppea, että parhaimmillaankin kotimaiset yritykset tuottavat vain pienen osan alansa teknologisesta kokonaisuudesta. Näin ollen omavaraisuus on erityisen epäkäytännöllinen tavoite Suomelle. Erityisen huonosti se soveltuu aloille, joilla käytetään teknologisesti monimutkaisia laitteita ja joilla kotimainen osaaminen ei ole jo valmiiksi maailman huippua. Tästä johtuen on turvallista olettaa, että omavaraisuuteen pyrkiminen ei ole Suomelle kannattavaa. Sen sijaan Suomen tulee pyrkiä varmistamaan teknologioiden saatavuus eri olosuhteissa. Tätä voidaan tukea esimerkiksi säädös- ja sopimusteknisin keinoin kansainvälistä liikkuvuutta helpottamalla, ja tukemalla suomalaisia yrityksiä kansainvälisillä osajamarkkinoilla kilpailemisessa. Markkinoiden kansainvälistä hajautumista voidaan tukea myös rakentamalla Suomi-kuvaa maailmalla niin, että ulkomaiset yritykset osaavat etsiä suomalaisia yhteiskumppaneita, ja helpottamalla suomalaisia ulospäin suuntautuvia investointeja.

Suomen valtio voi auttaa kotimaisia yrityksiä välttämään kansainvälisiin investointeihin liittyviä riskejä fasilitoimalla yritysjohdon kanssa käytävää dialogia geoeconomisen vallan käytöstä ja riskien välttämisestä. Samalla ehkäistään kaikkien geoeconomisten riippuvuusriskien kertymistä valtion vastuulle. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi järjestämällä erillisiä tilaisuuksia, joilla pyritään mahdollistamaan aidosti kaksisuuntainen dialogi ministerien, johtavien virkahenkilöiden ja kriittisten yritysten johdon välillä.²⁰⁰ Murroksen läpikäyminen voikin turhaan hidastua, mikäli yritystoimijat eivät ole tietoisia vaihtoehtoista toimittajistaan tai geoeconomisista riskeistään. Samasta syystä voi myös syntyä näennäisen turhia pullonkauloja.

Tietoisuus vaihtoehtoista vaatii myös tietoverkkojen avoimuutta sekä hakupalvelujen luotettavuutta ja muokattavuutta. Esimerkiksi niin sanottuun datan lokalisaatioon liittyvät pyrkimykset, kuten datan liikkeiden rajoittaminen valtion rajojen mukaan, käytännössä sulkevat kotimaiset

200 Wigell et al. 2022a, 63–67.

yritykset globaalimarkkinoiden ulkopuolelle ja kannustavat muita valtioita ryhtymään vastaaviin toimiin.²⁰¹

Osaamista voidaan pyrkiä hajauttamaan edellisessä luvussa esitetyn mukaisesti koulutus- ja maahanmuuttopolitiikan keinoin, mutta erityisen tehokas työkalu on niin sanottu kolmikierremalli. Mallissa korostuvat urapolut, joiden aikana osaaja työskentelee tutkimuslaitoksissa, julkishallinnossa ja yksityisellä sektorilla, minkä seurauksena myös tietotaito leviää organisaatioiden välillä sekä kansainvälisesti. Kyse on ennen kaikkea valmiudesta rekrytoida eri taustaisia ihmisiä ja kouluttaa heidät tehtävään. Myös työpaikan vaihtaminen yksityisen sektorin sisällä hajauttaa osaamista ja vähentää tiedon menettämisen riskiä, joka voisi realisoitua esimerkiksi silloin, kun yksittäinen yritys siirtyy ulkomaiseen omistukseen ja siirtää toimipaikkansa tai tuotantonsa ulkomaille.

Tiedon hajauttamisen lisäksi myös tiedon turvaaminen on osa tiedonhallintakyvykkyyttä. Koskaan ei voi varmaksi tietää, mihin tietoa kyetään tulevaisuudessa käyttämään. Siksi on hyvä tiedostaa, mikä tieto on tallennettu digitaaliseen muotoon ja mitä ei – ja toisaalta mikä tieto pitäisi tallentaa digitaaliseen muotoon ja mitä ei. On tärkeää, että myös salaustarve arvioidaan tapauskohtaisesti. Tiedon salaaminen voi tuottaa lopulta enemmän haittaa kuin hyötyä esimerkiksi 1) piilottamalla informaation niiltä, jotka siitä hyötyisivät onnistumatta piilottamaan sitä mahdollisilta väärinkäyttäjiltä tai 2) kasvattamalla turvaluokitettujen henkilöiden määrän niin suureksi, ettei kaikkien sitoumuksia reaalisesti kyetä varmistamaan.²⁰² Toisin sanoen, kun valtiot yliturvallistavat tietoa, ne paitsi kasvattavat riskiä aidosti kriittisen tiedon salauksen heikentymisestä, myös heikentävät tiedon hyödynnettävyyttä. Yhdysvallat on tästä hyvä varoittava esimerkki.²⁰³

6.2.2. Järjestelmien hajauttaminen

Kansallisen varautumisen näkökulmasta hajauttaminen liittyy tiedon lisäksi myös teknologisiin järjestelmiin. Tavoitteena tulee olla, etteivät yksittäisen teknologisen järjestelmän häiriöt kertaannu muihin ja ettei koko kansakunnan tason toiminta häiriinny. Tavoite ei eroa riskineutraalisti rakennetusta resilienssistä, mutta murrosvaikutusten pysyvyys aiheuttaa eroja sopeutumistoimissa. Silloin kun vara- ja vaihtoehtojärjestelmiä ei markkinaehtoisesti synny korvaamaan vanhenevia järjestelmiä, ja kun kyseisten järjestelmien jatkuvuus on kansallisen turvallisuuden

201 Holmgren 2022b.

202 Zegart 2022.

203 Esimerkiksi Wendling 14.4.2023.

kannalta oleellista, pitää järjestelmien rakentamiseen tai ylläpidon tukemiseen olla valmiudet.

Uusien korvaavien järjestelmien synnyttäminen on kuitenkin vaikeaa, koska ylläpito pitäisi kuitenkin saada markkinaehtoiseksi. Käytännössä maassa pitäisi olla jo valmiiksi yritys, jolla on vaadittava suorituskkyky ja joka uskoo markkinan kestävyuteen, mutta jolta puuttuu pohjarahoitusta investoinnille. Tällaisessa tilanteessa tarvittaisiin käytännössä konseptitodistuksia (*proof of concept*) luovaa innovaatiotukea, jota esiteltiin luvussa 6.1.1. Äärimmäisissä poikkeustapauksissa uuden järjestelmän syntyminen on niin kriittistä, että sille on löydettävä kansallinen rahoitus, vaikkei vaatimus markkinaehtoisuudesta täytyisi. Hyviä esimerkkejä tästä ovat puhelin-, tie-, raide- ja internetverkkojen rakentaminen sekä kattavuusalueiden laajentaminen.

Useimmiten teknologiset järjestelmät eivät kuitenkaan synny täyttämään kokonaan uutta tehtävää vaan tehostamaan vanhojen tehtävien suorittamista luoden kyllä uusia synergioita. Esimerkiksi uudet verkkojärjestelmät, jotka mahdollistavat langattoman tiedonsiirron, luovat kyllä uusia mahdollisuuksia, mutta perustehtävä on kuitenkin sama. Tällaisissa tilanteissa vanha järjestelmä voikin toimia heikompilettuisena varajärjestelmänä korvaajalleen. Yksi kustannustehokas tapa tukea vanhentuneiden järjestelmien jatkuvuutta on muokata niistä alustatalouden palveluita.

Alustataloudella tarkoitetaan teknologiseen järjestelmään nojaavaa markkinaa, jota yleensä ylläpidetään keskusjohtoisesti, mutta jonka piirissä toimintaansa harjoittaa suuri joukko toimijoita. Hyviä esimerkkejä alustamarkkinoista ovat Airbnb, Google Play, Booking.com ja Spotify. Kyse on pohjimmiltaan verkostomuotoisesta välityspalvelusta. Yleensä alustan ylläpitäjä rahoittaa toimintaansa provisoiden ja mainosmaksujen avulla ja alustalle osallistuminen on verrattain vaivatonta. Vaivatonta vaihtoehtojen löytyminen taas on keskeinen murrosvaikutusten vastavoima.²⁰⁴

Kuten luvussa 2 todettiin, on vaikea ennustaa tai tietää etukäteen, milloin yksi teknologinen murros korvaantuu seuraavalla. Melkoisen varmaa kuitenkin on, että markkinoiden siirtyessä suosimaan uutta tuotetta markkinaehtoista paluuta entiseen ei ole. Vanhaksi jääneen teknologian piiristä voi tietysti syntyä uusi murroksellinen teknologia, mutta sen varaan ei kannata laskea. Tämän vuoksi valtioiden kannattaakin pyrkiä purkamaan murrossiirtymän vastustamisen kannusteita samalla kun vanhat teknologiset arkkitehtuurit, kuten 3G-telekommunikaatioverkko, jätetään mahdollisuuksien mukaan varavaihtoehtoiksi kriisitilanteita varten. Varavaihtoehtojen ylläpidon ongelmana on, että varavaihtoehtot

204 Ks. Evans 2003, 325–382.

päätyvät helposti kannustamaan markkinatoimijoita jatkamaan niiden käyttöä sen sijaan, että ne pyrkisivät nopeaan murrossiirtymään.

Samaa periaatetta voidaan tuloksetta soveltaa myös teitä teknologisesti monimutkaisempien alustojen ylläpitämiseen. Joskus alustasta voidaan myös myydä tai vuokrata kaistaa yrityksille, jolloin kustannushyödyt tulevat välittömimmin näkyviin. Esimerkiksi telekommunikaatio-operaattoreita edustava etujärjestö Global System for Mobile Communications Association (GSMA) tarjoaa useita esimerkkejä siitä, miten alustapohjaista jakamista voidaan hyödyntää mobiiliverkkoinfrastruktuurin ylläpitämisessä.²⁰⁵ Valtio voi esimerkiksi ylläpitää vanhentunutta verkkoinfrastruktuuria ja vuokrata kaistaa ja/tai lähestysaikaa. Alustapalvelun ylläpitomalli ei kuitenkaan rajoitu pelkästään mobiiliverkkoihin eikä edes tietoliikenneverkkoihin. Periaatteessa alustamalliin soveltuu mikä tahansa järjestelmä, jonka osia voidaan jakaa eri toimijoiden käyttöön ilman käyttäjien yhteistyötä.

Toisena toteuttamistapana markkinatoimijat voidaan velvoittaa lakisääteisesti tai asetuksilla toimimaan niin, että eri järjestelmien välinen yhteistoiminnallisuus varmistuu. Esimerkiksi lisämaksun periminen verkkovierailusta Euroopan talousalueella on kielletty, eli verkko-operaattorit on veloitettu jakamaan verkkoaan kilpailijoille.²⁰⁶ Euroopan unionin lähestymistapa ei kuitenkaan takaa, että operaattorin kaatuessa esimerkiksi massiivisen kyberhyökkäyksen seurauksena muut operaattorit kykenisivät ottamaan kyseisen verkon ylläpidon haltuun ilman merkittäviä viivästyksiä.²⁰⁷ Tällaista kyvykkyyttä on Yhdysvalloissa pyritty luomaan presidentin asetuksella (*executive order*). Tutkimusta tehtäessä hankkeen tuloksista ei kuitenkaan saatu varmuutta.²⁰⁸ Varmuutta ei myöskään saatu siitä, onko Suomessa pyritty vastaavaan.

