

TAINA ERIKSSON, KRISTO LEHTONEN JA HEIKKI AURA,
VESA-VILLE PIIROINEN JA OLLI TIAINEN, MINNA RUCKENSTEIN

Krypton yhteiskunta



EDUSKUNNAN TULEVAISUUSVALIOKUNNAN JULKAISU 3 | 2025

ISSN 2342-6594 (PAINETTU) ISBN 978-951-53-3834-1 (NID)

ISSN 2342-6608 (VERKKOJULKAISU) ISBN 978-951-53-3835-8 (PDF)

TAINA ERIKSSON

KRISTO LEHTONEN JA HEIKKI AURA

VESA-VILLE PIIROINEN JA OLLI TIAINEN

MINNA RUCKENSTEIN

Krypton yhteiskunta

Sisällys

Alkusanat	6
Johdanto: disruptio ja arvonluonnin muutos	10
Taina Eriksson	
Lähtökohta	11
Teknologian ja toimintaympäristön muutosten rooli arvontuotannossa	13
Arvonluonti yritystoiminnassa	13
Geopoliittiset tekijät	14
Hajautetun tuotannon ajurit ja vaikutukset	16
Disruptiot	18
Mistä disruptioissa on kyse?	18
Teknologisen kehityksen rooli disruptioissa	19
Sosiotekninen murros	21
Johtopäätökset	22
Lähteet	24
 Virtuaalivaluuttojen ja muiden krypto-varojen merkitys ja mahdollisuudet Suomelle	 26
Kristo Lehtonen ja Heikki Aura	
Johdanto	27
Mitä virtuaalivaluutat ovat ja mihin niitä käytetään?	28
Web 3.0 toi mukanaan hajautetut rahoituspalvelut	30
Virtuaalivaluuttojen ja muiden kryptovarojen mahdollisuudet ja riskit	32
Pankit ohjelmoitavan rahan murroksessa	35
Johtopäätökset	38
Liite 1 – virtuaalivaluuttojen käsitekartta	40
Liite 2 – Sanasto	42
Kirjallisuus	44

Kryptoekonomia ja digitalisaation tulevaisuus	49
Vesa-Ville Piironen ja Olli Tiainen	
Johdanto	50
Digitalisaation haaste yhteiskunnalle	51
Kryptoekonomia vaihtoehtona instituutioille	52
Väärentämättömät lohkoketjut	54
Automaattiset säännöt ja sopimukset	56
Varmennettu tietoturva	58
Kryptoekonomian kaksi tulevaisuutta	60
Yhteenveto	63
Digitaalinen yhteiskunta paikkaa aiheuttamia heikkouksia	64
Minna Ruckenstein	
Luottamuksen uudelleenmäärittelyä	66
Esimerkkinä KryptoKela	67
Teknologialla ei ratkota organisaatioiden heikkouksia	69
Kvanttiaikaan valmistautuminen	70
Haaste ajattelulle	72
Menestyksen ennakkointia	73
Kitkaa visioihin	74

Alkusanat

Käsillä oleva raportti sai alkunsa tulevaisuusvaliokunnan kauden ainoalla kaukomatkalla syksyllä 2024. Teksasin kehkeytyvissä innovaatiokeskittymissä kuulumme esityksiä disruptiivisista teknologioista eli yhteiskuntia myllertävistä kehityskuluista. Päätimme pyytää niistä selvityksen.

Hankkeen avasi Turun kauppakorkeakoulun Disruption Lab -tutkimusryhmää johtavan Taina Erikssonin yleisesitys – tämän kirjan johdantoteksti – joka ohjasi työryhmämme keskittymään kryptoteknologiaan ja sen sovelluksiin, ennen kaikkea virtuaalivaluuttoihin. Ne haastavat yhteiskuntien perinteiset perustehtävät; vakauden ja luottamuksen instituutiot, joihin taloutta ylläpitävä vaihdanta perustuu. Ja kuten aina, kun kysymyksessä on raha, kysymyksessä on enemmän.

Tulevaisuusvaliokunnalle aihe ei ole uusi

Tulevaisuusvaliokunta on toki lähestynyt virtualisoituvaa yhteiskuntaa selvityksissään jo hyvän aikaa. Keskustelu virtuaalivaluutoista ja kryptoekonomiasta alkoi jo vuonna 2018, kun valiokunta alkoi tutkia jakamistaloutta ja alustatyötä (TuVJ 3/2018) sekä lohkoketjuja eli kryptoteknologioiden perustaa (TuVJ 1/2019). Jälkimmäisen raportin esipuheessa valiokunta hahmotti jo, että

lohkoketjut eivät ole vain virtuaalirahan mahdollistajia, vaan kokonaan uudella tavalla verkottuneen taloudellisen toiminnan taustakoodi, jolla on potentiaali muuttaa merkittäväällä tavalla internetin alustoilla tapahtuvan ansainnan muotoja.

Kuinka merkittäväällä tavalla? Tämä raportti etsii vastauksia tähän kysymykseen.

Pari varoitusta on kuitenkin paikallaan. Teknologiapuhetta leimaa deterministinen usko muutoksen vääjäämättömyyteen ja vauhdikkaaseen etenemiseen, josta putoaminen on kohtalokasta niin kansakunnille ja yrityksille kuin 4H-kerhoille. Viime vuodelta voi kuitenkin nähdä, että kehitys on vaihtelevaa, puuskittaista ja jopa pysähdyksissä. Lohkoketjut eivät sittenkään valloittaneet kaikkea kanssakäymistä – siitä syystä, että ne ovat useimpiin tarpeisiin aivan liian raskaita järjestelmiä. Panssari-vaunu olisi varmasti turvallisin ajoneuvo ostosreissulle, muttei kovin käytännöllinen.

Lehtonen ja Aura: Virtuaalivaluuttojen haaste Suomelle

Myös Sitran innostus ”kolmannen sukupolven internetiin” on aavistuksen laantunut 2020-luvun kuluessa. Hajautettu Web 3.0 ei ole ottanut tulta ajatellusti, vaan esimerkiksi generatiivinen tekoäly on ensi vaiheessaan leimallisesti keskitetyn datakapitalismin jättäjäyhtiöiden hallussa. Kuitenkin muutos on näkyvissä. Yhdysvalloissa internetin yhteisöllinen hippiaate on muuntunut instituutioita romuttavaksi valkoisten miesten libertarismiksi. Virtuaalivaluutat ja kryptovarot ovat muutoksen keskiössä. Ne ovat sananmukaisesti räjäyttäneet pankin – tai pankit.

Sitran Kristo Lehtonen ja Heikki Aura ovat osanneet varautua jo pitkään tähän disruptioniin. He ovat vakuuttuneita, että hajautettu rahoitus (DeFi) ja kryptovarallisuus vakiinnuttavat asemansa globaalissa talousjärjestelmässä. Artikkelissaan he erittelevät uhkia ja hyötyjä sekä haasteita, joita perinteinen rahan sääntely kohtaa.

Lehtonen ja Aura hahmottavat sekä teknologisen murroksen että maailmanjärjestyksen järkkymisen. Vauhdikkaasti lisääntyvät tekoälyagentit ja älysovimukset tarvitsevat operaatioihinsa virtuaalisia maksuvälineitä. Jos bitcoinilla ei tänään voidakaan ostaa munkkikahvia huoltoasemalta, ennen pitkää Metsälän Nesteenkin on hyväksyttävä varansiirto ohjelmoitavana koodina. Sentään pulla ei kai virtualisoidu.

Minne Metsälän Neste, sinne Suomi. Lehtonen ja Aura haastavat suomalaisen yhteiskunnan varautumaan virtuaalivaluuttojen tasapainoiseen sääntelyyn ja verotukseen sekä tukemaan alan osaamista ja kasvuyrittämistä. Onko toivottavaa, että Aaveen kaltainen johtava DeFi-alusta kehitettiin Suomessa mutta alusta siirsi liiketoimintansa Britanniaan?

Artikkelin liitteet ovat itsessään arvokkaita. Digitaalisen varallisuuden käsittekartta auttaa tekemään eron vaikkapa bitcoinien ja pelien sisäisten rahakkeiden välillä. Tämä ero on asia, jota EU-komissio ei näytä ymmärtäneen, kun se pyrkii sääntelemään videopelejä. Samoin yhteiskunnallista keskustelua uusista teknologioista on vaikea käydä, jos ei ole yhteistä sanastoa, jollaisen Lehtonen ja Aura ovat koonneet ja osin luoneetkin.

Piiroinen ja Tiainen: Institutionaalisten takeiden kriisi

Raha on toki aina virtuaalista. Sillä on arvoa vain, jos siihen uskotaan – latinan *credo* on kantasana *creditille*.

Raha tarvitsee aina vakuuden, oli se keskuspankki tai jokin muu arvon takaava järjestely. Vesa-Ville Piiroinen ja Olli Tiainen Equilibrium Groupista laajentavat tarkastelua: kaikki markkinatalousyhteiskunnan toiminnot on taattava jollakin luottamusrakenteella. Niin omistusoikeus kuin avioliitto rekisteröidään, kaupat ja sopimukset vahvistetaan, henkilöllisyydet ja oikeudet varmistetaan.

Datalous helpottaa mutta myös heikentää näitä toimintoja. Verkko on haavoittuvainen, täynnä valhetta, väärennöstä ja harhaa, ja se mahdollistaa valvonnan ja datavarakauden. Vanhat instituutiot eivät enää suojaa yksilöitä eivätkä yhteiskuntaa. Jos talouskasvun tavoittelu edellyttää datakapitalismin epävarmuutta, silloin on loogista korjata yhteiskunnan heikkouksia kryptoekonomian takeilla. Välikädet, viranomaiset ja vanhat instituutiot korvataan automatisoiduilla matemaattisilla järjestelyillä – yhteiskunta pannaan pyörimään autopilotilla.

Piironen ja Tiainen erittelevät kiehtovasti kryptoekonomian kehitystä – joka ei sitenkään lopulta ratkea teknologisen kilpailun ehdoin vaan ideologisen kamppailun tuloksena. Vastakkain ovat *integrationalistit*, jotka haluavat sopeuttaa uudet kyvykkydet perinteiseen demokraattiseen yhteiskuntajärjestelmään, ja *disruptionalistit*, jotka haluavat hävittää kaiken vanhan. Esimerkki jälkimmäisestä on DOGE, tekoälyllä räjäytetty Yhdysvaltain julkinen hallinto.

Ruckenstein: Luottamuksen jälkeinen yhteiskunta?

Professori Minna Ruckenstein Helsingin yliopiston Kuluttajatutkimuskeskuksesta tutkii kirjan päätösartikkelissa syvemmin kysymystä, joka jäi auki edellisen artikkelin lopussa. Jos perinteisen luottamuksen instituutioiden tilalle tarjotaan uusia, teknologisia takeita, aiheuttaako se itsessään demokraattisen kansalaisyhteiskunnan rapautumista? Toteuttaako väite poliittisen vallan epäluotettavuudesta itse itsensä?

Luottamus instituutioihin on rakentunut poliittisen keskustelun ja kansalaisvaikutamisen keinoin. Instituutiot, julkiset rakenteet, eivät ole kansalaisten ylä- tai ulkopuolella, vaan keskinäisiä sopimuksia. Halu ylläpitää, muuttaa tai solmia sopimuksia edellyttää kansalaisten keskinäistä luottamusta niin yksilöiden kuin kaiken-sorttisten yhteisöjen välillä. Tätä tahtoa murentavat epäluulot, ennakkoasenteet ja eriytyvät todellisuudet, joita algoritmien teknologia on voimistanut.