Viranomaiset voisivat myös asettaa sääntömääräisen maksimin sille, montako kriittistä laitetta on luvallista hankkia yhdeltä toimittajalta, mikä pakottaisi vähentämään toimittajariippuvaisuutta. Ratkaisu on kuitenkin parhaimmillaankin osittainen, sillä laitteiden ja komponenttien toimitusketjujen riippuvuudet eivät johdu komponenttien määrästä vaan tarjolla (ja tiedossa) olevien vaihtoehtojen määrästä. Toisin sanoen, jos järjestelmässä on yksikin kriittinen laite tai komponentti, jolle ei ole tarjolla vaihtoehtoja toimittajaa, on koko järjestelmä kriittisesti riippuvainen kyseisen laitteen tai komponentin toimittajasta.

205 Näitä ovat asemien, mastojen, RAN-verkon (eli koko palvelukokonaisuuden) ja runkoverkon jakaminen. GSMA Head office 2012. Ks. myös, GSMA 2019.

206 Euroopan parlamentti 13.4.2022.

207 Tavoitteena on siis vähentää kriittisten verkkojärjestelmien riippuvuutta nykyhetken ylläpitäjistään.

208 Federal Communications Commission 6.7.2022.

6.3. SITOUTTAMINEN

Sitouttamisstrategian (*resilience of commitment*) ytimessä on pyrkimys turvata markkinaehtoisesti hankittujen suorituskykyjen jatkuvuus kriisi-tilanteissa. Tämä voi tarkoittaa esimerkiksi suorituskykyjen toimittajien, eli yleensä yritysten, sitouttamista jatkamaan toimintansa kohonneen maariskin aikana. Teknistä sitouttamista voidaan tehdä esimerkiksi myös osaamisen hankinnan, standardoinnin ja polkuriippuvuuksien avulla. Sitouttamisstrategian taustalla on ymmärrys siitä, että riippuvuuksista johtuvia haavoittuvuuksia on pyrittävä hallitsemaan, jos ja kun niitä ei kyetä välttämään esimerkiksi hajauttamisen avulla.

6.3.1. Säädöstekninen sitouttaminen

Kansainvälisten yritysten sitouttamista voidaan edistää paitsi kirjoittamalla sopimuksiin selkeät ja voimakkaat seuraamukset sopimusrikkomuksista, myös varmistamalla, että palvelusuhteen jatkuminen on eduksi myös yritykselle. Tätä onnistuu esimerkiksi panostamalla osaavan työvoiman saatavuuteen, hyvinvointiyhteiskuntaan ja politiikan pitkäjänteisyyteen. Kuten raportissa on useaan otteeseen mainittu, lisenssi-pohjainen palvelumalli tulee todennäköisesti lähivuosina yleistymään. Tämä on positiivinen asia esimerkiksi turvallisuuden ja laadunvarmistuksen kannalta, mutta samalla ongelmallista, koska pitkään jatkuneen palvelusuhteen tehokas ja turvallinen korvaaminen uudella on vaikeampaa kuin silloin kun palvelusuhteen oli tarkoituskin olla väliaikainen ja turvallisuuden ylläpitäminen oli yksin valtion vastuulla.

Vaikka sitouttamisstrategiassa tavoitellaan julkisen ja yksityisen sektorin yhteistyön jatkuvuutta, merkittävä osa valtioiden välisestä sitouttamisesta tapahtuu solmimalla kansainvälisiä sopimuksia.²⁰⁹ Sopimuksilla pyritään varmistamaan, etteivät sopimusosapuolet kriisin sattuessa ohjeista yrityksiiään priorisoimaan kotimaan markkinoita yli kumppanimaiden markkinoiden, mikä vaikeuttaisi näiden tilannetta. Parhaimmillaan tiivis sopimus tai liittolaissuhde voi myös johtaa tilanteeseen, jossa valtio kannustaa yrityksiiään jatkamaan toimintaansa kumppanimaassaan, jonka maariski on kohonnut.

Laadukas sääntely on tuottanut Suomelle ja Euroopan unionille kilpailuetua useiden teknologioiden kohdalla. Tästä hyvä esimerkki löytyy telekommunikaatioalalta, jossa 6G-mobiiliverkkoa on kehitetty yhteismittaisiin teknisiin standardein sen sijaan, että verkko olisi hajonnut useiden

209 Yksityissektorin toimijoiden suora sitouttaminen jäi tutkimushankkeen ulkopuolelle, joten todettakoon vain, että sitä voidaan toteuttaa esimerkiksi sopimusteknisin keinoin, tilaamalla jatkuvia palveluita pitkiksi ajoiksi kerrallaan, hallitsemalla maariskiiä ja maariskikuvaa, sitouttamalla tuottoja alueellisisiksi kerrannaisvaikutuksiksi sekä tarjoamalla toiminnan jatkamiseen kannustavia paikallisia synergioita, kuten laajan valikoiman osaamista, luotettavuutta ja ennakoivuutta. Jatkotutkimukselle on kuitenkin tarvetta.

yrittäjien omien standardien tilkkutäkiksi. Teknologisten tuotteiden ja arkkitehtuurien kohdalla tekninen ja regulatiivinen standardointi voivat olla jopa vaikuttavuuden ja skaalautuvuuden edellytyksiä. Parhaimmillaan tekninen ja regulatiivinen standardointi myös tukevat toisiaan esimerkiksi reilun kilpailuympäristön tuottamisessa.

Hyvin kohdistetuilla laatustandardeilla voidaan kannustaa teknologiatuottajia kilpailemaan tuotteidensa laadulla samalla kun varmistetaan tuotteiden tai palvelujen yhteismitallisuus ja tuottajien kasvupotentiaali. Parhaimmillaan standardit myös vaikeuttavat epärehellisten kilpailukeinojen hyödyntämistä, esimerkiksi polkuriippuvuuksien tai portinvar-tija-aseman hyväksikäyttöä kilpailijoiden syrjinnässä. Vastavuoroisesti huonosti kohdistetut standardit näyttävät lähinnä haitallisina, minkä vuoksi on yhä tärkeämpää suunnata asiantuntijaresursseja säädösvalmisteluun ja vaikutusten ennakointiin sekä niitä tukevaan poliittisten ja hallintotieteiden tutkimukseen. Kun tuotteiden ja järjestelmien laatu on korkealla tasolla, toimintamallit tunnettuja ja kilpailu avointa ja reilua, on varautumistakin helpompi suunnitella ja toteuttaa. Erityisen selkeästi tämä näkyy negaation kautta Venäjän kaltaisissa maissa, joissa vastuunkantoa vältellään ja kilpailijoita estetään pääsemästä markkinoille korruption, epävirallisen talouden ja/tai epäreilun kilpailun avulla.

Kilpailijoiden pääsy markkinoille voi vaikeutua esimerkiksi säädän-nän vuoksi tai tilanteessa, jossa monopolisaatioon ei puututa. Tämä ei tue sitouttamistavoitetta eikä murrosvaikutuksiin varautumista, vaan heikentää pohjatasoa. Onkin tärkeää, että luonnollisiin monopoleihin kohdenetaan demokraattista ohjaamista, koska markkinaehtoinen ohjautuvuus (kilpailu) on määritelmän mukaisesti mahdotonta.

Sitouttamiseen tähtääviä sopimuksia solmittaessa on tärkeä varmistaa, ettei myönnytyksiä tehdä väärissä paikoissa, kuten antamalla yritykselle vapaata kilpailua rajoittavia erioikeuksia vastineeksi siitä, että yritys lupaa sitoutua toimimaan Suomessa myös kriisin aikana. Teknologisen murroksen ilmestyminen ja eteneminen ei vaadi avoimia markkinoita. Sekä tarkoituksella (puolustusteollisuus) että tarkoituksetta (digitaaliset portinvar-tijat) monopolisoituneet markkinat voivat kohdata murrosvai-kutuksia ja jopa pahentaa niitä toimimalla murrosvaikutuksia patoavina pullonkauloina. Tämä on oleellinen näkökulma pitää esillä, kun Euroopan unionin puolustusteollisia pelisääntöjä luodaan, eli puolustusteknologioiden alojen markkinoita yhtenäistetään²¹⁰.

Epäreilun kilpailun markkinoilla suuret toimijat voivat myös kääntää murroksen edukseen ostamalla murroksellisen teknologian tuottaneet yritykset pois markkinoilta (ns. *killer acquisition*). Tällöin aggressiivisen

210 Puolustusteollisesta kompleksista ks. Csernatonin 2021.

yrittösten tehnyt toimija voi joko omaksua yrityksen myötä ostetun teknologian osaksi omaa toimintaansa (ns. buy up -strategia²¹¹) tai hylätä sen samalla toivoen, ettei kukaan muu tee samaa tai verrattavaa innovaatiota relevantilla aikajänteellä.

Pienenä maana Suomi on erityisen haavoittuvainen aggressiivisille yrittöstoille, joissa suuryritys ostaa pienemmän kehkeytyvän kilpailijansa pois ennen kuin nämä pääsevät lanseeraamaan murroksellisia innovaatioita.²¹² Etukäteen on kuitenkin hyvin vaikea tietää, mitkä yrittöset ovat tämänkaltaisia. Suorat yrittöset ovat merkittävä taloudellisen kasvun lähde pienille maille, ja joskus yritysten alusta asti suunniteltu kasvu- tai tulontuottomalli on tulla ostetuksi. Kansallista kasvupotentiaaliakin tuottavat yrittöset joka tapauksessa siirtävät ja jakavat osaamista, omaisuutta ja palveluita kansainvälisesti. Tästä johtuen on tärkeää, että markkinoiden toimintaa seurataan tarkoin ja eurooppalaisia yhteismarkkinoita kehitetään pontevin ottein siihen suuntaan, että yritykset haluavat jäädä Eurooppaan ja kokevat omaavansa muitakin houkuttelevia vaihtoehtoja kuin ostetuksi tuleminen.

Tämän toteuttamiseksi ja kotimarkkinoiden kilpailukyvyyn lisäämiseksi Suomen kannattaa ajaa EU:n ja erityisesti Schengen-alueen yhteisen auditointielimen perustamista.