Ruckenstein esittää paradoksin: digitalisointi heikentää yhteiskunnan toimintavarmuutta, jonka parantamiseen se on tarkoitettu. Piironen ja Tiainen visiolle voi heittää vastakysymyksen: ratkaiseeko teknologia todella ongelmat, jotka teknologia on aiheuttanut?

Tai etsimmekö teknologiasta vastauksia ongelmiin, jotka ovat lopulta ihmisten välisiä?

Julkisen palvelun puutteet nähdään kerkeästi tietoprosessin heikkoutena. Mutta heikentyvien palveluiden synnä on usein palveluiden heikentäminen. Siihen taas on usein ajanut tarve säästöihin. Ja digitalisointia, automatisointia ja tekoälyistämistä perustellaan nimenomaan säästöillä. Kansalaisten tarpeiden ja teknologian pakotteiden välille aukeaa ristiriita, jota Ruckensteinin johtama tutkijayhteisö perkaa.

Turvallisuuden tulevaisuus

Käynnissä on teknologinen kilpavarustelu. Suurvallat hakevat systeemistä ylivoimaa, joka on sekä sotilaallista että kaupallista. Kun isot lisäävät varustelua, pienten on lisättävä varautumista.

Kryptografia ja lohkoketjut ovat tarpeen, kun kvanttiteknologia uhkaa tuhota nykyiset salaamenetelmät. Turvallisuus on uhattuna kaikilla teknologian rintamilla. Kun kyberiskuja torjutaan ja tietomurroista toivutaan, harvoin mietitään, miten teknologinen turvattomuus vaikuttaa itse kuhunkin henkilökohtaisesti: mieliimme, tuntemuksiimme, ihmissuhteisiimme. Ruckenstein muistuttaa, että haavoittuvan yhteiskunnan jäsenet haavoittuvat.

Aito resilienssi, kriisinkestävyys, vaatii parempaa ymmärrystä teknologian yhteiskunnallisista vaikutuksista. Tarvitaan kunnollista dialogia teknovisionäärien ja sosiaalitieteilijöiden välille. Yliopistolaisten on ymmärrettävä teknologian tuoma muutos ihmis yhteisöissä. Tekoälyistäjien on oivallettava, että ihmiset omistavat ja lopulta mahdollistavat teknologian.

Tämä julkaisu on yksi vuoropuhelun avaus.

HELSINGISSÄ LOKAKUUSSA 2025

EDUSKUNNAN TULEVAISUUSVALIOKUNNAN INTUIT (Innovaatiovetoisen tuottavuuden indikaattorit ja tekniikat) -OHJAUSRYHMÄ

Timo Harakka (sd.), Ohjausryhmän puheenjohtaja

Harry Harkimo (liik.)

Ville Vähämäki (ps.)

Sinuhe Wallinheimo (kok.)

Johdanto: disruptio ja arvonluonnin muutos

TAINA ERIKSSON
KTT, dosentti
tutkimusjohtaja

Lähtökohta

2020-luvulla elämme useiden yhtäaikaisten ja peräkkäisten häiriöiden aikaa, jossa epävarmuus on lisääntynyt koko yhteiskunnassa. Yrityksille epävarmuus tarkoittaa haasteita päätöksenteossa ja muuntautumiskyvyn tarvetta. Asiakkaiden ja muiden sidosryhmien odotukset voivat muuttua nopeastikin, ja toisaalta toiminnan jatkamisen edellytykset muuttuvat väistämättä. Myös teknologioiden kehitys ja eritoten radikaalien teknologioiden tarjoamat uudentavat tavat tuottaa lisäarvoa muovaavat yritysten toimintaa ja toimintaympäristöä. Jotta yritys voi selviytyä yli tämän ajan, sen on kyettävä innovoimaan tuotteita, palveluita, prosessejaan ja liiketoimintamalliaan. Innovaatiot ovatkin yritykselle keskeisin arvonluonnin mekanismi. Toisaalta innovaatiot ovat myös mekanismi yrityskentän uudistumiseen, sillä yritysten markkinoille tuomat innovaatiot uudistavat yrityskenttää korvaamalla aiempia, tehottomampia tai asiakkaita heikommin palvelevia ratkaisuja. Siten uudet yritykset voivat syrjäyttää vakiintuneita yrityksiä. Merkittävä viimeaikainen kehitys on uudentavien hajautettujen ratkaisujen ilmestyminen. Näillä voi olla laaja-alaisia ja kauaskantoisia vaikutuksia, kuten tämän raportin muissa artikkeleissa käy ilmi.

Tässä tekstissä tarkastellaan uusien teknologioiden ja toimintaympäristön muutosten vaikutuksia arvonluontiin ja pyritään tunnistamaan käynnissä olevien kehityskulkujen mahdollisia vaikutuksia. Arvonluontia tarkastellaan ensisijaisesti yritysten tuottaman arvon näkökulmasta, mutta huomioidaan kuitenkin myös muita kuin taloudellinen arvo (esimerkiksi sosiaalinen arvo). Soveltuvien osin kirjoituksessa otetaan huomioon myös yhteiskunnallisen arvon näkökulma. Artikkelit esittelee disruptiivisten murrosten ja arvonluonnin dynamiikkaa ja tarjoaa lukijalle näkökulmia tarkastella seuraavissa artikkeleissa käsiteltävää virtuaalivaluuttojen ja kryptoekonomian ilmiöitä laajemmassa yhteiskunnallisessa kontekstissa.

Useat innovaatiot ja siten myös arvonluontia mahdollistavat teknologiat ovat kehittyneet merkittävästi viime vuosina. Generatiivinen tekoäly on saanut maailmanlaajuista huomiota, ja tekoälyratkaisuilla onkin odotettavasti jopa dramaattisia vaikutuksia arvonluontiin ja samalla myös ihmisten työhön. Kun nopeasti kehittynyt tekoäly on yhdistetty muihin teknologioihin, on parin viime vuoden aikana tehty isoja harppauksia myös muun muassa ihmisen kaltaisten kädellisten, kävelvien robottien eli humanoidirobottien kehityksessä. Esimerkkinä kiinalaisten toimijoiden kehityspanoksista ja saavutuksista nähtiin tammikuussa 2025 Pekingin uudenvuoden gaalassa esitys, jossa humanoidirobotit tanssivat elegantisti ihmisten mukana. Tekoälyn kehitys liittyy varsin moniulotteisesti myös kryptovaluuttojen kehittymiseen.

Muiden muassa kansainvälisesti tunnettu futuristi Amy Webb on todennut, että elämme nyt teknologioiden pitkän aikajänteen kehityssyklissä niin kutsuttua supersyklin vaihetta, jossa kolme yleiskäyttöistä teknologiaa – tekoäly, bioteknologia ja yhteydenpito/kytkeytyneisyys (englanniksi connectivity) – lähenevät toisiaan.

Arvonluonnin kannalta tämä avaa täysin uusia mahdollisuuksia, ja voimme odottaa näkevämmä näiden teknologioiden ympärille rakentuvia innovaatioita, jotka muuttavat ihmisten arkea ja työtä merkittävästi – sekä hyvässä että pahassa.

Yritysten luokittelu toimialoihin on vakiintunut mutta käytännön toiminnan ja arvonlisäyksen kannalta haastava tapa lokeroida yrityksiä. Toimialojen rajat ovat viime vuosikymmeninä hämartyneet, ja tämän kehityksen voidaan odottaa jatkuvan ja jopa voimistuvan. Asiakkaiden tarpeet eivät muovaudu toimialaluokitusten mukaisesti, ja siksi samaan tarpeeseen usein löytyy ratkaisuja usealta eri toimialalta. Varsinkin uusien teknologioiden myötä yritykset tunnistavat mahdollisuuksia täysin uusilta sektoreilta ja päätyvät operoimaan uusille toimialoille. Esimerkiksi Amazon on laajentanut toimintaansa aloille, jotka näyttäytyvät aiemmasta toiminnasta irrallisina. Ne kuitenkin pohjautuvat esimerkiksi syvälliseen analyysiin asiakasdatasta ja mahdollisuuksiin sitouttaa asiakas entistä tiiviimpään suhteeseen. Näin voidaan kerryttää yhä kattavampaa dataa.

Historiassa on lukuisia tapauksia, joissa toimialalle on tullut uusi tulokas jopa yllättäen toiselta alalta ja ravistellut markkinaa uusiksi asiakkaan elämää helpottavalla, täsmällisesti tarpeeseen vastaavalla ratkaisullaan. Tällaista alaa tai sektoria ravistelevaa innovaatiota kutsutaan disruptiiviseksi innovaatioksi. Kryptovaluutat ovat erinomainen esimerkki teknologisen kehityksen tarjoamasta mahdollisuudesta tehdä asioita uudella tavalla ja ylittää toimialarajoja. Oleellinen osa markkinadisruptiota on, että alan vakiintuneet toimijat joutuvat uudistamaan strategiaansa selviytyäkseen, koska uuden innovaation tuottaja tarjoaa asiakkaille sellaista lisäarvoa, jota vakiintuneet ratkaisut eivät tarjoa. Käytännön esimerkki koetusta disruptiosta on Onnibussin tulo kotimaan matkustajaliikenteeseen ja sitä myöten mullistunut lippuhinnoittelu. Myös asiakkaiden tapa ostaa matkalippunsa muuttui merkittävästi Onnibussin myötä: sen sijaan, että lippu ostettaisiin autoon noustessa, se varataan etukäteen verkkopalvelussa. Matkustajamäärä on yhtiön tiedossa jo ennen bussin liikkeellelähtöä. Kaukoliikenteen bussien uusilla hinnoittelumalleilla, vuorotiheydellä ja lippujen ostamisen tavalla on ollut vaikutusta myös junaliikenteeseen. Sääntelyn muutos oli keskeistä uudenlaisen toimintamallin mahdollistamisessa, mutta tärkeitä olivat myös uudet tavat käyttää teknologiaa mullistamaan hinnoittelun logiikkaa ja asiakaskokemusta. Varsinkin radikaalit teknologiat eli teknologiat, joilla voidaan odottaa olevan vaikutusta yhteiskunnan toimintamalleihin (Linturi & Kuusi, 2018), ovat oleellinen osa disruptioita.

Seuraavissa luvuissa tarkastellaan toisiinsa kytkeytyvien ajankohtaisten ilmiöiden – disruptiivisten innovaatioiden, radikaalien teknologioiden ja toimintaympäristön muutosten – vaikutuksia arvonluontiin ensisijaisesti yritystoiminnassa, mutta myös laajemmin yhteiskunnassa. Ensiksi tarkastellaan ajankohtaisten radikaalien teknologioiden ja toimintaympäristön muutosten merkitystä yritysten arvontuotolle. Sen jälkeen syvennytään disruptiivisiin murroksiin arvonluonnissa ja laajempiin sosio-tekniisiin muutoksiin. Lopussa on muutamia keskeisiä johtopäätöksiä ja tulevaisuuteen luotaavia arvioita noin 25 vuoden aikajänteellä.