Teknologiset innovaatiot, osaajat ja yritykset ovat taipuvaisia siirtymään Yhdysvaltoihin Euroopan sijaan. Lisääntyvän työvoiman (maahanmuutto) sekä teknologiasektorille kohdistettujen julkisten tukien²¹³ lisäksi tätä tukevat myös markkinoille pääsyä edistävät tekijät, erityisesti yhtenäinen markkina-alue, jolle pääsyyn riittää yksi auditointiprosessi.²¹⁴

Euroopassa tilanne on monimutkaisempi. Supistuvan työväestön ja pienempien tukien lisäksi yksi syy sille, että teknologiset innovaatiot, osaajat ja yritykset siirtyvät Yhdysvaltoihin, liittyy markkinoille pääsyyn liittyviin tekijöihin, erityisesti Euroopan yhtenäismarkkinoiden katvealueisiin ja auditointiprosessin. Useat huipputeknologiset tuotteet joutuvat yhteismarkkinoista huolimatta auditoimaan tuotteensa useissa jäsenmaissa, koska yhteisesti sovittu pohjatason päälle on asetettu vaatimuksia, jotka liittyvät yleensä laatuun, luotettavuuteen ja lainsäädännöllisiin erityispiirteisiin. Euroopan monimutkainen auditointiprosessien kokonaisuus on usein hidas ja kallis. Näin on etenkin, jos merkittävä määrä tuotteen taustatiedoista pitää kääntää useammalle kielelle. Prosessi on usein myös hidas johtuen auditointielinten kuormittumisesta ja

211 Gans 2016, 76–78.

212 Wigell et al. 2022b.

213 Ks esimerkiksi 117th Congress 2022a. Ks. myös 117th Congress 2021; 117th Congress 2022b.

214 Ks National Science Foundation 2022. Ks. myös Euroopan komissio 2020.

osaamisresurssien puutteesta. Hitaus taas on uusien teknologisten tuotteiden kohdalla lähtökohtaisesti merkittävä riski. Usein markkinatoimijat kilpailevat juuri nopeudella tuottaa uusi kyvykkyys, eli riski hävitä edelläkävijän markkina-asema on merkittävä.

Digitalous ja siihen liittyvät teknologiset innovaatiot voidaan tuoda Euroopan sisämarkkinoille ja Schengen-alueelle perustamalla keskitetty yleiseurooppalainen auditointielin, jolla on oikeus päästää auditoitu tuote ja sen tuottaja yhteismarkkinoille ilman poikkeuksia eri Schengen-maissa. Auditointielimeen tulee panostaa, jotta auditointiprosessista tulisi laadukkaampi ja nopeampi kuin Yhdysvalloissa, jossa jo yksi auditointielin kattaa koko liittovaltion markkinat. Lisäksi olisi hyvä pyrkiä siihen, että auditointijat voisivat antaa (potentiaalisesti lisäpalveluna) luottamuksellisesti lisäarvoa tuottavaa palautetta auditoinnin läpikäyneille toimijoille. Samalla on varmistettava, ettei auditointiprosessi vuoda tietoa, kuten tuote- ja yrityssalaisuuksia.

Edellä mainitut vaatimukset täyttävä auditointielin houkuttelisi yrityksiä tulemaan tai jäämään Euroopan markkinoille ja osaltaan tukisi Euroopan teknologista kasvupotentiaalia. Nykyisellään jäsenvaltiot kilpailevat keskenään rajallisista lainsäädäntö- ja teknologiaosaamisen resursseista, mikä osaltaan selittää järjestelmän ongelmia. Vaikka auditointielimen työntekijöiden määrään ja palkkaustasoon pitäisi panostaa, jotta varmistettaisiin organisaation kilpailukyky globaaleilla työmarkkinoilla, tulisi järjestelmä jäsenvaltioille mitä todennäköisimmin halvemmaksi kuin nykyiset 27 päällekkäistä järjestelmää, vaikka yhteismarkkinoiden houkuttelevuuden lisääntymisen vaikutuksia ei otettaisi huomioon.

6.3.2. Luottamus pohjainen sitouttaminen

Kansainvälisten sopimusten lisäksi valtioiden välinen luottamus ja ymmärrys ovat kriittisen tärkeitä. Laadukkaalla ja osallistavalla sopimusprosessilla on tässä roolinsa, mutta myös yhteistyön ja vuorovaikutuksen määrään voidaan panostaa strategisesti.²¹⁵ Luottamus luo luottamusta, joten vastavuoroisuus on ensisijaisen tärkeää. Näin taloudellisesta nationalismista ja avoimesta kansallisesta priorisoinnista pidättäytyminen itsessään sitouttaa, koska sopimusten tavoin se luo vastavuoroista luottamusta siihen, etteivät osapuolet yritä kääntää avoimuussuhteen etuja yksipuolisempaan suuntaan²¹⁶.

Signalointi on kansainvälisissä suhteissa tärkeää, koska sopimukset sitovat vain niin kauan kuin molemmat osapuolet kokevat sopimusten noudattamisen itselleen edukkaaksi. Tästä poikkeuksena ovat tilanteet,

²¹⁵ Samalla syntyy tietoa valtioiden välisten markkinoiden mahdollisuuksista ja vaihtoehtoista, mikä ruokkii myös hajauttamisstrategiaa.

²¹⁶ Eli keskinäisriippuvuuksia asymmetrisempään suuntaan.

joissa sopimusosapuolten välillä on merkittävä valtaepäsuhta, jonka avulla vahvempi osapuoli kykenee pakottamaan heikomman osapuolen etujensa vastaiseen toimintaan.

Huomionarvoisesti riski ajautua edellä kuvatun kaltaiseen tilanteeseen kannustaa heikompiä valtioita keskinäiseen sitoutumiseen, koska se vahvistaa niiden suhteellista painoarvoa. Euroopan unioni on hyvä esimerkki kyseisen strategian onnistumisesta niin unionin jäsenten kuin ulkopuolistenkin toimijoidenkin suhteen. Strategiaa voidaan kuitenkin hyödyntää myös pienemmässä mittakaavassa. Pienet maat voivat esimerkiksi koota puolustusinvestointejaan yhteiseksi tilauspaketeiksi nousemaan ylöspäin puolustusteollisuusalan yritysten prioriteettitilalla. Tämänkaltaista hankintaliittoumaa voi hyödyntää myös resilienssin vahvistamiseksi esimerkiksi pohjoismaisessa viitekehyksessä pohjoismaisen resilienssirahaston avulla.²¹⁷

Pohjoismaista yhteistyötä voidaan tiivistää sitouttamisstrategian mukaisesti rahastoa laajemminkin. Pohjoismaat voisivat esimerkiksi solmia resilienssi-yhteistyösopimuksen, joka mahdollistaisi tilannekuva- ja ennakointitiedon jakamisen sekä kriittisen tiedon toisintamisen (ajantasaiseksi varmuusvarastoimiseksi) toistensa maaperille.²¹⁸

6.4. HUOLTOVARMUUSKESKUSSPESIFIT SUOSITUKSET

Korkeasta teknologiasta ja kansainvälisistä yhteyksistä riippuvaisena maana Suomi on altis teknologille murroksille ja muille kehityskuluille, jotka häiritsevät keskeisiä, usein kansainvälisiä tuotantoketjuja. Potentiaalisten teknologisten murrosten ja niiden aiheuttamien häiriötilanteiden tunteminen onkin yksi avaintekijöistä tuotantoketjulahteisten kriisien ennaltaehkäisyssä.²¹⁹ Vaikka teknologiset murrosvaikutukset näyttäytyvät tuotantoketjujen epäoptimaalisuuksina, ei siirtymään reagoiminen voi olla vain yksittäisen viranomaistahon, kuten Huoltovarmuuskeskuksen, vastuulla, eikä siirtymään liittyviin häiriöihin voida reagoida perinteisesti varmuusvarastoinnin keinoin. Sen sijaan murroksiin varautumisen on oltava kokonaisvaltaista ja koko valtionhallinnon poikkileikkaavaa. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, etteikö Huoltovarmuuskeskuksellakin olisi tehtävää. Huoltovarmuuskeskus voi pyrkiä lyhentämään siirtymäkauden kestoä esimerkiksi kehittämällä teknologista osaamis pohjaa koulutuksen keinoin sekä jakamalla tietoa siitä, miten yritykset voivat itse

217 Wigell et al. 2022c.

218 Ibid.

219 Mattlin et al. 2023.

kehittää kykyään seurata teknologista kehitystä. Yritysten seurantajärjestelmät ovat tyypillisesti keskittyneet seuraamaan niiden oman markkina-segmentin ja asiakaskunnan tarpeita sekä oman tuoteperheen trendejä. Tästä johtuen saattaisi olla perusteltua, että yritykset perustaisivat niille keskeisen markkina- ja teknologiasegmentin seurannan rinnalle erillisen seurantajärjestelmän, joka keskittyisi murroksellisiin teknologioihin. Järjestelmän ytimessä olisivat tekniset asiantuntijat ja heidän näkemystensä huomioon ottaminen osana strategista päätöksentekoa. Tämä perustuu siihen, että asiantuntijat ovat todennäköisesti tietoisia uusista (murroksellisista) teknologioista verrattain aikaisin. Heillä on myös osaamista arvioida, millaisia vaatimuksia uuden teknologian omaksuminen ja tai valtavirtaistuminen tuo tullessaan, ja kuinka merkittävässä määrin se voi kilpailla yrityksen oman teknologian kanssa, mikäli omaksuminen ei ole mahdollista.

Huoltovarmuuskeskus voi tukea tätä toimintaa esimerkiksi osana tietodus- ja tukitoimintaa, joka tapahtuu poolijärjestelmän kautta. Huoltovarmuuskeskus voi myös kehittää omaa toimintaansa nimeämällä asiantuntijan (tai asiantuntijoita), jonka tehtävänä on kerätä ja analysoida tietoa jo käynnissä olevista teknologisista murroksista ja välittää tietoa eteenpäin huoltovarmuuspoolien jäsenille sekä tarpeen vaatiessa julkisen vallan toimijoille.

Myös Huoltovarmuusorganisaation roolia kansallista kilpailukykyä vahvistavan osaamisen rahoittajana voisi konkreettisesti kehittää. Huoltovarmuusrahaston yhteyteen voitaisiin perustaa alarahasto huoltovarmuutta tukevien innovaatioiden tukemiseen. Tavoitteen saavuttamiseksi tuen olisi oltava pitkäjänteistä, ennakoitavaa ja kohdennuttua. Koska kaikea ei voi tietenkään tukea, rahoitus olisi hyvä keskittää aloille, joissa on jo valmiiksi huippuosaamista, sillä osaaminen on usein kriittisin rajallinen resurssi. Kasvu ja uudet innovaatiot taas vahvistavat huoltovarmuutta monipuolistumisen kautta niin uuden osaamisen, teknologisten vaihtoehtojen kuin markkinoille saapuvien laitteiden ja komponenttienkin muodossa. Osaamisen tuottamisen lisäksi alarahasto myös lisäisi turvallisuusnäkökantojen huomioimista ainakin niiden toimijoiden keskuudessa, jotka rahastosta tukea hakisivat.