Teknologian ja toimintaympäristön muutosten rooli arvontuotannossa

ARVONLUONTI YRITYSTOIMINNASSA

Teknologian kehitys on pitkään ollut oleellinen osa innovaatioita ja uusia tapoja luoda arvoa. Juuri nyt 2020-luvun puolivälissä elämme aikaa, jossa radikaalien teknologioiden vaikutukset kertaantuvat, koska ne ovat yhä kattavammin osana arvonluonnin prosesseja ja useat yleiskäyttöiset teknologiat yhdentyvät. Yksittäisen teknologian vaikutus voimistuu, kun sitä täydentävät teknologiat mahdollistavat esimerkiksi nopeamman käyttöönoton, kytkeytymisen useisiin eri järjestelmiin tai tehokkaamman datan keräämisen. Toisin sanoen teknologioiden vaikutukset kertaantuvat, kun niitä hyödynnetään yhdessä.

Tuote-, prosessi-, ja palveluinnovaatioilla on jo pitkään ollut keskeinen rooli yritysten arvonluonnissa. Viime vuosikymmeninä myös erilaiset tavat järjestää liiketoimintaa ja yrityksen ansaintaa eli niin kutsutut liiketoimintamallit ovat nousseet yhä merkittävämmiksi yritysten arvonluonnin uudistamisessa. Uudet teknologiat ovat tärkeitä liiketoimintamallienkin kehittämisessä. Teknologian ansiosta voidaan esimerkiksi olla eri tavoin yhteydessä asiakkaaseen, luoda arvoa yhdessä asiakkaan tai uuden kumppanin kanssa tai vaikka perustaa hinnoittelu mittariin, jota ei aiemmin ole voitu seurata riittävän tarkasti. Esimerkkinä tästä on niin sanottu tulospohjainen malli, jossa asiakas maksaa saavutetun tuotoksen mukaan. Saavutettu tuotos voi olla esimerkiksi hiilidioksidipäästöjen vähennys tai vaikka koneen käyntitunnit tietyllä suoritusasolla. Myös toiminnan sidonnaisuus tiettyyn fyysiseen paikkaan muuttuu, kun muun muassa lisäävä valmistus ja etäläsnäolon mahdollistavat teknologiat kehittyvät. Tällä on suuri vaikutus liiketoimintamallien muovaamiseen ja siihen, missä arvoa lisäävä työ tapahtuu.

Yritysten arvonluontikyky on toistaiseksi perustunut suurelta osin ihmisten osaamiseen (Felin, Heimeriks & Madsen, 2012). Henkilöstön osaamisella on tärkeä rooli siinä, että organisaatio kykenee käyttämään resurssejaan tuottavasti, kekseliäästi ja tehokkaasti sekä löytämään uudenlaisia tapoja käyttää ja yhdistellä niitä. Organisaation arvonluontikyvyn kannalta teknologioiden viimeaikaiset kehitysloikat ovat mielenkiintoisia, sillä varsinkin (generatiivisen) tekoälyn kehitys muuttaa ihmisten osaamisen roolia arvonluontikyvyyssä. Voidaan odottaa, että tekoäly tulee ihmisen rinnalla tärkeään rooliin uusien ideoiden tuottamisessa, suodattamisessa ja jalostamisessa.

Yhtäältä tekoälytyökalut kaventavat ihmisten osaamisen eroja, sillä kokematonkin työntekijä voi tekoälyn avulla saavuttaa kokeneen ammattilaisen arvontuototason. Toisaalta tekoälyn nopea kehitys luo ihmisille uusia osaamisvaatimuksia, ja ne työntekijät, jotka pystyvät kehittämään osaamistaan tehokkaasti, voivat erottua muista. Ihmisten kyky oppia uutta ja mukauttaa omaa tapaansa työskennellä on nykyisin ja tulevaisuudessa arvonluonnille erittäin merkittävää. Vuorovaikutus

teknologisten työvälineiden kanssa tulee osaksi yhä useamman ihmisen työtä. Useat tekoälyn hyödyntämiseen perehtyneet asiantuntijat jakavat tällä hetkellä näkemyksen, että esimerkiksi generatiivinen tekoäly ei suoraan korvaa ihmistä tiettyssä työssä vaan tulee osaksi työtä hoitamaan joitakin osia ihmisen työstä jopa täysin itsenäisesti. Osassa työhön kuuluvista tehtävistä se toimii yhteistyössä ihmisen kanssa, ja joihinkin tehtäviin se ei ainakaan näköpiirissä olevassa tulevaisuudessa sovellu yhtä hyvin kuin ihminen.

Seuraavien kahden vuosikymmenen aikana tulee ihmisen tekemä työ mullistumaan odotettavasti jopa vielä enemmän kuin internetin tulon myötä. Työntekijälle tämä tarkoittaa jatkuvaa uuden oppimista, ja siksi tulevaisuuden työvoiman on tärkeää suhtautua muutokseen normaalina asioiden tilana.

Suomen kaltaisessa maassa pula ammattiosaajista on todellisuutta jo monella alalla. Tällöin teknologian tulo yhä kiinteämmäksi osaksi arvonluonnin prosesseja voi helpottaa yritysten tilannetta ja mahdollistaa toimintojen jatkumisen. Yksi viimeaikainen esimerkki on Ponsse-konserniin kuuluvan Epec Oy:n tehdasinvestointi Seinäjoelle. Vaativaa elektroniikkaa valmistetaan uusinta teknologiaa hyödyntäen ja työntekijöiltä vaaditaan korkeaa osaamistasoa sekä saumatonta yhteistyötä teknologisten ratkaisujen kanssa. Tulevaisuuden Suomessa ihmisiltä edellytetään myös valmistavassa työssä korkeaa osaamista, sillä koneet ja robotit tekevät kaiken rutiinityön ja ihmisen rooli liittyy poikkeustilanteisiin sekä ongelmien ratkaisuun yhteistyössä koneiden kanssa.

GEOPOLIITTISET TEKIJÄT

Poliittisilla toimilla on vaikutusta yrityspäätäjien valintoihin ja siten arvontuotannon jakautumiseen kansainvälisesti. Monikansallisten yhtiöiden tutkimuksessa on tunnistettu, että poliittisten suhteiden epävakaus yhtiön pääkonttorimaan ja kohdemaan välillä vähentää monikansallisen yhtiön investointeja kyseiseen maahan, koska se heikentää yhtiön mahdollisuuksia ennakoida sidosryhmien käytöstä kohdemaassa. Esimerkiksi vuoden 2008 finanssikriisin seurauksena läntistä uusliberaalia talousajattelua kyseenalaistava keskustelu voimistui, mistä kumpusi erimielisyyttä läntisen ja ei-läntisen ajattelun välillä, ja maat tekivät jopa vaihtelevia valintoja oman kantansa suhteen (Adarkwah, Dorobantu, Sabel & Zilja, 2024). Tämä lisäsi yritysten kohtaamaa epävarmuutta tietyissä kohdemaissa.

Maailmanlaajuisesti tarkasteltuna taloudellinen integraatio on hidastunut vuoden 2008 finanssikriisistä lähtien. Etenkin monikansallisten yhtiöiden kannalta globaalisatiiokehityksen merkittävä muutos on riski arvonluonnille, sillä nykymuodossa niiden kilpailuetu perustuu toimintojen maantieteelliseen hajauttamiseen ja etenkin aineettomien resurssien hallintaan. Muun muassa geopolittiset jännitteet ovat riski valtiorajat ylittävälle arvonluonnille yhtäältä siksi, että tavaroiden liikuttaminen valtioiden rajojen yli voi vaikeutua tai jopa estyä, ja toisaalta siksi, että omistukset tietyssä maassa voivat muuttua hyvinkin nopeasti varallisuudesta rasitteeksi. (Mohr, Hashai, Puck, Konara & Reinprecht, 2024)

Teknologia oli viime vuosisadalla merkittävä monikansallisten yhtiöiden nousun ajuri. Informaatio- ja kommunikaatioteknologian kehittymisen myötä voitiin viestiä tehokkaasti sijainnista riippumatta. Kuljetusteknologian kehitys puolestaan mahdollisti fyysisten tavaroiden kuljettamisen kustannustehokkaasti. Samalla kun geopolittiset jännitteet ovat lisääntyneet, ovat noin kymmenen viime vuoden aikana kehittyneet esimerkiksi virtuaaliläsnäolo, lisäävä valmistus ja robotiikka. Ne tuovat uusia sävyjä arvionluonnin maantieteelliseen sijoittumiseen. Teknologia vähentää sijainnin merkitystä, kun taas poliittinen tilanne nostaa sijainnin merkityksen monissa tapauksissa entistä tärkeämmäksi.

Nykymuotoisen monikansallisen yhtiön kilpailukyvyllä oleellista on pitää omassa organisaatiossa ne arvoa lisäävät toiminnot, joita on joko vaikea hankkia markkinoilta tai joiden hankkiminen aiheuttaisi kohtuuttoman suurta koordinaation ja kommunikaation tarvetta ulkopuolisen toimittajan kanssa (Mohr ym., 2024). Teknologian kehityksellä voidaan odottaa olevan näihinkin vaikutusta, sillä tekoälyagentit voivat pian hoitaa yritysten väliset koordinaatio- ja kommunikaatiotehtävät erittäin tehokkaasti. Jokaisen yrityksen on kuitenkin tarkoin puntaroitava, missä ovat sen ydinosaamiset ja mitkä ovat ne tulevaisuuden arvionluontia mahdollistavat aktiviteetit ja osaamiset eli tulevaisuuden kilpailukyvyn ainekset, joita sen on kehitettävä omassa organisaatiossaan.

Valinnat ovat erityisen haastavia siksi, että geopolittisen ja teknologisen ympäristön rinnalla myös sosiokulttuurinen ympäristö on merkittävä tekijä, kun tarkastellaan yritysten arvionluonnin tilannetta ja tulevaisuuden strategioita. Ihmisten näkemykset, odotukset ja pyrkimykset sekä kuluttajina että työntekijöinä muuttuvat (Vrontis, Shams, Thrassou, & Kafourous, 2024). Yksittäinen yritys voi saada paljonkin kyseenalaista huomiota, jos valinnat ovat ristiriidassa asiakkaiden arvojen kanssa.