6.4.1. Yritysten oman tilannekuvatiedon hyödyntäminen

Tilannekuvan päivittämisen ja tilannetietojen hyödyntämisen kohdalla pitää huomioida Suomen ja Euroopan unionin asettamat vaatimukset ja rajoitteet sille, miten julkinen toimija voi tukea yrityksiä tietoa jakamalla ja milloin tieto pitäisi julkaista kaikille. Mikäli yrityksille onnistuttaisiin

jakamaan ajantasaista tietoa esimerkiksi tuottajavaihtoehtoista tai tulevista tuotantoketjujen häiriöistä, voisivat hyödyt olla merkittäviä.

Teknologisten järjestelmien pohjatasoa ja tuotantoketjujen häiriöitä kuvaavan tilannekuvatiedon keräämiseenkin liittyy kuitenkin haasteita, jotka eivät merkittävästi eroa velvoitevarastointia koskevan tilannekuvatiedon tapauksesta. Yrityksiä voi esimerkiksi huolestuttaa, että kilpakuuppanit saisivat käsiinsä niiden toiminnasta ja potentiaalisista vaikeuksista kertovaa tietoa joko suoraan tai epäsuorasti tilannekuvien muutoksesta päättellessä. Yrityksiä voi myös arveluttaa tiedonkeräys- ja jakoprosessiin kuuluvien resurssien hyötysuhde erityisesti, mikäli teknologisia murroksia ei yrityksen omassa riksiarviointissa arvoteta korkealle. Tämän lisäksi yrityksiä voi huolettaa, että täsmällinen raportointi antaa julkisvallalle työkaluja kehittää sääntelyä, jolla niitä voidaan rangaista pienistä poikkeamista samalla kun epätarkemmin raportoivat kilpailijat pääsevät vähemmällä. Näiden haasteiden ratkaisemiseksi on lähtökohdaisesti suositeltavaa pyrkiä etenemään tavalla, joka pohjautuu pakottamisen sijaan vapaaehtoisuuteen. Varautumisen kannalta on ensiarvoisen tärkeää, että kannusteet rehelliseen raportointiin ovat selkeät ja kouriintuntuvat. Osittain kyse on hyvin johtamiskäytänteiden toteutumisesta myös organisaatiosuhteiden tasolla esimerkiksi siten, ettei hyvin tehdystä työstä rangaista lisätyöllä (kuten raportoinnilla) tai vastuulla (kuten suu-remmilla varastoilla). Yhtä lailla on tärkeää, että raportoitua tietoa hyödynnetään avoimella ja lisäarvoa tuottavalla tavalla.

Pohjimmiltaan yritysten itse tuottamien tilannekuvatietojen keräämisessä on kyse yritysten sitouttamisesta Suomeen. Edellisessä luvussa kuvatus mukaisesti luottamuksen rakentaminen lisäarvoa ja pitkäjänteisyyttä demonstroimalla on ensiarvoisen tärkeää. Pitkäjänteisyyden ja siihen kuuluvan ennakoitavuuden rakentaminen tarkoittaa myös sitä, että pienet säädösten korjaukset ja toimintamallien parannukset pitää joskus siirtää myöhemmäksi. Poukkoileva ohjaus ja yhteistyö voi pahimmillaan johtaa siihen, että ennakoitavuuden heikkeneminen kääntää kokonaisvaikutukset negatiivisiksi.

6.4.2. Pullonkaulojen tunnistaminen

Teknologisia murrosvaikutuksia patoavien pullonkaulojen tunnistaminen²²⁰ mahdollistaa murrosvaikutusten ennakoimisen jo ennen niiden leviämistä Suomeen. Murrosvaikutuksia tai innovaatioita pidättelevien pullonkaulojen tunnistaminen on vaikeaa, muttei yhtä vaikeaa kuin murroksellisten innovaatioiden ennakoiminen, joka on määrittämisen mukaisesti lähes mahdotonta, tai kaikkien yksittäisten mikrotason

220 Aiheesta tarkemmin luvussa 2.2.

murrosprosessien vaikuttavuusarviointi, joka kattaa lähes mahdotoman suuren määrän markkinasiirtymiä ja niiden aiheuttajia. Yritysten onkin usein kannattavaa pyrkiä tunnistamaan kriittisiä pullonkauloja itselleen keskeisten teknologioiden ja markkinoiden kohdalla, jotta niiden olisi mahdollista omaksua murroksellinen innovaatio tai muuten sopeutua murrosvaikutuksiin ennen markkina-aseman menetystä.²²¹ Huoltovarmuuskeskus voisikin lisätä pullonkaulojen tunnistamisen ja vaikuttavuusarvioinnin osaksi jo tehtävää huoltovarmuusnäkökantojen koulutustoimintaa ja tarjota tietoa kaikille ennakoitavien osallistujille (kotimaisille ja kansainvälisille) yrityksille.

Pullonkaulojen vaikutuksesta valtavan hyödyllinenkin murroksellinen tuote voi jäädä marginaaliseksi joko väliaikaisesti tai lopullisesti. Huolellinen vaikuttavuusarvio pullonkaulan pitävyydestä ja tiukkuudesta vähentää sekä ali- että ylireagoinnin riskiä, mutta ne eivät kuitenkaan ole ainoat vaikuttavuusarviointiin vaikuttavat tekijät. Pullonkaulan purkautumisesta kiihtyneen murroksen vaikutus riippuu hyvin paljon myös murrosvaikutuksia kohtaavan markkinasegmentin koosta ja yhteiskunnallisesta merkittävydestä. Voimakkaan murroksellinen innovaatio voi samaan aikaan kaataa useita yrityksiä (mukaan lukien markkinajohtajia) ja olla kansallisen varautumisen kannalta käytännössä merkityksetön. Tilanteen arvioiminen on kuitenkin vaikeaa, sillä myös näennäisen vähämerkityksellisellä laitteella tai yrityksellä voi olla hallitseva asema kansalliselle turvallisuudelle kriittisen laitteen tai järjestelmän tuotantoketjussa.

221 Gans 2016, 65–82.

YHTEENVETO

Tässä raportissa on analysoitu murroksellisia teknologioita ja niiden vaikutuksia kansallisen turvallisuuden toimintaympäristöön sekä kansalliseen varautumiseen. Sen lisäksi, että teknologinen kehitys väistämättä muuttaa kansallisen varautumisen teknologista toimintaympäristöä, on muutosprosessilla itsellään väliaikaisia häiriöitä tuottavia eli murroksellisia vaikutuksia. Murrosvaikutus on siis väliaikainen häiriö, jonka on tuottanut toiminnan pohjaehdot muuttanut muutos, yleensä innovaatio.

Teknologiset murrokset syntyvät yksittäisistä innovaatioista, jotka kehkeytyvät tuotteeksi, joka yllättäen syrjäyttää markkinoilla vallitsevat muut tuotteet ja ovat teknologisesti sen verran erilaisia, etteivät häviävän tuotteen komponenttien toimittajat kykene vaivattomasti siirtymään osaksi uuden tuotteen tuotantoketjua. Yllätys syntyy yleensä siitä, että uusi tuote vastaa uuteen tarpeeseen. Tuotteet voivat olla mitä tahansa yksittäisistä laitteista aina tapoihin organisoida toimintaa.

Innovaatioiden kasaantuessa teknologia-alojen piiriin syntyy trendejä. Trendit johtuvat paitsi fysiikan lainalaisuuksista myös innovaatioita tuottavan tiedon, erityisesti osaamisen, kumuloitumisesta. Trendit mahdollistavat teknologia-alojen yleisten kehityslinjojen ennakoimisen innovaatioiden tasoa luotettavammin. Muutos on kuitenkin haastavan nopeatempoista kansallisen varautumistoiminnan sopeuttamisen kannalta, ja lyhytikäisiksi jääviin ratkaisuihin investoimisen riski on oleellinen.

Yhdessä eri teknologia-alojen kehitys tuottaa makrotason trendejä, jotka ovat jo huomattavasti luotettavammin ennakoitavissa. Näistä keskeisimpiä ovat modularisaatio (eli alustapalvelujen yleistyminen), teknologisten ratkaisujen pieneminen, teknologisten kokonaisuuksien

maantieteellinen hajautuminen, monimutkaisuuden kerrostuminen teknologisten järjestelmien kasaantuessa aiempien varaan, suoritteisiin kulu- van ajan lyhentymisen valmisteluajan kustannuksella sekä yhteiskunnan ja taloustoiminnan keskeisten järjestelmien tietoverkkoriippuvuuden lisääntyminen. Näiden kehityskulkujen vaikutusten ennakoiminen kriit- tisten suorituskykyjen näkökulmasta antaa varautumistoimijoille vankan strategisen tason otteen tulevaisuuden haasteista.

Lopulta teknologisen kehityksen vaikutukset kasaantuvat yleiseen maailmanjärjestykseen vaikuttaviksi kehityskuluiksi. Nämä kehityskulut etenevät vuosikymmenten aikajänteellä, ja siksi niiden ennakoiminen onkin pääsääntöisesti luotettavaa. Tässä raportissa esiteltyjen kolmen trendin – tiedon hyödynnettävyyden lisääntymisen, hybridi-vaikutta- miskeinojen yleistymisen ja geoeconomian suosion kasvun – yhteys tek- nologiseen kehitykseen on selkeä, mutta tällä tarkastelun tasolla myös teknologiafokusta laajemmat systemaattiset ilmiöt nousevat näkyviin.

Raportin keskeisin johtopäätös on, että kansallisen varautumisen näkökulmasta sopeutumiskeinot kannattaa keskittää maailmanjärjes- tyksen tason muutoksiin. Systeemiin muutoksiin sopeutuminen on myös välttämätöntä, koska paluuta entiseen ei ole, vaan teknologinen kehitys luo 'uutta normaalia' askel askeleelta, innovaatio innovaatiolta. Kun kansalliseen varautumisjärjestelmään on rakennettu kyky sopeutua systeemiin muutoksiin, syntyy järjestelmän sisään tilaa havainnoida ja reagoida myös yksittäisiin muutoksiin ilman, että politiikan pitkäjäntei- syys vaarantuu.

Nykyisellä teknologisen kehityksen kurssilla kamppaillaan kyvystä ottaa tietomassat käyttöön. Kamppailussa ei voi menestyä sisäänpäin kääntymällä ja vanhentuneita rakenteita tukemalla. Sopeutumista ei myöskään voi jättää ainoastaan turvallisuustoimijoiden vastuulle, sillä julkisen vallan lisäksi yksityisen ja kolmannen sektorin toimijoilla sekä yksittäisillä kansalaisilla on roolinsa kokonaisturvallisuuden rakentumi- sessa. Kansallisen kokonaisturvallisuuden ytimessä on kyky tuottaa tietoa (erityisesti osaamista) ja hajauttaa sitä läpi yhteiskunnan rakenteiden niin, että tarpeen hetkellä tieto on käytettävissä. Tässä keskiöön nousee erityi- sesti koulutuspolitiikan, työllisyyspolitiikan ja maahanmuuttopolitiikan koordinoiminen. Tärkeintä on varmistaa, että Suomeen syntyy ja saapuu uutta osaamista ja että osaaminen myös hajautuu läpi yhteiskunnan, sillä innovaatiot kasvavat korkoa korolle.

LÄHDELUETTELO

- 115th Congress (2018) "H.R.6227 - National Quantum Initiative Act". The U.S. Government Publishing Office. <https://www.congress.gov/bill/115th-congress/house-bill/6227/text>.
Luettu 20.12.2023.
- 117th Congress (2021) "H.R.3684 - Infrastructure Investment and Jobs Act." The U.S. Government Publishing Office. <https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/3684/text>.
- 117th Congress (2022a) "H.R.4346 - Chips and Science Act". The U.S. Government Publishing Office <https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/4346>
- 117th Congress (2022b) "H.R.5376 - Inflation Reduction Act of 2022". The U.S. Government Publishing Office. <https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/5376/text>.
- Aaltola, Mika, Christian Fjäder, Eeva Innola, Juha Käpylä & Harri Mikkola (2016) "Huoltovarmuus
Muutoksessa: Kansallisen varautumisen haasteet kansainvälisessä toimintaympäristössä". *FIIA Report 49*. https://www.fiaa.fi/wp-content/uploads/2017/04/fiareport49_huoltovarmuus_muutoksessa.pdf.
- Aaltola, Mika, Juha Käpylä, Harri Mikkola & Timo Behr (2014) "Towards the Geopolitics of Flows: Implications for Finland". *FIIA Report 40*. <https://www.fiaa.fi/en/publication/towards-the-geopolitics-of-flows>.
- Adelantado, Ferran, Xavier Vilajosana, Pere Tuset-Peiro, Borja Martinez, Joan Melia-Segui & Watteyne, Thomas Watteyne (2017) "Understanding the Limits of LoRaWAN". *IEEE Communications Magazine*, 55 (9). 34–40. DOI: 10.1109/MCOM.2017.1600613.
- Angelidou, Margarita (2014) "Smart city policies: A spatial approach". *Cities* 41 (1): 3–11.
- Austerberry, David (2004) "The Technology of Video and Audio Streaming". Routledge, New York.
- Bahdanau, Dzmitry, Kyunghyun Cho & Yoshua Bengio (2014) "Neural Machine Translation by Jointly Learning to Align and Translate". *ICLR 2015 Conference Paper*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1409.0473>.
- Beck, Ulrich ([1986] 1992) "Risk Society: Towards a New Modernity". Sage publishing. London.
- Bennett, Charles, Giles Brassard & Arthur Ekert (1992) "Quantum Cryptography". *Scientific American* 267 (4): 50–57.
- Berstein, Daniel & Tanja Lange (2017) "Post-Quantum Cryptography". *Nature* 549: 188–194
- Bjornlund, Lydia (2015). *How the Refrigerator Changed History*. Abdo Publishing. ISBN: 978-1-62403-786-3.
- Boucher, Philip, Naja Bentzen, Tania Lațici, Tambiama Madiaga, Leopold Schmetzing & Marcin Szczepański (2020) *Disruption by technology: Impacts on politics, economics and society. In-Depth Analysis*. European Parliamentary Research Service. ISBN 978-92-846-6958-5.
- Burgueño Salas, Erik (2023) "Number of active satellites by year 1957–2022". Statista. Cambridge dictionary. <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/disruptive-technology>. Luettu 9.11.2023.
- Cao, Keyan, Yefan Liu, Gongjie Meng & Qimeng Sun (2020) "An Overview on Edge Computing Research". *IEEE Access*, 8: 85714–85728. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2991734.
- Choer Moraes, Henriques & Mikael Wigell (2022) "Balancing dependence: The Quest for Autonomy and the Rise of Corporate Geoeconomics. In Babić et al. (eds.), The Political Economy of Geoeconomics: Europe in a Changing World, International Political Economy Series.
- Christensen, Clayton ([1997] 2016) The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail. 3. PAINOS. Harvard Business Review Press. ISBN: 978-1-63369-178-0.
- Christensen, Clayton & Joseph Bower (1995) "Disruptive technologies: Catching the Wave". *Harvard Business Review* 73, no. 1. 43.
- Christensen, Clayton, James Allworth & Karen Dillon (2012) "How Will You Measure Your Life?" Harper Collins.
- CNN Money (2009) "Bailed out banks". CNN Special Report The Rescue. <https://money.cnn.com/news/specials/storysupplement/bankbailout/>.
- Csernatoni, Raluca (2021) "The EU's Defence Ambitions: Understanding the Emergence of a European Defence Technological and Industrial Complex". *Carnegie Europe*.

- Dosi, Giovanni (1982) "Technological paradigms and technological trajectories: A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change". *Research Policy* 11(3) 147–162.
- Einiö, Elias (2022) "Valtion innovaatiotuet lisäävät talouskasvua, mutta tuet on kohdennettava oikein". Valtion taloudellinen tutkimuskeskus. <https://doria.fi/bitstream/handle/10024/186118/vatt-policy-brief-5-2022-valtion-innovaatiotuet-lisaavat-talouskasvua-mutta-tuet-on-kohdennettava-oikein.pdf>. Luettu 21.2.2024.
- Etzkowitz, Henry & Loet Leydesdorff (1995) "The Triple Helix: University-Industry-Government Relations: A Laboratory for Knowledge-Based Economic Development". *EASST Review* 14: 14–19.
- Etzkowitz, Henry & Loet Leydesdorff (2000) "The dynamics of innovation: from National Systems and "Mode 2" to a Triple Helix of university-industry-government relations". *Research Policy* 29(2): 109–123. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(99\)00055-4](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(99)00055-4).
- Euroopan avaruusjärjestö (2023) "ICEYE". Avaruusjärjestön viralliset internetsivut, Earth Online Gateway. <https://earth.esa.int/eogateway/missions/iceye%20>. Luettu 29.2.2024.
- Euroopan komissio (2020) "The EU vs US corporate R&D intensity gap: Investigating key sectors and firms". JRC Technical Reports. <https://joint-research-centre.ec.europa.eu/system/files/2020-03/jrc120008.pdf>.
- Euroopan komissio (22.2.2021) "Siviili-, puolustus- ja avaruusteollisuuden välisiä synergioita koskevat toimintasuunnitelma". COM(2021) 70 final. Euroopan komissio. Bryssel. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX:52021DC0070>
- Euroopan komissio (3.10.2023) "Commission Recommendation of 03 October 2023 on critical technology areas for the EU's economic security for further risk assessment with Member States. C(2023) 6689 final". Euroopan komissio. Strasbourg. https://defence-industry-space.ec.europa.eu/system/files/2023-10/C_2023_6689_1_EN_ACT_part1_v8.pdf.
- Euroopan komissio (3.10.2023b) "ANNEX to the Commission Recommendation on critical technology areas for the EU's economic security for further risk assessment with Member States. C(2023) 6689 final". Euroopan komissio. Strasbourg. https://defence-industry-space.ec.europa.eu/system/files/2023-10/C_2023_6689_1_EN_annexe_acte_autonome_part1_v9.pdf.
- Euroopan parlamentti (13.4.2022) "Euroopan parlamentin ja neuvoston asetukset (EU) 2022/612 verkkovierailuista yleisissä matkaviestinverkoissa unionin alueella (uudelleenlaadittu)". EUR-Lex. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32022R0612>.
- Euroopan parlamentti (4.9.2020) "Mitä tekoäly on ja mihin sitä käytetään?" Euroopan parlamentin viralliset verkkosivut. <https://www.europarl.europa.eu/topics/fi/article/20200827STO85804/mita-tekoaly-on-ja-mihin-sita-kaytetaan>.
- Euroopan parlamentti (2022) "Digital Markets Act". https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2022-0270_EN.html. Luettu 29.2.2024
- Euroopan talous- ja sosiaalikomitea (15.2.2022) "Turvallisuuden ja puolustuksen kannalta kriittisiä teknologioita koskeva etenemissuunnitelma". COM(2022) 61 final". Euroopan talous- ja sosiaalikomitea. Bryssel. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX:52022DC0061>.
- European Battery Alliance (2017) "Building a European battery industry". EIT InnoEnergy EBA250 <https://www.eba250.com/>. Luettu 14.4.2024.
- European Commission (2021a) "The Digital Europe Programme (DIGITAL)". European Commission. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/activities/digital-programme>.
- European Commission (2021b) "Horizon Europe". https://research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe_en. Luettu 29.2.2024.
- European Commission (2023a) "Joint Communication to the European Parliament, the European Council and the Council on "European Economic Security Strategy"". JOIN/2023/20 final". European Commission. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52023JC0020&qid=1687525961309>.
- European Commission (2023b) "The European Chips Act". European commission <https://www.european-chips-act.com/>.
- European Commission (6.10.2023) "Digital Markets Act: Commission designates six gatekeepers". Press release. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_4328.

- European Parliament (5.7.2022) “European Parliament legislative resolution of 5 July 2022 on the proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council on contestable and fair markets in the digital sector (Digital Markets Act). (COM(2020)0842 – C9-0419/2020 – 2020/0374(COD))”. European Parliament. https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2022-0270_EN.html.
- European Parliamentary Research Service’s Scientific Foresight Unit (2021) “Key enabling technologies for Europe’s technological sovereignty”. PE 697.184. European Parliament. [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2021/697184/EPRS_STU\(2021\)697184_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2021/697184/EPRS_STU(2021)697184_EN.pdf).
- Evans, David (2003) “The antitrust economics of multi-sided platforms markets”. *Yale Journal on Regulation*, vol. 20.
- Federal Communications Commission (6.7.2022) “FCC 22-50. Report and Order and Further Notice of Proposed Rulemaking: In the Matter of Resilient Networks”. https://docs.fcc.gov/public/attachments/FCC-22-50A1_Red.pdf
- Financial Stability Board FSB (2017) “Financial Stability Implications from Fintech: Supervisory and Regulatory Issues that Merit Authorities’ Attention”. Basel.
- Fjäder, Christian (2014) “The nation-state, national security and resilience in the age of globalisation”. *Resilience* 2 (2): 114-129.
- Friedman, Ofer (2018) “*Russian ‘Hybrid Warfare’: Resurgence and Politicisation*”. Hurst & Company, London.
- Fägersten, Björn, Ulla Lovcalic, Anna Lundborg Regné & Swapnil Vashishtha (2023) “*Controlling critical technology in an age of geoeconomics: Actors, tools, and scenarios*”. Swedish Institute of International Affairs.
- Gans, Joshua (1995) “Inside the Black Box: A Look at the Container,” *Prometheus* 13, (2): 169-183
- Gans, Joshua (2016) “*The Disruption Dilemma*”. The MIT Press. ISBN 9780262533621.
- Gants, Carroll (2015) “*Refrigeration: A History*”. McFarland & Company. ISBN: 978-1-4766-1969-9.
- Gisin, Nicolas & Rob Thew (2007) “Quantum Communication”. *Nature Photonics* 1: 165-171.
- GSMA (2019) “Infrastructure Sharing: An Overview”. GSMA kotisivut. <https://www.gsma.com/futurenetworks/wiki/infrastructure-sharing-an-overview/>.
- GSMA Head office (2012) “Mobile Infrastructure Sharing”. GSMA. <https://www.gsma.com/publicpolicy/wp-content/uploads/2012/09/Mobile-Infrastructure-sharing.pdf>.
- Hakala, Emma, Harri Mikkola Juha Käpylä, Matti Pesu & Mika Aaltola (2019) ”Suomen huoltovarmuus ja Baltian alue: Tiivistyvät yhteydet muuttuvassa turvallisuusympäristössä”. *FIIA Report* 61. Ulkopoliittinen instituutti. ISBN 978-951-769-615-9.
- Harris, Richard (2002) “The knowledge-based economy: intellectual origins and new economic perspectives”. *International Journal of Management Review*. V. 3 (1).
- Hein, Andreas & Juliette Brun (2019) “A Conceptual Framework for Breakthrough Technologies”. *Proceedings of the Design Society: International Conference on Engineering Design*. 1. 1333-1342. 10.1017/dsi.2019.139.
- Henderson, Rebecca & Kim Clark (1990) “Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms”. *Administrative Science Quarterly* 35. (1).
- High-Level Expert Group on Artificial Intelligence (2019) “*A definition of AI: Main capabilities and scientific disciplines*” European Commission. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/definition-artificial-intelligence-main-capabilities-and-scientific-disciplines>.
- Hines, Theron (1893) “*The Ice Crop: How to Harvest, Store, Ship and Use Ice*”. Applewood books. Bedford, United States. ISBN: 978-1-4290-1045-0.
- Hoffman, Frank (2007) “*Conflict in the 21st Century: The Rise of Hybrid Warfare*. Arlington” Potomac Institute for Policy Studies.
- Holmgren, Markus (2022a) “Autonomy through digital resilience: The importance of upholding the national tech stack”. *FIIA Briefing Paper* 341. <https://www.fia.fi/julkaisu/autonomy-through-digital-resilience>.
- Holmgren, Markus (2022b) “Digital resilience beyond data localisation: National approaches to global challenges”. *FIIA Briefing Paper* 352. <https://www.fia.fi/julkaisu/digital-resilience-beyond-data-localisation>. Luettu 29.2.2024.
- Holmgren, Markus (2023) “The role of space technologies in power politics: Mitigating strategic dependencies through space resilience”. *FIIA Briefing Paper* 365. Finnish Institute of International Affairs. <https://www.fia.fi/julkaisu/the-role-of-space-technologies-in-power-politics>.
- Huoltovarmuuskeskus (8.3.2024) Työtaistelujen vaikutuksista huoltovarmuudelle. <https://www.huoltovarmuuskeskus.fi/a/tyotaistelujen-vaikutuksista-huoltovarmuudelle-arvio-8-3-2024>.