Viime vuosikymmenellä on näkynyt yhä selkeämmin, että muun muassa kiinalaiset toimijat ovat pyrkineet nousemaan johtaviksi toimijoiksi valittujen teknologioiden alueella hyödyntämällä muualla maailmassa tehtyä kehitystyötä pohjana omille valtiojohtoisiin kehitystoimilleen. Tätä missiota on toteutettu jopa ohittamalla immateriaalioikeudet, mikä heikentää arvionluonnin ja toimintaympäristön ennakoitavuutta ja on usein ristiriidassa eurooppalaisten arvojen kanssa. Tässä teknologisen hallinnan tavoittelussa painottuvat erityisesti strategiset alat, jotka synnyttävät vaikutuksia myös muille aloille ja/tai tuottavat infrastruktuuria muiden alojen käyttöön. (Petricevic & Teece, 2019)

Tämän kaltaisten kehityskulkujen rinnalla tai ehkä vastauksena niihin on nousemassa protektionistista politiikkaa, jolla ohjataan yrityksiä sijoittamaan lisäarvoa tuottavaa toimintaa oman valtion alueelle. Akateemisessa tutkimuksessa havaittiin jo 2010-luvulla, että kansainvälisen kaupan muutos oli alkanut. Toisen maailmansodan jälkeen oli eletty kansainvälisen kaupan avautumisen ja laajenemisen aikakautta, jota olivat leimanneet jättimäiset monikansalliset yhtiöt. Niiden arvojen ketjujen pirstaloituminen yli valtioiden rajojen osoitti nyt ensimmäisiä hiipumisen

merkkejä. Termi teknonationalismi kuvaa viimeisimmän vuosikymmenen aikana vahvistunutta kehitystä, jossa teknologialla ja innovaatioilla on keskeinen rooli kansainvälisen kaupan uudelleenjärjestämisessä. Samaan aikaan Kiinan ja Intian kaltaiset valtiot toimivat uusilla säännöillä. (Petricevic & Teece, 2019) Esimerkiksi Kiina suhtautuu Eurooppaan verrattuna hyvin eri tavalla yritystoiminnassa syntyvän datan omistajuuteen ja käyttöoikeuksiin. Tällä on merkitystä, kun yritykset valitsevat varsinkin dataa synnyttävän toiminnan sijaintia. (Dąbrowska ym., 2022)

On kuitenkin huomioitava, että esimerkiksi Yhdysvaltojen kohdalla ainakaan vielä vuoden 2024 tilastoissa ei näy valmistuksen siirtämistä ulkomailta Yhdysvaltoihin. (Altman, Bastian & Fattedad, 2024) Vuoden 2025 alussa vallitseva geopoliittinen ja kauppapoliittinen ilmapiiri antavat kuitenkin odottaa tilanteen jatkuvan jännitteisenä. Muun muassa lisääntyvät tullimaksut voivat vaikuttaa joidenkin alojen valmistuksen ja ehkä myös innovaatiotoiminnan sijoittumiseen. Itse maksuja enemmän liiketoimintaan vaikuttaa kuitenkin epävarmuus ja yrityspäätäjien tarve hallita epävarmuutta.

HAJAUTETUN TUOTANNON AJURIT JA VAIKUTUKSET

Kuten edellä on kuvattu, teknologinen, geopoliittinen ja sosiokulttuurinen ympäristö yhdessä vaikuttavat kansainvälisesti toimivien yritysten strategioihin ja toiminnan sijoittamiseen eri paikkoihin. Monikansallisten yritysten nousu viime vuosikymmeninä on perustunut varsinkin kuluttajille suunnatuissa tuotteissa suurelta osin siihen, että valmistus on sijoitettu matalan työvoimakustannuksen maihin. Niissä on runsaasti työvoimaa saatavilla, ja lisäksi tavaroiden kuljettaminen ympäri maapalloa on ollut varsin edullista. Yritysten toiminta on periaatteessa ollut kansainvälisesti hajautettua, mutta tietyn alan tuotantoa on klusteroitunut valikoituihin matalan palkkatason maihin. Myös myyntiä ja pääkonttoritoimintoja on sijoitettu muualle.

Tällä hetkellä kaikki edellä mainitut kolme toimintaympäristön tekijää näyttävät murtavan vallitsevaa monikansallisten yritysten arvonluonnin perusasetelmaa. Nippu erilaisia teknologioita vaikuttaa samanaikaisesti – ja samansuuntaisesti – arvonluontiin ja synnyttää mahdollisuuksia innovaatioille. Yksi kiinnostava arvonluonnin uudistamisen mahdollisuus nyt ja tulevina vuosikymmeninä on fyysisen tuotannon järjestäminen uudella tavalla. Nopeasti kehittyviä teknologioita ovat esimerkiksi lisäävä valmistus eli 3D-tulostus, etäläsnäolon mahdollistavat teknologiat, virtuaalitodellisuus ja lisätty todellisuus eli VR/AR, robotisaatio ja autonomiset työkonet. Ne mahdollistavat täysin uudenlaisia toimintatapoja fyysiseen valmistamiseen. Ihmisten osaamista voidaan siirtää teknologian avulla helposti paikasta toiseen. Esimerkiksi leikkausrobotilla voidaan operoida potilasta toiselta mantereelta. Vaikka teknologia kykenisikin tulevaisuudessa hoitamaan operaation itsenäisesti, ihmisellä on oletettavasti muun muassa vastuukysymysten vuoksi rooli prosessissa vielä pitkään.

Nykyinen teknologia mahdollistaa valmistuksen pilkkomisen erittäin hienojakoisiin osiin, koska tuotantoverkostoa voidaan ohjata muun muassa reaaliaikaisen datan avulla erittäin tarkasti sijainnista riippumatta. Komponenttien kuljettamisen tuottamat päästöt ovat kuitenkin yksi keskeinen tekijä, jonka vuoksi fyysisellä sijainnilla on yhä merkitystä. Toisaalta lisäävän valmistuksen teknologialla tuote kyetään valmistamaan alusta loppuun siellä, missä sitä tarvitaan, ja teknologialla on mahdollista tuottaa esimerkiksi uudenlaisia, kestäviä ja kevyitä kennorakenteita.

Osa tulevaisuuden valmistavan tuotannon teknologiainvestoinneista saattaa edelleen olla niin suuria, että taloudellisista syistä tuotantoa on keskitettävä yhteen tuotantolaitokseen. Kun tuotanto on pitkälti automatisoitua ja hyvin teknologiain-tensiivistä, tarvittavan työvoiman osaamisvaatimukset ovat korkeat, mutta teknologiainvestointien suuruuden vuoksi työvoimakustannukset voivat jopa laskea. Tällaisissa korkean teknologian tuotantolaitoksissa nousee osaavan työvoiman saatavuus yhä tärkeämmäksi arvonaluonnon edellytykseksi.

Teknologian kehitys on periaatteessa vähentänyt fyysisen sijainnin merkitystä. Kun yhtälöön otetaan mukaan myös muut muuttujat, lähitulevaisuuden vaikutukset voivat kuitenkin olla jopa päinvastaisia kuin monikansallinen tuotannon aalto, jonka aiempi informaatio- ja kommunikaatioteknologia tuotti. Teknologioiden yhdentyminen ja niiden läpitunkeva läsnäolo uudistavat liiketoimintaa ja tuottavat jopa odottamattomia strategisia valintoja. Digitaalisten teknologioiden uudelleenohjelmoitavuus ja datan yhdenmukaistuminen edesauttavat sekä tuotteiden, palveluiden että liiketoimintamallien yhdentymistä. Näemme yhä tiiviimmin kokonaisratkaisuiksi muodostuvia yrityksiä tai jopa verkostoja, joissa tuote tai palvelu, liiketoimintamalli ja sitä toteuttava organisaatio on muotoiltu tarkkaan suunnitelluksi koneistoksi. (Warner & Wäger, 2019)

Paikkariippumattomuuteen ja toiminnan hajauttamiseen perustuvat myös lukuisat alustatalouden kasvutarinat. Alustatalouden uudenlaiset toimintamallit, joissa teknologian ja datan hyödyntämisellä on keskeinen rooli, muovaavatkin taloudellisen toiminnan tulevaisuutta ja tuottavat uusia kehityssuuntia arvonaluontiin. Moni alustayhtiö on rakentanut kasvuaan uudella tavalla ilman merkittäviä pääomainvestointeja. Tästä on malliesimerkkinä hotellitoimintaa haastava Airbnb, jonka alusta yhdistää majoituskapasiteetin tarjoajat ja asiakkaat ilman kiinteistöihin liittyviä kustannuksia. Alustatalouden ratkaisuilla on kuitenkin myös merkittäviä sosiaalisia vaikutuksia. Etenkin alustoilla työskentelevien yksilöiden asema on keskeinen sosiaalinen kysymys. Lisäksi joidenkin alustayritysten toiminnassa on ilmennyt merkittäviä haitallisia ulkoisvaikutuksia (esimerkkinä Kortelainen, 2019).

Suomelle on tärkeää, että tulevaisuudessakin on kansallisiin innovaatioihin perustuvaa arvonaluonnon kykyä. Pelkkä tuotannon tehostamiseen nojaava arvonalisäys ei riitä ylläpitämään suomalaisten yritysten asemaa kansainvälisessä kilpailussa. Näin ollen Suomessa on tärkeää panostaa uudenlaisia toimintamalleja mahdollistavien teknologioiden käyttöönottoon, jotta suomalaiset yritykset ovat tulevaisuudessa

relevantteja pelureita globaalissa kilpailussa. Lupaavimpia mahdollisuuksia suomalaisille yrityksille löytyy mitä todennäköisimmin hyvin erikoistuneista ratkaisuksista, joilla tuotetaan korkeaa lisäarvoa maailmanlaajuiseen kapeaan ja tarkoin valittuun markkinasegmenttiin.

Disruptiot

MISTÄ DISRUPTIOISSA ON KYSE?

Esimerkiksi OECD:n mukaan innovaatioita on erilaisia ja ne ilmenevät eri muodoissa, kuten palvelu- tai prosessi-innovaatioina. Niiden lisäksi on myös nykyiseen toimintaan eri tavoin suhteutuvia innovaatioita. Inkrementaalit innovaatiot esittelevät maltillisia uudistuksia ja lähinnä tehostavat nykyistä, kun taas radikaalit innovaatiot eroavat olemassa olevasta ja avaavat uusia kehityskuluja. Toisaalta säilyttävä innovaatio nojaa olemassa olevan osaamisen hyödyntämiseen, kun taas disruptiivinen innovaatio yleensä edellyttää uutta osaamista ja lisäarvon tarkastelua suhteessa uusiin arvon mittareihin. Disruptiivinen innovaatio yhtäältä tuottaa uusia arvonluonnin mahdollisuuksia esimerkiksi tuomalla markkinalle uusia asiakkaita, joilla aiemmin ei ole ollut mahdollisuutta esimerkiksi hintatason vuoksi tai kiinnostusta ratkaisujen ominaisuuksien vuoksi osallistua markkinalle. Toisaalta disruptiivinen innovaatio voi myös tuhota arvonluonnin mahdollisuuksia, jos uudet toimijat syrjäyttävät markkinalla aiemmin toimineita yrityksiä. (Christensen, 1997) Tämän syrjäyttämisen on kuitenkin nähty olevan luontainen osa markkinoiden uudistumista ja tärkeä osa tehottomien aktiviteettien karsimista markkinalta.

Vaikka termiä disruptio on laajasti ja laveasti käytetty, se on osoittautunut hyödylliseksi teknologian ja yhteiskunnan välisen dynamiikan ymmärtämisessä (Hopster, 2021). Akateemisessa tutkimuksessa on tunnistettu neljä eri osa-aluetta, joista markkinadisruptio kumpuaa: teknologia, liiketoimintamalli, sääntely tai sosiaalinen liikehdintä (social movement) (Godart & Pistilli, 2024). Käytännössä näemme useimmiten näiden yhdistelmiä, kuten johdannossa mainitussa Onnibus-esimerkissä.

Sekä radikaalit että disruptiiviset innovaatiot ovat usein haastavia markkinoiden vakiintuneille toimijoille, koska ne muuttavat syvälle juurtunutta paradigmaa ja niihin reagointi edellyttää nykyisten tuotteiden tai palveluiden kannibalisointia (Chandy ym., 2003). Tästä syystä meneillään oleva useiden teknologioiden yhtäaikainen murros, johon yhdistyy geopolitiittinen ja sosiokulttuurinen ulottuvuus, haastaa vakiintuneita yrityksiä ja avaa haastajille mahdollisuuksia saada jalansijaa markkinoilla. Digitaalinen teknologia mahdollistaa datapohjaisen toiminnan, mutta se luo kuitenkin tehokkaasti myös esteitä uusille ja/tai pienille yrityksille, koska vakiintuneilla yrityksillä on olemassa olevan käyttäjädatan ansiosta etulyöntiasema innovoinnissa. Toisaalta esimerkiksi Tesla onnistui uutena toimijana synnyttämään kiinnostusta sähköautoihin uudistamalla täyssähköauton konseptin pelkästä ekoteosta kiinnostavaksi ja houkuttelevaksi tavaksi autoilla. Yhtiö on kerryttänyt kasva-

van autokantansa avulla valtavan määrän dataa, jota se pystyy hyödyntämään matkallaan kohti varsinaista markkinadisruptiota: autonomista liikennettä.