- Huoltovarmuuskeskus (2024) "Huoltovarmuus Suomessa". <https://www.huoltovarmuuskeskus.fi/tietoa-huoltovarmuudesta/huoltovarmuus-suomessa>. Luettu 9.2.2024.
- Huoltovarmuusorganisaation Digipooli & Accenture Oy (2022) "Toimialojen kyberkypsyyden selvitys 2022: Kansallinen koosteraportti". Huoltovarmuuskeskus.
- Hyppönen, Mikko (2021) "Internet". WSOY. EAN: 9789510464410
- Hyvönen, Ari-Elmeri & Tapio Juntunen (2018) "Resilienssi avaimena laaja-alaisen kokonaisturvallisuuteen: haasteita ja mahdollisuuksia". Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminta, Policy Brief 25/2018. Helsinki: Valtioneuvoston Kanslia.
- Hyvönen, Ari-Elmeri, Tapio Juntunen, Harri Mikkola, Juha Käpylä, Harri Gustafsberg, Markku Nyman, Tiina Rättilä, Sirpa Virta & Johanna Liljeroos (2019) "Kokonaisresilienssi ja turvallisuus: tasot, prosessit ja arviointi". Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 17/2019. Helsinki. Valtioneuvoston Kanslia.
- Häggglund, Mariette (2020) "Rebuilding Sweden's crisis preparedness: Lack of clarity impedes implementation". *FIIA Briefing Paper 283*. <https://www.fia.fi/julkaisu/rebuilding-swedens-crisis-preparedness>.
- Hämäläinen, Timo (2003) "National competitiveness and Economic Growth: The Changing Determinants of Economic Performance in the World Economy". Edward Elgar. *New Horizons in Institutional and Evolutionary Economics series*. ISBN: 978 1 84064 454 8.
- ICEYE (2024) "Our History". Yhtiön viralliset internetsivut. <https://www.iceye.com/company/history> Luettu 29.2.2024.
- International Astronomical Union (2020) "Satellite Constellations". Official Webpage of the union. <https://www.iau.org/public/themes/satellite-constellations/> Luettu 14.4.2024.
- International Telecommunications Union (2020) "Mobile Infrastructure Sharing". ITU News Magazine. <https://www.itu.int/itunews/manager/display.asp?lang=en&year=2008&issue=02&ipage=sharing> Infrastructure-mobile.
- International Telecommunication Union (2023) "IMT towards 2030 and beyond". ITU Publications. <https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2030/Pages/default.aspx>. Luettu 14.4.2024.
- Iso-Markku, Tuomas (2022) "The EU and Finland's security of supply: A 'turn' in EU thinking provides new opportunities, but significant differences remain". *FIIA Briefing Paper 330*. <https://www.fia.fi/julkaisu/the-eu-and-finlands-security-of-supply>.
- Jalonen, Harri, Petri Uusikylä, Anssi Keinänen, Valdemar Kallunki, Aki-Mauri Huhtinen, Harriet Lonka, Kari Laitinen, Leena Jukka & Annukka Jokipii (2021) "Tiedon huoltovarmuutta etsimässä". *Vaasan yliopiston raportteja 28*, Vaasa.
- Juntunen, Tapio (2014) "Kohti varautumisen ja selviytymisen kulttuuria? - Kriittisiä näkökulmia resilienssiin". Suomen Pelastusalan Keskusjärjestö SPEK. ISBN 978-951-797-528-5.
- Jutila, Eveliina, Krista Kovanen, Jarno Vuorinen & Sonja Martikainen (2023) "Trend report 2023." VTT Technical Research Centre of Finland. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/2023-05/vtt%20Trend%20Report%202023%20-%20May%202nd%202023%20-%20On-Screen%20compressed-03052023.pdf>.
- Kirvan, Paul (2023) "Data Streaming". TechTarget, Network Management Monitoring. Company infopage <https://www.techtarget.com/searchnetworking/definition/data-streaming>. Luettu 14.4.2024.
- Larsen, Marcus, Timo Seppälä & Jyrki Ali-Yrkkö (2017) "The changing geography and ownership of value creation: evidence from mobile telecommunications". *Industry and Innovation*, 24, 1-24.
- Lascurettes, Kyle (2020) "Orders of Exclusion: Great Powers and the Strategic Sources of Foundational Rules in International Relations". Oxford University Press. ISBN: 978-0-19-006854-7.
- von der Leyen, Ursula (2023) "Speech by President von der Leyen on EU-China relations to the Mercator Institute for China Studies and the European Policy Centre". Brussels, 30 March 2023. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/speech_23_2063. Luettu 29.2.2024.
- Luttwak, Edward (1990) "From geopolitics to geoeconomics: Logic of conflict, grammar or commerce". *The National Interest*, 20, 17-23.
- Mattlin, Mikael, Shaun Breslin, Elina Sinkkonen, Liisa Kauppila, Björn Cappelin, Ines Söderström & Matt Ferchen (2023) "Enhancing Small State Preparedness: Risks of Foreign Ownership, Supply Disruptions and Technological Dependencies". *FIIA Report 74*.

- McMillan, Ian (25.5.2022) "Russia using smartphone 'game' to recruit Ukrainian children as unwitting spies". The Debrief. <https://thedebrief.org/russia-using-smartphone-game-to-recruit-ukrainian-children-as-unwitting-spies/>. Luettu 5.12.2023.
- Mikkola, Harri, Mika Aaltola, Mikael Wigell, Tapio Juntunen & Antto Vihma (2018) "Hybridivaikuttaminen ja demokratian resilienssi: Ulkoisen häirinnän mahdollisuudet ja torjuntakyky liberaaleissa demokratioissa". *FIIA Report* 55. https://www.fiaa.fi/wp-content/uploads/2018/05/fiaa_report55_web_hybridivaikuttaminen-ja-resilienssi.pdf.
- Moisio, Sami (2018) "Geopolitics of the Knowledge-Based Economy". Routledge, London ISBN: 978-1-138-82199-6.
- Mulder Nicholas (2022) "The economic weapon: The Rise of Sanctions as a Tool of Modern War". Yale University Press. ISBN: 978-0-300-25936-0.
- Nasa (2024) "What is Synthetic Aperture Radar"? EarthData, Nasan viralliset internetsivut. <https://www.earthdata.nasa.gov/learn/backgrounders/what-is-sar>. Luettu 29.2.2024.
- National Science Foundation (2022) "Cross-National Comparisons of R&D Performance. Science and Engineering Indicators". The U.S. Government Publishing Office. <https://nces.nsf.gov/pubs/nsb20225/cross-national-comparisons-of-r-d-performance>. Luettu 29.2.2024.
- Nauman, Jalil (2021) "Introduction to Intelligent User Interfaces (IUIs)" Teoksessa: Castro, Laura, David Cabrero & Rüdiger Heimgärtner (2021) "Software Usability" Intechopen. London. DOI: 10.5772/intechopen.97789.
- Newsby, Gregory (1996) "Virtual reality: Scientific and technological challenges" *Library & Information Science Research* 18. 278-280.
- Park, Sangin (2004) "Quantitative analysis of network externalities in competing technologies: the vcr case". *Rev. Econ. Stat.* 86, 937-945. (DOI:10.1162/0034653043125275).
- Penttilä, Risto, Sonja Tamminen, Anton Engelberg & Katri Rynty (2023) "Murroskelliset teknologiat ja kansallinen turvallisuus: Onko Suomi valmis haasteeseen?" Nordic West Office Oy.
- Perez, Carlota (2002) "Technological Revolutions and Financial Capital: The Dynamics of Bubbles and Golden Ages". *Edward Elgar Publishing Limited*. Cheltenham. Yhdistynyt kuningaskunta.
- Pesu, Matti & Tuomas Iso-Markku (2020) "The deepening Finnish-Swedish security and defence relationship: From operative cooperation to 'strategic interoperability'?" *FIIA Briefing Paper* 291. <https://www.fiaa.fi/julkaisu/the-deepening-finnish-swedish-security-and-defence-relationship>.
- Pohjois-Atlantin puolustusliitto. (22.6.2023). *Emerging and disruptive technologies*. Pohjois-Atlantin puolustusliitto. https://www.nato.int/cps/en/natohq/topics_184303.htm. Luettu 9.11.2023.
- Pohjois-Atlantin puolustusliiton tiede- ja teknologiaorganisaatio (2020) *Science & Technology Trends 2020-2040*. https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2020/4/pdf/190422-st_Tech_Trends_Report_2020-2040.pdf.
- Preda, Marius (2021) "Augmented reality definition and functionalities". 96th meeting of MPEG, Genève, Switzerland. <https://hal.science/hal-00710072>.
- Pursiainen, Christer (2018) "Critical infrastructure resilience: A Nordic model in the making?" *International Journal of Risk Reduction* 27: 632-641.
- Pursula, Pekka & Stefan Linge (6.11.2023) "Suomen ensimmäinen kvanttietokone avataan yritysten käyttöön". Lehdistöiedote, VTT. <https://www.vttresearch.com/fi/uutiset-ja-tarinat/suomen-ensimmainen-kuanttietokone-avataan-yritysten-kayttoon>. Luettu 22.2.2024.
- Reserve Bank of Australia (2022a) "Digital Currencies". Reserve Bank of Australia webpage <https://www.rba.gov.au/education/resources/explainers/cryptocurrencies.html>. Luettu 14.4.2024.
- Reserve Bank of Australia (2022b) "Central Bank Digital Currency". Reserve Bank of Australia webpage. <https://www.rba.gov.au/payments-and-infrastructure/central-bank-digital-currency/>. Luettu 14.4.2014.
- Rogers, Everett M. ([1988] 1962) "Diffusion of innovations". The Free Press. Kolmas painos. New York, Yhdysvallat.
- Scavani, Valerio, Helle Bechmann-Pasquucci, Nicolas Cerf, Miloslav Dušek, Norbert Lütkenhaus & Momtchil Peev (2009) "The security of practical quantum key distribution". *Reviews of Modern Physics* 81 (3): 1301-1350.

- Schuh, Günther, Christian Holper, Lennard Holst & Wolfgang Boos (2023) "Creation of Subscription-Related Service Modules". Teoksessa: Alfnes, E., A. Romsdal, J.O. Strandhagen, G. von Cieminski, D. Romero (eds.) *Advances in Production Management Systems. Production Management Systems for Responsible Manufacturing, Service, and Logistics Futures*. IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems. vol 690. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-43666-6_15. Luettu 22.2.2024.
- Seagate (2020) "Rethink Data Report 2020". Seagate Technology Report. https://www.seagate.com/content/dam/seagate/migrated-assets/www-content/our-story/rethink-data/files/Rethink_Data_Report_2020.pdf.
- Segal, Adam (2015) "Hacked World Order: How Nations Fight, Trade, Maneuver, and Manipulate in the Digital Age". PublicAffairs. ISBN 978-1-610-39415-4.
- Sinha, Amit, Ednilson Bernardes, Rafael Calderon & Thorsten Wuest (2021) "Digital Supply Networks: Transform your supply chain and gain competitive advantage with disruptive technology and reimaged processes". McGrawhill. New York.
- Sinmaz, Emine (16.11.2023) "Israel drops leaflets warning people to flee southern Gaza towns". The Guardian Israel-Hamas war – live updates. <https://www.theguardian.com/world/2023/nov/16/israel-drops-leaflets-warning-people-to-flee-southern-gaza-towns>. Luettu 29.2.2024.
- Software Solutions Unlimited, Inc. (1.2.2024) "Semiconductor Supply Chain Update Software Solutions Unlimited, Inc." <https://ssui.com/2024/02/01/semiconductor-supply-chain-update/>. Luettu 29.2.2024.
- Steane, Andrew (1998) "Quantum Computing". *Reports on Progress in Physics* 61, 117. DOI 10.1088/0034-4885/61/2/002.
- Subcommittee on Quantum Information Science Committee of Science of the national Science & Technology Council (6.1.2023) "The National Quantum Initiative Supplement to the President's FY 2023 Budget". Executive office of the President of the United States. <https://www.quantum.gov/wp-content/uploads/2023/01/NQI-Annual-Report-FY2023.pdf>. Luettu 20.12.2023.
- Sullivan, Jake (2023) "Remarks by National Security Advisor Jake Sullivan on Renewing American Economic Leadership". Brookings Institution, 27 April 2023. <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/speeches-remarks/2023/04/27/remarks-by-national-security-advisor-jake-sullivan-on-renewing-american-economic-leadership-at-the-brookings-institution/>. Luettu 29.2.2024.
- The Economist (9.11.2023) "How artificial intelligence will transform fame". *The Economist*, uutisartikkeli. <https://www.economist.com/leaders/2023/11/09/how-artificial-intelligence-will-transform-fame>.
- The Economist (14.9.2023). "How artificial intelligence can revolutionise science: Consider the historical precedents". *The Economist*, uutisartikkeli. <https://www.economist.com/leaders/2023/09/14/how-artificial-intelligence-can-revolutionise-science>.
- The World Bank (2012) "Nonbanking Financial Institution". Global Financial Development Report Background. <https://www.worldbank.org/en/publication/gfdr/gfdr-2016/background/nonbank-financial-institution>.
- Titievskaja, Jana (2021) "us-China geoeconomic rivalry intensifies: A risk or an opportunity for European companies?" *FIIA Briefing Paper* 323. <https://www.fiaa.fi/julkaisu/us-china-geoeconomic-rivalry-intensifies>.
- Trimmer, John (1950) "Response of Physical Systems". John Wiley & Sons. New York: Wiley.
- Tverskoi, Denis, Sudarsanam Babu & Sergey Gavrillets (2022) "The spread of technological innovations: effects of psychology, culture and policy interventions". *R. Soc. Open Sci.* 9:211833.
- United States Government (Luettu 20.12.2023) "National Vulnerability Database NVD". An official website of the United States government. <https://nvd.nist.gov/>.
- Usländer, Thomas, Michael Baumann, Stefan Boschert, Roland Rosen, Olaf Sauer, Ljiljana Stojanovic & Jan Christoph Wehrstedt (2022) "Symbiotic Evolution of Digital Twin Systems and Dataspaces" *Automation* 3, no. 3: 378–399. <https://doi.org/10.3390/automation3030020>.
- Utterback, James & William Abernathy (1975) "A dynamic model of process and product innovation". *Omega* 3, (6): 639–656.

- Uusitalo, Teuvo, Jouko Heikkilä, Eeva Rantanen, Jorma Lappalainen, Mika Liuhamo, Pertti Palukka & Päivi Hämäläinen (2009) ”Ennakoiva ja joustava turvallisuuden johtaminen. Resilienssi Suomessa.” VTT Technical Research Centre of Finland. *VTT Tutkimusraportti No. VTT-R-09394-09*. <https://publications.vtt.fi/julkaisut/muut/2009/VTT-R-09394-09.pdf>.
- Valtioneuvosto (2017) ”Yhteiskunnan turvallisuusstrategia. Valtioneuvoston periaatepäätös, 2.11.2017”. Turvallisuuskomitea.
- Valtioneuvosto (2022) ”Valtioneuvoston huoltovarmuusselonteko”. Valtioneuvoston julkaisuja.
- Walker, Brian (2020) ”Resilience: what it is and is not”. *Ecology and Society* 25 (2): 11
- Walsh, James & Gerardo Ungson (1991) ”Organizational Memory”. *The Academy of Management Review*, 16 (1), 57–91. <https://doi.org/10.2307/258607>. Luettu 22.2.2024.
- Wang, Xiangsui & Liang Qiao (1991) ”Unrestricted Warfare: Two Air Force Senior Colonels on Scenarios for War and the Operational Art in an Era of Globalization.” People’s Liberation Army. ISBN 9787540318871.
- Wendling, Mike (14.4.2023) ”Why did alleged Pentagon leaker Jack Teixeira have top secret access at age 21”. BBC News article. <https://www.bbc.com/news/world-us-canada-65271136>. Luettu 13.12.2023.
- Wewege, Luigi & Michael Thomsett (2020) ”The Digital Banking Revolution: How Fintech Companies are Transforming the Retail Banking Industry Through Disruptive Financial Innovation.” 3. painos. Walter de Gruyter Inc. Boston/Berlin. ISBN: 978-1-5474-1833-6.
- Wigell, Mikael (2016) ”Conceptualising regional powers’ geo-economic strategies: Neo-imperialism, neo-mercantilism, hegemony, and liberal institutionalism”. *Asia Europe Journal*. 14(2), 135–151.
- Wigell, Mikael (2019) ”Hybrid interference as a wedge strategy: a theory of external interference in liberal democracy”. *International Affairs* 95:2. 225–275.
- Wigell, Mikael (2021) ”Democratic Deterrence: How to Dissuade Hybrid Interference.” *The Washington Quarterly*. Spring 2021.
- Wigell, Mikael, Heiko Borchert, Edward Christie, Christian Fjäder & Lars-Hendrik Hartwig (2022a) ”Navigating geoeconomic risks: Towards an international business risk and resilience monitor”. *FIIA Report* 71. <https://www.fia.fi/en/publication/navigating-geoeconomic-risks>.
- Wigell, Mikael, Matthias Deschryvere, Christian Fjäder, Niklas Helwig, Ville Kaitila, Josi Seilonen & Arho Suominen (2022b) ”Europe Facing Geoeconomics: Assessing Finland’s and the EU’s Risks and Options in the Technological Rivalry”. *Publications of the Government’s analysis, assessment and research activities 2022:12*. Helsinki. Prime Minister’s office. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/163804>.
- Wigell, Mikael, Mariette Häggglund, Christian Fjäder, Emma Hakala, Johanna Ketola & Harri Mikkola (2022c) ”Nordic resilience: Strengthening cooperation on security of supply and crisis preparedness”. *FIIA Report* 70. <https://www.fia.fi/en/publication/nordic-resilience>.
- Wigell, Mikael, Harri Mikkola & Tapio Juntunen (2021) ”Best Practices in the whole-of-society approach in countering hybrid threats.” European parliament, Policy department. ISBN: 978-92-846-7991-1.
- Wigell, Mikael & Antto Vihma (2016) ”Geopolitics versus geoeconomics: The case of Russia’s geostrategy and its effects on the EU”. *International Affairs*, 92(3). 605–627.
- Wong, Kaufui & Aldo Hernandez (2012) ”A Review of Additive Manufacturing”. International Scholarly Research Notices, 2012.
- Wooldridge, Michael & Nicholas Jennings (2009) ”Intelligent agents: theory and practice”. *The Knowledge Engineering Review* 10(2): 115–152. doi:10.1017/S0269888900008122.
- Xia, Feng, Laurence Yang, Lizche Wang & Alexay Vinel (2012) ”Internet of Things”. International Journal of Communication Systems 25:1101–1102.
- Zegart, Amy (2022) ”Spies, Lies, and algorithms: The History and future of American Intelligence”. Princeton University Press. ISBN: 9780691147130.

KIRJOITTAJA

Markus Holmgren on tutkija Ulkopoliittisen instituutin Globaali turvallisuus ja hallinta -tutkimusohjelmassa. Hän tutkii digitaalista geokonomiaa, mikä on myös hänen väitöskirjatutkimuksensa aihe Turun yliopistossa. Hänen viimeaikaiset julkaisunsa ovat käsitelleet teknologisten järjestelmien kehitystä ja vaikutusta suurvaltapolitiikkaan sekä avaruuden strategisen toimintaympäristön muutosta. Holmgren on aiemmin toiminut poliittisiin maariskeihin ja kaupan rajoitteisiin keskittyvänä konsulttina sekä tutkinut Kiinan geostrategista kauppaa. Hän on valmistunut Globaalin poliittisen talouden ja hallinnan maisteriohjelmasta Helsingin yliopistosta.