Näennäisesti irrallinen teknologinen kehitys voi murtaa jonkin vakiintuneen markkinan. Tätä havainnollistaa esimerkiksi digikameroiden kukoistuksen aikakauden jääminen varsin lyhyeksi. Filmikameroiden markkinan romahduksen aikaan digikamerat näyttivät lupaavalta aluevaltaukselta. Älypuhelimien ja niissä olevien kameroiden kehitys ja sen rinnalla edennyt kuvien jakaminen sosiaalisen median palveluissa romahdutti kuitenkin hyvin nopeasti digikameroiden menekin. Kamerateknologian kehityksen ohella teknologian mahdollistamat uudet tavat jakaa kuvasisältöjä muuttivat ihmisten käyttäytymistä ja tekivät digikameroista nopeasti tarpeettomia.

Disruptioiden vaikutukset voivat rajautua tiettyyn toimialaan tai sektoriin tai ulottua usealle toimialalle ja jopa muovata yhteiskunnan normeja ja instituutioita (Schuelke-Leech, 2018). Lukuisat erilaiset ajurit vaikuttavat siihen, miten laajasti ja syvällisesti innovaatiot vaikuttavat arvonluontiin. Yhtäältä käyttäjien halukkuus ottaa innovaatio käyttöön määrittelee innovaation vaikuttavuutta, ja käyttöönottohalukkuuteen vaikuttaa muun muassa se, miten hyvin innovaatio vastaa käyttäjän tarpeeseen. Toisaalta myös sääntelyllä on merkitystä, koska se voi vauhdittaa innovaatioiden käyttöönottoa esimerkiksi edellyttämällä hiilidioksidipäästöjen vähentämistä tai jarruttaa sitä tiukoilla määräyksillä.

Useilla sidosryhmillä on merkitystä disruptioiden synnyssä. Paitsi vakiintuneilla yrityksillä ja haastajayrityksillä, roolinsa disruptioiden synnyssä on viranomaisilla ja yhteiskunnallisella päätöksenteolla, kuluttajilla, muilla yrityksillä, tutkimusyhteisöllä ja yhteiskunnalla yleensä. Arvon tuhoutumisen kannalta on merkittävää se, korvaako uusi nouseva innovaatio vanhan ja muodostaa uuden vallitsevan mallin tai standardin vai tuleeko se vanhan rinnalle. Disruptiiviset innovaatiot vaikuttavat arvonluontiin yhteiskunnan (tai markkinan) tasolla useilla eri mekanismeilla. On tärkeää huomata, että perinteiset taloudelliset mittarit eivät tunnista kokonaisvaikutuksia. Uuteen teknologiaan nojaavien innovaatioiden tarkastelu rajoittuu helposti taloudelliseen arvoon, vaikka innovaatioilla on myös sosiaalisia ja ympäristövaikutuksia. Tosin taloudellistakaan arvoa ei kyetä kattavasti mittaamaan. Disruptiivinen innovaatio voi esimerkiksi tehdä olemassa olevan osaamisen tarpeettomaksi ja tällä tavoin heikentää vakiintuneiden yritysten kykyä tuottaa arvoa ja saattaa niiden työntekijöitä heikkoon asemaan työmarkkinoilla. Toisaalta innovaatio voi lisätä yrityksen ja työntekijöiden tuottavuutta luomalla uusia tapoja vastata asiakkaiden tarpeisiin.

TEKNOLOGISEN KEHITYKSEN ROOLI DISRUPTIOISSA

Teknologinen kehitys on ollut merkittävä tekijä suurimmassa osassa historian markkinamurroksista. Teknologia kehittyy nopeammin kuin ihmiset osaavat ja haluavat ottaa sitä käyttöön. Näin ollen tuotteisiin ja palveluihin lisätään ominaisuuksia, joita asiakkaat eivät tarvitse, ja tuotteista ja palveluista voi muodostua

turhan monimutkaisia jopa suurelle osalle asiakkaista. Tämä avaa mahdollisuuden yksinkertaistavalle, juuri asiakkaan tarpeeseen osuvalle innovaatiolle. Asiakasymmärrys on siis ollut disruptioissa avainasemassa.

Teknologioiden mahdollisuudet ovat kuitenkin huomattavasti laajemmat kuin tuotteen tai palvelun ominaisuuksiin liittyvä kehitys. Uusien teknologioiden hyödyntämisen myötä yritysten arvonluonti voi siirtyä organisaation sisäisistä aktiviteeteista alustaekosysteemeihin, joissa useiden eri organisaatioiden panos yhdessä tuottaa asiakkaalle arvoa. Tämä edellyttää yritysten toimintojen yhteensovittamista ja voi vaikeuttaa yrityksen ansaintaa, jos se ei pysty neuvottelemaan muiden osapuolien kanssa riittävän tasaveroista arvon jakamisen mallia. Globaalien alustajättien valta on suurta, ja suomalaisten yritysten neuvotteluasema suhteessa niihin on heikko.

Kaiken kaikkiaan uusien teknologioiden käyttö synnyttää dataa aivan uudella tavalla, ja yrityksillä voi olla mahdollisuuksia lisäarvon luomiseen, jos ne hyödyntävät dataa tai jakavat sitä muiden organisaatioiden kanssa. Datan jakaminen vaatii kuitenkin erilaista osaamista kuin toiminta, jossa data syntyy, ja on siksi yrityksille merkittäväkin haaste. Dataosaaminen on erittäin tärkeä osa lisäarvon luomista uusien teknologioiden avulla. Digitaaliset teknologiat myös sumentavat rajaa fyysisen ja digitaalisen maailman välillä, koska ne ovat muovautuvuutensa, generatiivisuutensa ja yhdisteltävyytensä ansiosta skaalautuvia ja joustavia (Dąbrowska ym., 2022).

Uusiin teknologioihin pohjautuvien ratkaisujen ja sovellusten vaikutuksia on tärkeää tarkastella monipuolisesti, erityisesti yksilöiden, organisaatioiden, verkostojen ja yhteiskunnan tasolla, sekä ennen muuta näiden välisissä vuorovaikutussuhteissa. Yksilöiden tasolla uusien teknologioiden käyttöönotto tekee osan töistä tarpeettomaksi ja luo uusia töitä. Lisäksi teknologian käyttö muuttaa työtä ja aiheuttaa ihmisille epävarmuutta, koska vaikutuksia omaan työhön ja osaamisvaatimuksiin voi olla etukäteen vaikea ennakoida. Yhtäältä esimerkiksi teknologian mahdollistamat uudet käyttöliittymät voivat monipuolistaa yksilöiden työnkuva, ja samaan aikaan osan tehtävien siirtyminen koneille ja laitteille voi yksipuolistaa työtä ja tehdä siitä ihmiselle tylsempää. Uusi teknologia on siis työntekijälle samanaikaisesti sekä uhka että mahdollisuus. Uudet teknologiat tuovat uusia vaatimuksia myös yritysjohdolle. Jotta uuden teknologian avulla voidaan luoda lisäarvoa ja tuottoja, pitää johdolla olla näkemyksellisyyttä siitä, mitkä teknologiset ratkaisut soveltuvat yritykselle. Täytyy myös osata johtaa uusien ratkaisujen käyttöönottoa.

Yhteiskunnallisen arvonluonnin kannalta merkittävää on se, miten yrityksissä pystytään hyödyntämään uusia teknologisia ratkaisuja tuomalla ne ihmisen tekemän työn rinnalle eikä vain korvaamaan sitä. Yhteiskunnallisten vaikutusten kannalta erityisen kiinnostavia ovat yleiskäyttöiset mahdollistavat teknologiat, koska niillä on varsin laaja-alaiset sovellusmahdollisuudet ja usein suoria sovelluskohteita laajemmat vaikutukset. Tutkimus on osoittanut, että erityisesti yleiskäyttöiset teknologiat ovat laaja-alaisen sovellettavuutensa ansiosta todennäköisemmin disruptiivisia ja ravistelevat vakiintuneiden yritysten arvonluontia (Crafts, 2004).

SOSIOTEKNINEN MURROS

Tutkimuksen mukaan disruptiivisia teknologioita, joilla on laaja-alaisia yhteiskunnallisia vaikutuksia, yhdistää neljä piirrettä:

1. ne ovat (ei-paikallisia) perustavanlaatuisten teknologioiden kehitysaskelaita, joissa usein yhdistyy yksittäisiä eri teknologioita,
2. niillä on laajasti sovellusmahdollisuuksia eri aloilla,
3. ne uudelleenjäsentävät, uudelleenjärjestävät ja murtavat sosiaalisia ja institutionaalisia normeja ja standardeja, toimintaa, tuotantoa, trendejä eivätkä rajaudu tiettyyn markkinaan tai teollisuudenalaan, ja
4. ne eivät aja koko kansantalouden laajuista kasvua, mutta voivat yhdistyä ja muodostaa Kondratjevin aallon. (Schuelke-Leech, 2018)

Mikään teknologia ei kuitenkaan itsessään ole disruptiivinen, vaan disruptiiviset vaikutukset syntyvät teknologian ja ympäröivän yhteiskunnan välisessä vuorovaikutuksessa. (Hopster, 2021) Teknologioiden on havaittu voivan muuttaa ja jopa murtaa sosiaalisia suhteita, instituutioita, episteemisiä paradigmoja, perustavanlaatuisia käsitteitä ja jopa ihmisen kognitiota ja kokemuksia, mutta näitä on toistaiseksi tutkittu hyvin vähän. Käytännön esimerkkinä voidaan nähdä vaikkapa sosiaalisen median hyvinkin laaja-alaiset vaikutukset. Alustojen algoritmit suosivat tietynlaista viestintää ja tarjoavat ihmiselle sisältöjä, jotka muistuttavat hänen aiemmin kuluttamiaan sisältöjä. Näin teknologia muun muassa vahvistaa niin sanottua kuplautumista ja kärjistävää kommunikointia.

Laajemmin yhteiskunnan kannalta on oleellista, että tutkimustulokset osoittavat, että teknologian käyttöönotolla on yhteys tulo- ja varallisuuserojen kasvamiseen teollistuneissa maissa, mutta syistä ei ole löytynyt yksimielisyyttä. Tuoreessa tutkimuksessa on havaittu, että työvoimaintensiivinen (verrattuna pääomaintensiiviseen) teknologinen muutos, joka synnyttää radikaaleja innovaatioita, voi vähentää tulo- ja varallisuuseroja korkean tulotason maissa, kuten Suomessa. (Antonelli & Tubiana, 2023) Juuri nyt käsillä oleva teknologisen kehityksen supersykli kuitenkin näyttää ajavan pikemmin pääomaintensiivistä kuin työvoimaintensiivistä murrosta ja voi näin ollen olla yksi ajuri tulo- ja varallisuuserojen lisääntymiselle.

Tällaiset murrokset ovat osa yhteiskunnallista kehitystä, ja niillä on myös paikkansa kansallisella tasolla varallisuuden jakautumisen tasaamisessa. Murroksissa vakiintuneiden yritysten voitot ja mahdollinen tehottomuus arvonluonnissa haastetaan (Feder, 2018). Samalla on kuitenkin huomioitava murrosten sosiaaliset vaikutukset esimerkiksi työpaikkojen menetyksenä tai siirtymisenä uusille osaamisaloille ja eri sijainteihin.

McKinseyn (2024) arvion mukaan maailmassa on 18 vahvasti kasvavaa ja dynaamista teollisuudenalaa tekoälyohjelmistot ja -palvelut, pilvipalvelut, sähköajoneuvot, digitaalinen mainonta, puolijohteet, jaetut autonomiset ajoneuvot, avaruusteknologia, kyberturvallisuus, akut, modulaarinen rakentaminen, videostriimaus, videopelit, robotiikka, teollinen ja kuluttajabioteknikka, tulevaisuuden ilmaliikku-

minen, lihavuuslääkkeet, fissio(ydin)voimalaitokset. Niiden on perusteltua odottaa muuttavan merkittävästi liiketoiminnan pelikenttää vuoteen 2040 mennessä. Näillä aloilla on merkittävä vaikutus tulevaisuuden taloudellisessa arvonluonnissa. Tunnusomaisia näille aloille ovat liiketoimintamallien tai teknologian murrokset, kiihtyvät investoinnit sekä kasvava kohdemarkkina.

Näillä kasvun areenoiksi nimetyillä sektoreilla yrityksillä odotetaan olevan mahdollisuuksia huomattavaan kasvuun, ja toisaalta niillä on mahdollisuuksia uusille toimijoille. Merkittävästi kasvavan kilpailuareenan synty alkaa joko teknologian tai liiketoimintamallien huomattavalla muutoksella, joka muuttaa tuotteiden ja palveluiden kehittämisen tapoja tai tapoja tavoittaa asiakas. Kilpailu näillä kasvun areenoilla on globaalia, minkä ansiosta siellä voidaan odottaa syntyvän yritysmaailman jättiläisiä. Globaalilla markkinalla kapeakin erikoistunut segmentti voi tarjota riittävän asiakaspotentiaalin yrityksen merkittävälle kasvulle.

Johtopäätökset

Yritysten arvonluontiin vaikuttavat 2020-luvulla lukuisat samanaikaiset, epävarmuutta lisäävät muutokset, kuten edeltävissä luvuissa on kuvattu. Yrityksissä onkin yhä vaikeampaa hahmottaa, miltä suunnalta seuraava omaan toimintaan vaikuttava isku tulee. Tämä haastaa arvonluontia ja uuden kehittämistä. Teknologinen kehitys kuitenkin tuottaa yrityksille uusia mahdollisuuksia innovaatioihin niin tuotteissa, palveluissa kuin liiketoimintamalleissa, ja teknologista kehitystä on mahdollista ennakoita systemaattisilla ennakointimenetelmillä.

Yritysten toiminta on nykyään erittäin verkottunutta, ja tuottaakseen teknologiaa hyödyntävän ratkaisun yrityksen on käytännössä aina tehtävä yhteistyötä lukuisien kumppaneiden kanssa (ml. raaka-aineet, komponentit, data ja sen käsittely, tuotteiden jakelu, asennus, huolto jne.). Innovaatioilla on vaikutusta yritysten väliseen dynamiikkaan sekä yhteistyössä että kilpailussa. Arvonluonti uudella ratkaisulla tai toimintamallilla edellyttää yritykseltä kykyä muutokseen ja verkoston hallintaa. Työntekijöiltä vaaditaan uutta osaamista ja ennen muuta jatkuvaa valmiutta opetella uutta. Jotta yrityksille riittää osaajia ja toisaalta jotta ihmiset kokevat työnteon mielekkäänä, yhteiskunnan on tärkeää tukea jatkuvan oppimisen ajattelu- ja toimintamallien syntyä. Elinikäistä oppimista tukevia taitoja onkin tärkeää painottaa kaikilla koulutusasteilla peruskoulusta korkeakouluihin.

Teknologioiden kehitys avaa mahdollisuuksia uusien yritysten syntymiseen ja siten uusien työpaikkojen luomiseen, mutta samaan aikaan uudet yritykset voivat syrjäyttää vakiintuneita toimijoita, mikä on tärkeä osa yrityskehityksen uudistumista. Nykyiset kehityskulut voivat kuitenkin tehdä uusien yritysten nousun vakiintuneiden toimijoiden haastajiksi todella vaikeaksi. Teknologiainvestointien suuri mitta-kaava, datapohjaisuus ja asiakastarpeiden moninaisuus kaikki vankistavat vakiin-

tuneiden yritysten asemaa. Näin markkinoiden uudistuminen voi vähintäänkin hidastua ja arvonaluonti siten kärsiä.

Uusien teknologioiden ympärille syntyvät ratkaisut nojaavat poikkeuksetta datan keräämiseen ja sen hyödyntämiseen. Datapohjaisuus luo hyvin helposti markkina-asetelman, jossa ”voittaja vie kaiken”, koska suosituksi nouseva ratkaisu houkuttaa käyttäjiä, mikä entisestään vahvistaa sen kilpailuasemaa ja houkuttelee magneetin lailla lisää asiakkaita. Samalla ratkaisun takana oleva yritys kerryttää valtavat määrät dataa, jonka avulla se tehostaa ratkaisun kehittämistä ja tietää tarkalleen, miten asiakkaat käyttäytyvät. Tämä kehitys näyttäytyy kierteenä, jossa kyseinen ratkaisu ja sen taustalla oleva yritys saavat vankkumattoman aseman markkinalla. Disruptiiviset innovaatiot ovat aiemmin horjuttaneet tällaisten dinosauruksiksikin kutsuttujen vakiintuneiden yritysten asemaa ja uudistaneet markkinaa. Nyt käynnissä oleva teknologinen kehitys kuitenkin vaikeuttaa myös disruptiivisen innovaation mahdollisuutta, koska asiakkaan yliverlainen palveleminen rakentuu yhä useammin massiiviselle datalle, jota on kerrytetty vuosien ajan. Dataa hyödyntävä innovointi näyttää olevan suomalaisille yrityksille erittäin haasteellista, ja siksi se on yksi keskeinen kehityskohde tulevaisuuden arvonaluonnin edellytysten varmistamiseksi.

Teknologiaan perustuvat innovaatiot vaikuttavat myös tuotteiden ja palvelujen käyttäjiin. Yhteiskunnallisen arvonaluonnin kannalta erityisen kiinnostavia ovat innovaatioiden tahattomat vaikutukset, jotka voivat olla myönteisiä tai kielteisiä. Eritoten nyt käsillä oleva yleiskäyttöisten teknologioiden – tekoäly, kytkettyisyys (connectivity) ja bioteknologia – läheneminen tulee lähivuosikymmeninä tuottamaan mullistavia ratkaisuja, jotka muovaavat ihmisten arkea ja yhteiskuntamme toimintaa. Arvonaluonnin kannalta yritysten pitää valmistautua paradigman muutokseen, jossa teknologinen edistys yhdessä geopolittisen ja sosio-kulttuurisen muutoksen kanssa ravistelee toiminnan organisoitumista ja maantieteellistä sijoitumista. (vrt. Vrontis ym., 2024) Arvonaluontia on tulevaisuudessa kehitettävä ympäristössä, jossa teknologia yhtäältä vähentää sijainnin merkitystä, mutta toisaalta samaan aikaan geopolittiset jännitteet, yhteiskunnalliset arvot ynnä muut sosio-kulttuuriset tekijät nostavat sijainnin entistä tärkeämmäksi.

Teknologisten seikkojen ohella myös sosiaalinen hyväksyntä ja arvovalintamme siitä, mihin teknologiaa, kuten tekoälyä, halutaan yhteiskunnassa käytettävän, vaikuttavat keskeisesti siihen, mitä sovellutuksia tulemme näkemään. Lyhyellä aikajänteellä Suomessa ja Euroopassa voidaan olla eri linjoilla kuin muualla maailmassa, mutta pitkällä aikajänteellä emme voi eristäytyä muun maailman kehityskuluista.

Lähteet

- Adarkwah, G. K., Dorobantu, S., Sabel, C. A., & Zilja, F. (2024) Geopolitical volatility and subsidiary investments. *Strategic Management Journal*, 45(11), 2275–2306. <https://doi.org/10.1002/smj.3631>
- Altman, S. A., Bastian, C. R., & Fattedad, D. (2024) Challenging the deglobalization narrative: Global flows have remained resilient through successive shocks. *Journal of International Business Policy*, 7, 416–439. <https://doi.org/10.1057/s42214-024-00197-0>
- Chandy, R. K., Prabhu, J. C., & Antia, K. D. (2003) What will the future bring? Dominance, technology expectations, and radical innovation. *Journal of Marketing*, 67(3), 1–18.
- Dąbrowska, J., Almpantopoulou, A., Brem, A., Chesbrough, H., Cucino, V., Di Minin, A., Giones, F., Hakala, H., Marullo, C., Mention, A.-L., Mortara, L., Nørskov, S., Nylund, P. A., Oddo, C. M., Radziwon, A., & Ritala, P. (2022) Digital transformation, for better or worse: A critical multi-level research agenda. *R&D Management*, 52, 930–954. <https://doi.org/10.1111/radm.12531>
- Feder, C. (2018) The effects of disruptive innovations on productivity. *Technological Forecasting and Social Change*, 126(C), 186–193.
- Felin, T., Foss, N. J., Heimeriks, K. H., & Madsen, T. L. (2012) Microfoundations of routines and capabilities: Individuals, processes, and structure. *Journal of Management Studies*, 49, 1351–1374. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6486.2012.01052.x>
- Godart, F., & Pistilli, L. (2024) The multifaceted concept of disruption: A typology. *Journal of Business Research*, 170, 114311. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2023.114311>
- Kortelainen, M. (2019, 13. joulukuuta) Airbnb-asukas voi tulla naapureille kalliiksi – asunnon vuokraaja ei vastaakaan automaattisesti esimerkiksi vesivahingosta. *Rakennuslehti*. <https://www.rakennuslehti.fi/2019/12/airbnb-asukas-saattaa-kayd-taloyhtiolle-kalliiksi-asunnon-vuokraaja-ei-vastaakaan-automattisesti-esimerkiksi-vesivahingosta/> (viitattu 8.3.2025)
- Linturi, R. & Kuusi, O. (2018) Suomen sata uutta mahdollisuutta 2018–2037. Yhteiskunnan toimintamallit uudistava radikaali teknologia. *Eduskunnan tulevaisuusvaliokunnan julkaisu* 1/2018. https://www.eduskunta.fi/FI/naineduskuntatoimii/julkaisut/Documents/tuvj_1+2018.pdf (viitattu 12.3.2025)
- McKinsey & Company (2024) The next big arenas of competition. <https://www.mckinsey.com/mgi/our-research/the-next-big-arenas-of-competition> (viitattu 8.3.2025)
- Mohr, A., Hashai, N., Puck, J., Konara, P., & Reinprecht, H. (2024) Remaking the multinational corporation: Geographically dispersed unbundling and intangible assets. *Management International Review*, 64, 991–1020. <https://doi.org/10.1007/s11575-024-00558-0>
- Petricevic, O., & Teece, D. J. (2019) The structural reshaping of globalization: Implications for strategic sectors, profiting from innovation, and the multinational enterprise. *Journal of International Business Studies*, 50, 1487–1512. <https://doi.org/10.1057/s41267-019-00269-x>

Schuelke-Leech, B. (2018) A model for understanding the orders of magnitude of disruptive technologies. *Technological Forecasting and Social Change*, 129, 261–274. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.09.033>

Vrontis, D., Shams, R., Thrassou, A., & Kafouros, M. (2024) Global strategy evolution, devolution or revolution: Disruptions to globalization and international business introversion. *Journal of International Management*, 30(5), 101188. <https://doi.org/10.1016/j.intman.2024.101188>

Warner, K. S. R., & Wäger, M. (2019) Building dynamic capabilities for digital transformation: An ongoing process of strategic renewal. *Long Range Planning*, 52(3), 326–349. <https://doi.org/10.1016/j.lrp.2018.12.001>

Virtuaalivaluuttojen ja muiden krypto- varojen merkitys ja mahdollisuudet Suomelle

KRISTO LEHTONEN

johtaja, Kansainvälinen toiminta, Sitra

HEIKKI AURA

johtava asiantuntija, Kansainvälinen toiminta, Sitra

Johdanto

Kryptoteknologia ja sen sovellusalueet, kuten virtuaalivaluutat, tokenisaatio ja vakaavaluutat (stablecoin), ovat nousseet merkittäväksi taloudelliseksi, teknologiseksi ja yhteiskunnalliseksi ilmiöksi maailmanlaajuisesti. Tämä murros haastaa perinteisiä toiminta- ja sääntelymalleja.