SARJAN AIEMMAT JULKAISUT

Mikael Mattlin, Shaun Breslin, Elina Sinkkonen,

Liisa Kauppila, Björn Cappelin, Ines Söderström & Matt Ferchen

Enhancing small state preparedness: Risks of foreign ownership, supply disruptions and technological dependencies, FIIA Report 74 (2023)

Emma Hakala, Katariina Mustasilta & Mohammed Hadi

Water diplomacy analysis for Central Asia: Dynamics of insecurity and sources of resilience, FIIA Report 73 (2023)

Katariina Mustasilta, Tyyne Karjalainen, Timo R. Stewart & Mathilda Salo

Suomi Afganistanissa: Vakauttamisesta ulko- ja turvallisuuspoliittisten suhteiden vaalimiseen, FIIA Report 72 (2022)

Mikael Wigell, Heiko Borchert, Edward Hunter Christie, Christian Fjäder & Lars-Hendrik Hartwig

Navigating geoeconomic risks. Towards an international business risk and resilience monitor, FIIA Report 71 (2022)

Mikael Wigell, Mariette Hägglund, Christian Fjäder, Emma Hakala, Johanna Ketola & Harri Mikkola

Nordic Resilience. Strengthening cooperation on security of supply and crisis preparedness, FIIA Report 70 (2022)

Katja Creutz & Sia Spiliopou Åkermark

The Faroe Islands, Greenland and the Åland Islands in Nordic cooperation, FIIA Report 69 (2021)

Katja Creutz, Sofie Berglund, Telli Betül Karacan, Alberto Giacometti, Kristi Haugevik, Ninna Nyberg Sørensen, Mari Wøien Meijer, Axa Lares

Nordic cooperation amid pandemic travel restriction, FIIA Report 68 (2021)

Niklas Helwig (ed.)

Strategic autonomy and the transformation of the EU: New agendas for security, diplomacy, trade and technology, FIIA Report 67 (2021)

Bart Gaens, Ville Sinkkonen

Great-power competition and the rising US-China rivalry: Towards a new normal?, FIIA Report 66 (2020)

Teemu Tammikko, Tuomas Iso-Markku

The EU's external action on counter-terrorism: Development, structures and actions, FIIA Report 65 (2020)

Antto Vihma, Gunilla Reischl, Astrid Nonbo Andersen, Sofie Berglund

Climate change and populism: Comparing the populist parties' climate policies in Denmark, Finland and Sweden, FIIA Report 64 (2020)

Niklas Helwig, Juha Jokela, Clara Portela (eds.)

Sharpening EU sanctions policy: Challenges and responses in a geopolitical era, FIIA Report 63 (2020)

Ryhor Nizhnikau, Arkady Moshes (eds.)

Ukraine and its regions: Societal trends and policy implications, FIIA Report 62 (2020)

Emma Hakala, Harri Mikkola, Juha Käpylä, Matti Pesu & Mika Aaltola

Suomen huoltovarmuus ja Baltian alue: Tiivistyvät yhteydet muuttuvassa turvallisuusympäristössä, FIIA Report 61 (2019)

Leo Michel & Matti Pesu

Strategic deterrence redux: Nuclear weapons and European security, FIIA Report 60 (2019)

Katja Creutz, Tuomas Iso-Markku, Kristi Raik and Teija Tiilikainen

The changing global order and its implications for the EU, FIIA Report 59 (2019)

Arkady Moshes, András Rác (eds.)

What has remained of the USSR: Exploring the erosion of the post-Soviet space, FIIA Report 58 (2019)

Marcin Kaczmarek, Mark N. Katz and Teija Tiilikainen

The Sino-Russian and US-Russian relationships: Current developments and future trends, FIIA Report 57 (2018)

Kristi Raik, Mika Aaltola, Jyrki Kallio and Katri Pynnöniemi

The security strategies of the US, China, Russia and the EU: Living in different worlds, FIIA Report 56 (2018)

Harri Mikkola, Mika Aaltola, Mikael Wigell, Tapio Juntunen ja Antto Vihma

Hybridivaikuttaminen ja demokratian resilienssi: ulkoisen häirinnän mahdollisuudet ja torjuntakyky liberaaleissa demokratioissa, FIIA Report 55 (2018)

- Mika Aaltola, Charly Saloniemi-Pasternak, Juha Käpylä and Ville Sinkkonen (eds.)**
Between change and continuity: Making sense of America's evolving global engagement, FIIA Report 54 (2018)
- Marco Siddi (ed.)**
EU member states and Russia: national and European debates in an evolving international environment, FIIA Report 53 (2018)
- Elina Sinkkonen (ed.)**
The North Korean Conundrum: International responses and future challenges, FIIA Report 52 (2017)
- Mika Aaltola and Bart Gaens (eds.)**
Managing Unpredictability
Transatlantic relations in the Trump era, FIIA Report 51 (2017)
- Tuomas Iso-Markku, Juha Jokela, Kristi Raik, Teija Tiilikainen, and Eeva Innola (eds.)**
The EU's Choice
Perspectives on deepening and differentiation, FIIA Report 50 (2017)
- Mika Aaltola, Christian Fjäder, Eeva Innola, Juha Käpylä, Harri Mikkola**
Huoltovarmuus muutoksessa: Kansallisen varautumisen haasteet kansainvälisessä toimintaympäristössä, FIIA Report 49 (2016)
- Juha Pyykönen**
Nordic Partners of NATO: How similar are Finland and Sweden within NATO cooperation? FIIA Report 48 (2016)
- Kristi Raik & Sinikukka Saari (eds.)**
Key Actors in the EU's Eastern Neighbourhood: Competing perspectives on geostrategic tensions, FIIA Report 47 (2016)
- Toivo Martikainen, Katri Pynnöniemi, Sinikukka Saari & Ulkopoliittisen instituutin työryhmä**
Venäjän muuttuva rooli Suomen lähialueilla: Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan raportti
- Mika Aaltola & Anna Kronlund (eds.)**
After Rebalance: Visions for the future of US foreign policy and global role beyond 2016, FIIA Report 46 (2016)
- Katri Pynnöniemi & András Rácz (eds.)**
Fog of Falsehood: Russian Strategy of Deception and the Conflict in Ukraine, FIIA Report 45 (2016)
- Niklas Helwig (ed.)**
Europe's New Political Engine: Germany's role in the EU's foreign and security policy, FIIA Report 44 (2016)
- András Rácz**
Russia's Hybrid War in Ukraine: Breaking the Enemy's Ability to Resist, FIIA Report 43 (2015)
- Katri Pynnöniemi, James Mashiri**
Venäjän sotilasdoktriinit vertailussa: Nykyinen versio viritettiin kriisiajan taajuudelle, FIIA Report 42 (2015)
- Andrei Yeliseyev**
Keeping the door ajar: Local border traffic regimes on the EU's eastern borders, FIIA Report 41 (2014)
- Mika Aaltola, Juha Käpylä, Harri Mikkola, Timo Behr**
Towards the Geopolitics of Flows: Implications for Finland, FIIA Report 40 (2014)
- Juha Jokela, Markku Kotilainen, Teija Tiilikainen, Vesa Vihriälä**
EU:n suunta: Kuinka tiivis liitto? FIIA Report 39 (2014)
- Juha Jokela (ed.)**
Multi-speed Europe? Differentiated integration in the external relations of the European Union, FIIA Report 38 (2013)
- Sean Roberts**
Russia as an international actor: The view from Europe and the US, FIIA Report 37 (2013)
- Rosa Balfour, Kristi Raik**
Equipping the European Union for the 21st century: National diplomacies, the European External Action Service and the making of EU foreign policy, FIIA Report 36 (2013)
- Katri Pynnöniemi (ed.)**
Russian critical infrastructures: Vulnerabilities and policies, FIIA Report 35 (2012)
- Tanja Tamminen (ed.)**
Strengthening the EU's peace mediation capacities: Leveraging for peace through new ideas and thinking, FIIA Report 34 (2012)
- Harri Mikkola, Jukka Anteroinen, Ville Lauttamäki (eds.)**
Uhka vai mahdollisuus? Suomi ja Euroopan puolustus- ja turvallisuusmarkkinoiden muutos, FIIA Report 33 (2012)
- Touko Piiparinen & Ville Brummer (eds.)**
Global networks of mediation: Prospects and avenues for Finland as a peacemaker, FIIA Report 32 (2012)
- Mia Pihlajamäki & Nina Tynkkynen (eds.)**
Governing the blue-green Baltic Sea: Societal challenges of marine eutrophication prevention, FIIA Report 31 (2011)
- Arkady Moshes & Matti Nojonen (eds.)**
Russia-China relations: Current state, alternative futures, and implications for the West, FIIA Report 30 (2011)
- Teija Tiilikainen & Kaisa Korhonen (eds.)**
Norden – Making a Difference? Possibilities for enhanced Nordic cooperation in international affairs, FIIA Report 29 (2011)
- Timo Behr (ed.)**
Hard Choices: The EU's options in a changing Middle East, FIIA Report 28 (2011)
- Jyrki Kallio**
Tradition in Chinese politics: The Party-state's reinvention of the past and the critical response from public intellectuals, FIIA Report 27 (2011)

MURROKSELLISET TEKNOLOGIAT

TEKNOLOGISEN KEHITYKSEN DYNAMIIKKA JA KANSALLINEN VARAUTUMINEN

Kansallisen varautumisen teknologinen toimintaympäristö on hitaan mutta samalla vaikeasti ennakoitavan muutoksen kourissa. Murrokselliset teknologiat, kuten tekoäly, kvanttilaskenta, pilvirobotiikka, digitaaliset valuutat ja bioteknologia, haastavat vallitsevia käytänteitä sekä tuovat mukanaan uusia haasteita ja haavoittuvaisuuksia niin normaali- kuin poikkeusoloihinkin.

Raportissa hahmotetaan tätä muutosta neljän eri tason avulla. Murrosvaikutukset lähtevät aina liikkeelle yllättävästä yksittäisestä innovaatiosta, joka samalla fasilitoi teknologista kehitystä. Teknologinen kehitys ja useat murrosvaikutukset kumuloituvat ensin teknologia-alan trendeiksi, sitten teknologia-alan rajat ylittäviksi makrotason trendeiksi ja edelleen koko kansainvälistä järjestelmää hitaasti muokkaaviksi globaaleiksi trendeiksi.

Suurempien kehityskulkujen ennakoiminen on helpompaa ja niiden vaikutuksiin varautuminen tärkeämpää verrattuna yksittäisiin innovaatioihin. Suurimpiin muutoksiin varautuminen vaatii kuitenkin kansallisia ja jopa yleiseurooppalaisia toimia. Tärkeintä on varmistaa, että hallintojärjestelmät tukevat sujuvaa sopeutumista teknologisten murrosten aiheuttamaan muutokseen teknologisessa toimintaympäristössä.