Tekoälyyn ja automaatioon perustuva tuottavuus jakaa taloudellista valtaa uudelleen. Virtuaalivaluutat tarjoavat pääsyn finanssipalveluihin arviolta kahdelle miljardille ihmiselle, joilta perinteiset palvelut puuttuvat. (Dufva & Rekola 2023) Lohkoketjuihin pohjautuvat älysopimukset yhdistettynä tekoälyagentteihin mahdollistavat sopimusten automaattisen toteuttamisen ilman kolmatta osapuolta, mikä voi mullistaa luottamukseen ja keskitettyihin portinvartijoihin perustuvia järjestelmiä. Samaan aikaan teknologiaan liittyy riskejä, kuten rikollinen käyttö. (Lindgren, Lindholm, Lehtonen, Mustikainen & Niikkonen 2023) Kryptoteknologioiden, kuten virtuaalivaluuttojen, käyttö on kasvanut niin suureksi, että suuret talousalueet haluavat integroida ne osaksi talousjärjestelmäänsä ja tuoda ne perinteisen sääntelyn piiriin.

Pankit ja rahoituslaitokset joutuvat valmistautumaan ohjelmoitavan rahan aikaan luomalla uusia kyvykkyyksiä. Virtuaalivaluutat, erityisesti vakaavaluutat, myös haastavat keskuspankkien ja perinteisten rahoitusinstituutioiden valtaa. Geopoliittisesti virtuaalivaluutat ovat osa laajempaa talouden ja politiikan murrosta, jossa suurvaltakamppailu Yhdysvaltojen ja Kiinan välillä kiristyy ja EU pyrkii vahvistamaan strategista autonomiaansa. (Mäkelä, Tähkää & Vahti 2024) Strateginen kapitalismi, suurvaltakamppailu ja digiteknologian käyttö valtapolitiikan välineenä sekoittuvat ja muutosta kiihdyttää lohkoketjuteknologian kyky muuttaa taloudellista toimintaa sekä teknologian ja datan sulautuminen arkeen. (Dufva & Rekola 2023)

Nykyinen internet on keskitetty, ja suurten teknologiayhtiöiden vaikutusvalta on korostunut yksilöiden ja yhteiskunnan kustannuksella. Hajautettu digitaalinen maailma voi teoriassa tarjota reilumpia rakenteita, mutta onnistuminen riippuu pitkälti siitä, millaisia pelisääntöjä lainsäätäjät, yritykset, järjestöt ja käyttäjät yhdessä luovat. Suomelle rahoitussektorin innovaatiot ja uusien digitaalisten palvelujen kehitys avaa mahdollisuuksia. Voimme nousta web 3.0:n ja kestävien lohkoketjuratkaisujen kärkeksi hyödyntämällä vahvaa teknologiaosaamistamme, puhdasta energiaamme ja korkeaa digivalmiuttamme. (Lehtonen 2022)

Tämä katsaus tarjoaa tiiviin yleiskuvan virtuaalivaluuttoihin ja muihin kryptovaroihin liittyvistä kehityssuunnista, mahdollisuuksista ja haasteista. Tarkoituksena on selkeyttää keskeisiä käsitteitä, tuoda esiin ilmiön vaikutuksia yhteiskuntaan sekä tukea laajempaa keskustelua ja tulevaisuuden suunnittelua erityisesti Suomen ja EU:n näkökulmasta.

Mitä virtuaalivaluutat ovat ja mihin niitä käytetään?

Virtuaalivaluutat (engl. virtual currency) tai kryptovaluutat (cryptocurrency) ovat

*digitaalisessa muodossa olevia valuuttoja, jotka eivät ole
keskuspankin tai muun viranomaisen liikkeelle laskemia.*

Tunnetuin esimerkki virtuaalivaluutasta on bitcoin, mutta markkinoilla toimii satoja muitakin.

Virtuaalivaluuttojen kattokäsite on krypto tai kryptovara.

*Kryptovarat ovat digitaalisia rahakkeita, jotka hyödyntävät
lohkoketjuteknologiaa ja kryptografiaa eli salaustekniikkaa.*

Ala muuttuu nopeasti ja useat käsitteet tulevat englannin kielestä. Käsitteiden suomennoksia, määritelmiä ja niiden välisiä yhteyksiä on avattu liitteen 1 käsitekartassa ja liitteen 2 sanastossa.

Virtuaalivaluuttoja voi käyttää monipuolisesti: niihin voi esimerkiksi sijoittaa ja niiden avulla voi siirtää varoja nopeasti ja edullisesti yli rajojen. Niillä voisi periaatteessa ostaa myös tuotteita ja palveluja, mutta esimerkiksi Suomessa käyttö on vielä vähäistä (Osakesijoittaja.fi 2024).

Useimmat virtuaalivaluutat perustuvat lohkoketjuteknologiaan¹, joka mahdollistaa läpinäkyvät siirrot ilman välikäsiä. Virtuaalivaluuttojen juuret ulottuvat vuosikymmenten taakse², mutta niiden läpimurto tapahtui vuoden 2008 finanssikriisin jälkeen syntyneen luottamuspulan myötä. Tällöin tuntematon Satoshi Nakamoto julkaisi bitcoinin eli ensimmäisen lohkoketjuun perustuvan virtuaalivaluutan. Hän perusteli innovaation tarvetta näin:

Perinteisen valuutan perusongelma on kaikki se luottamus, jota sen toimiminen edellyttää. Keskuspankkiin on luotettava, ettei se heikennä valuutan arvoa, mutta fiat-valuuttojen³ historia on täynnä tämän luottamuksen rikkomuksia. Pankkeihin on luotettava, että ne säilyttävät rahamme ja siirtävät niitä sähköisesti, mutta todellisuudessa ne lainaavat niitä eteenpäin luottokuplissa pitäen vain murto-osan varoista varalla. (Nakamoto 2009)

1 Lohkoketju on ”jatkuvasti kertyvä hajautettu datakokonaisuus, jonka kaikki tapahtumat ovat aikajärjestyksessä, kaikkien osapuolten vahvistamia ja tallennettu niin, ettei mitään voi muuttaa tai väärentää.” Lähde: Sitran sanasto (Suomalainen 2023)

2 Yhdysvaltalainen DigiCash vuodelta 1989 oli verkkopohjaisten maksujärjestelmien pioneeri, ja sitä pidetään ensimmäisenä virtuaalivaluuttana. (Johansson, Eerola, Innanen & Viitatala 2019)

3 ”Fiat-valuutta” tarkoittaa rahaa, jonka arvo ei perustu fyysiseen hyödykkeeseen, kuten kultaan, vaan valtion tai keskuspankin antamaan määräykseen. (Etymonline 2025)

Merkittäväksi digitaalseksi maksurahakkeeksi ovat myös muotoutuneet vakaavaluutat. Vakaavaluutalla (stablecoin) tarkoitetaan kryptovaluuttoja, joiden tarkoituksena on mukailla olemassa olevien fiat-valuuttojen, kuten euron tai dollarin, arvoa. (Lindgren, Lindholm, Lehtonen, Mustikainen & Niikkonen 2023) Maailman suurin vakaavaluutta on tether, josta käytetään lyhennettä USDT, yli sadan miljardin dollarin markkina-arvolla (syyskuussa 2025), kun koko vakaavaluuttamarkkinan markkina-arvo on noin 300 miljardia dollaria. (Statista 2025).

Institutionaalisten sijoittajien kiinnostus virtuaalivaluuttoja kohtaan kasvoi merkittävästi vuonna 2024, erityisesti Yhdysvalloissa. Kasvua vauhdittivat tammikuussa 2024 lanseerattu ensimmäinen bitcoiniin sidottu pörssinoteerattu rahasto (Bitcoin-ETF) sekä presidentti Trumpin päätös nostaa kryptovaluutat näkyvään rooliin presidentinvaalikampanjassaan. (Reuters 2024; Forbes 2025; Forbes 2024)

Virtuaalivaluuttojen taloudellinen merkitys lukuina

Maailman suosituin virtuaalivaluutta on **bitcoin yli 2 000 miljardin dollarin markkina-arvolla**, ja toisena tulee ethereum yli 500 miljardin dollarin markkina-arvolla (syyskuussa 2025, lähde: Coingecko 2025).

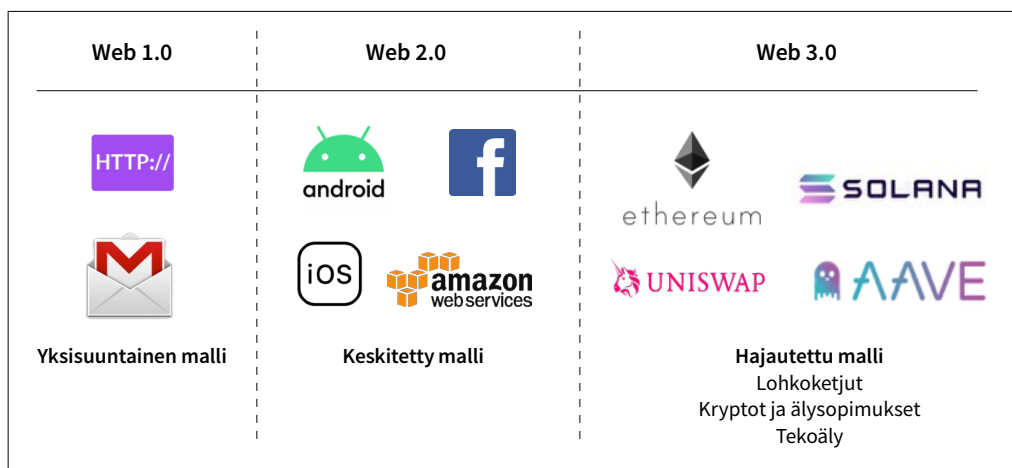
Maailmassa on eri arvioiden mukaan lähes **10 000 kryptovaluuttaa**, mutta vain pieni osa niistä on saavuttanut merkittävää käyttöä. Niiden yhteenlaskettu **markkina-arvo on globaalisti noin 4 000 miljardia**. (syyskuussa 2025, lähteet: Duarte 2025; Investing 2025; Statista 2025)

Eri arvioiden mukaan noin **300 000 – 500 000 henkilöä Suomessa omistaa kryptovaluuttoja**. Vastaavasti yhdessä maailman johtavassa kryptomaassa, Yhdysvalloissa, 17 prosenttia aikuisista on omistanut, käyttänyt tai käynyt kauppaa kryptovaluutoilla. **Noin 10 000 suomalaista sai virtuaalivaluuttatuloja vuonna 2022**. (K33 Research & EY; K33 Research & Nordic Blockchain Association 2025; Pew Research Center 2025; Verohallinto 2024)

Kryptovarallisuuden merkityksen nousu on edellyttänyt lukuisia innovaatioita, jotka ovat osa niin sanotun hajautetun internetin syntymistä, mihin pureudumme seuraavaksi.

Web 3.0 toi mukanaan hajautetut rahoituspalvelut

Vuoden 2008 finanssikriisi oli käännekohta, joka paljasti perinteisen rahoitusjärjestelmän puutteet: vääristyneet kannustimet, epätasaisesti jakautunut tieto sekä läpinäkyvyyden puute horjuttivat luottamusta pankkijärjestelmään ja keskitettyihin toimijoihin. Tämä loi tilaa uusille vaihtoehdoille ja web 3.0:n esiinmarssille. (Aura, Brand et al. 2023, s.34)



KUVA 1. Web 3.0 haastaa nykyisiä arvoketjuja ja liiketoimintamalleja

Web 1.0:n aikana 1990-luvulla verkkosisältö oli staattista ja yksisuuntaista. Web 2.0 toi mukanaan sosiaalisen median ja käyttäjien välisen vuorovaikutuksen, mutta samalla datavalta keskittyi suurille teknologiayhtiöille. Web 3.0 pyrkii hajauttamaan tuon vallan. Se pohjautuu lohkoketjuihin, kryptovaluuttoihin, älysopimuksiin ja tekoälyn käyttöön. Tavoitteena on mahdollistaa tiedon ja arvon siirto ilman keskitettyjä välikäsiä (Lehtonen 2022).

Merkittävä askel teknologisessa kehityksessä otettiin vuonna 2015, kun Ethereum julkaisi lohkoketjun, joka mahdollisti ohjelmien tallentamisen ja suorittamisen suoraan ketjussa. Näitä ohjelmia alettiin kutsua älysopimuksiksi⁴, ja ne loivat perustan ohjelmoitavalle rahalle⁵ ja kokonaan uudennlaisille, hajautetuille sovelluksille. (Rahkola 2019)

⁴ Älysopimus on ”lohkoketjuteknologialla toteutettu ohjelma, joka mahdollistaa arvoa sisältävien kohteiden automaattisen vaihdannan ennalta määritettyjen ehtojen avulla. Lähde: Sitran sanasto (Suomalainen 2023)

⁵ ”Ohjelmoitava raha” tarkoittaa digitaalista rahaa, jota käytetään etukäteen määritettyyn tarkoitukseen, kuten älysopimusten avulla automatisoituun maksuun. (Euroopan keskuspankki 2024)

Hajautetun rahoituksen perusta ovat hajautetut sovellukset (dAppit), jotka toimivat lohkoketjuissa älysopimusten ohjaamina. Esimerkiksi Ethereum-ekosysteemissä on arviolta noin 5 000 aktiivista hajautettua sovellusta. Tunnettuja sovelluksia ovat amerikkalainen Uniswap ja suomalaistaustainen Aave. (DappRadar 2025; Binance 2025) Niiden avulla käyttäjät voivat esimerkiksi antaa tai ottaa lainaa ilman pankkia, käydä kauppaa tai ostaa vakuutuksia. Alla olevassa taulukossa verrataan perinteisiä ja hajautettuja rahoituspalveluita.⁶

TAULUKKO 1: Perinteisten ja hajautettujen rahoituspalveluiden vertailua.

Ominaisuus	Perinteiset rahoituspalvelut	Hajautettu rahoitus
Automaation aste	matala	korkea
Välittäjän merkitys	korkea	matala
Kustannukset	korkeat	matalat
Läpinäkyvyys	matala	korkea
Säännelty	kyllä	ei

Kolme keskeistä web 3.0:n sovellusaluetta

Hajautetun mallin rahoituspalvelut (DeFi, decentralised finance) toimivat avoimilla lohkoketjuilla älysopimusten varassa. Monet välikädet korvautuvat ohjelmakoodilla. Älysopimuksissa luottamus automatisoidaan ilman, että siihen tarvitaan välittäjiä tai finanssi- tai lakipalveluita. Tämänkaltaisen hajautettu palvelu tai älysopimus toimii samaan tapaan kuin limu- tai karkkiautomaatti, johon laitetaan rahaa ja koneen automaatio vapauttaa halutun tuotteen ilman myyjää.

Tokenisaatio tarkoittaa omaisuuden – kuten kiinteistöjen, taideteosten tai osakkeiden – muuttamista digitaalisiksi rahakkeiksi ja omistuksen jakamisen pienempiin osiin. Tokenisaatio helpottaa sijoittamista ja parantaa läpinäkyvyyttä ja likviditeettiä.

Hajautettu itsenäinen organisaatio eli DAO (decentralised autonomous organisation) toimii ikään kuin digitaalisen ajan osuuskunta. Näitä hyödynnetään tällä hetkellä erilaisiin tarkoituksiin, esimerkiksi keräämään varoja ympäristönsuojeluun tai Ukrainan auttamiseen ilman tarvetta keskitetylle johtoportaalille, jolloin enemmän rahaa kanavoituu haluttuun tarkoitukseen.

Lähteet: Aura, Brand et al. 2023; Aura, Reggianini, Voloder 2024; Lehtonen 2022.

⁶ Taulukko perustuu Sitran selvitykseen (Aura, Brand et al. 2023, s. 34–37).

Web 3.0 ei rajoitu pelkkiin lohkoketjuihin, vaan käytännössä ratkaisuja toteutetaan usein hybridimallilla, jossa yhdistyvät hajautetut ja osittain keskitetyt järjestelmät. Olennaista on, että data liikkuu ja järjestelmät keskustelevat keskenään. Tämä edellyttää uusia ekosysteemejä, pelisääntöjä ja tietoturvaa, jotka lisäävät suuren yleisön luottamusta uusiin palveluihin. Lisäksi suuren yleisön saavuttaminen edellyttää nykyisten palveluiden käytettävyyden parantamista. Monille tavallisille käyttäjille esimerkiksi kryptolompakon luominen on vielä liian vaikeaa.

Hajautuksen myötä suurten alustayritysten valta voi vähentyä, mikä voi johtaa innovaatioiden lisääntymiseen ja reilumpaan kilpailuun. Ilman reiluja pelisääntöjä web 3.0:sta voi muodostua web 2.5, eli keskitetyn mallin huonot puolet voivat toistua ja jopa vahvistua. Oikein toteutettuna hajautettu internet voi tarjota yksilöille paremman kontrollin omaan dataansa, lisätä luottamusta digitaaliseen ympäristöön ja mahdollistaa uusia innovaatioita ja palveluita, jotka säästävät aikaa ja rahaa sekä parantavat laatua. Toisaalta keskitetyn kontrollin vähentyminen tuo haasteita: esimerkiksi hajautetuissa palveluissa keskustelujen moderointi vaikeutuu ja ongelmatilanteissa vastuunkantajaa ei välttämättä löydy.

Seuraavaksi pureudutaan syvemmälle virtuaalivaluuttojen ja muiden kryptovarojen mahdollisuuksiin ja riskeihin.

Virtuaalivaluuttojen ja muiden kryptovarojen mahdollisuudet ja riskit

Virtuaalivaluutat ja niihin linkittyvät teknologiat tuovat mukanaan lukuisia mahdollisuuksia, joista tässä esitellään tärkeimpiä.

Kryptoteknologioiden mahdollisuuksia	Kryptoteknologioiden riskejä
Vaihdon väline ja maksuliikenteen tehostaja. Virtuaalivaluutat mahdollistavat nopeat ja edulliset rajat ylittävät maksut verrattuna perinteisiin järjestelmiin, mitkä voivat kestää useita päiviä (Stripe 2024) ja kulut nousta pienissä siirroissa yli kymmenen prosenttiin. ⁷ Lohkoketjuilla maksut voivat siirtyä minuuteissa ja maksaa sentin murto-osan ⁸ .	Hintavaihtelut (volatiliteetti). Kryptovaluutat ovat alttiita kurssivaihteluille. Virtuaalivaluuttojen hinnanvaihtelut ja puutteellinen sääntely voivat aiheuttaa riskejä koko rahoitusjärjestelmälle.

⁷ Noin 200 dollarin rajat ylittävissä rahansiirroissa pankkien kulut ovat keskimäärin jopa yli kymmenen prosenttia. (World Bank Group 2024)

⁸ Kustannusten suora vertailu on hankalaa, koska esimerkiksi bitcoin, jonka kustannus on yhden arvion mukaan noin 2,5 dollaria per transaktio, käyttää niin sanottua tehdyn työn varmennetta eli konsensusalgoritmia, joka varmistaa transaktion koneellisen laskennan avulla, ja puolestaan Solana, jonka kustannus on noin 0,00025 dollaria per transaktio, käyttää osuuden varmennetta eli konsensusalgoritmia, joka varmistaa transaktion lohkoketjuun kiinnitettävien kryptorahakkeiden avulla. (Nallapaneni 2025; Suomalainen 2023)

Uutta liiketoimintaa ja työpaikkoja. Alalla toimii useita suomalaisia edelläkävijöitä. Suomalainen Membrane Finance lanseerasi v. 2023 ensimmäisenä euroon sidotun vakaavaluutan. (Tekniikka & Talous 2023) Suomalaistaustaista Avaraa (Aave) pidetään yhtenä johtavista hajautetun mallin rahoituspalveluiden (DeFi) yrityksistä.	Rahanpesu ja harmaa talous. Virtuaalivaluuttojen anonymisuus helpottaa rikollista toimintaa. Vaikka transaktiotiedot tallentuvat lohkoketjuihin, rikolliset hyödyntävät erilaisia anonymisointitekniikoita, joilla estetään varojen alkuperän jäljittäminen. (Aura, Brand, Johansson et al. 2023).
Yhteiskunnan tekoälyistyminen. Sata vuotta sitten Suomi sähköistyi. Meidän aikamme tärkein yleiskäyttötكنولوجيا on tekoäly, ja yhteiskuntamme siirtyy vaiheittain kohti tekoälyn laajempaa hyödyntämistä. Tulevaisuudessa tekoälyagentit voivat solmia älysopimuksia keskenään, mikä vaatii nopeasti toimivia digitaalisia maksuratkaisuja.	Systeimiriskit. Virtuaalivaluuttojen hinnanvaihtelut ja puutteellinen sääntely voivat aiheuttaa riskejä koko rahoitusjärjestelmälle. Esimerkiksi vuonna 2022 vakaavaluutta terra romahti markkinoiden luottamuksen kadottua, mikä aiheutti laajaa epävarmuutta kryptomarkkinoilla.⁹
Uudet digitaaliset palvelut, kuten hajautetun mallin finanssipalvelut ja tokenisaatio.	Energiankulutus. Erityisesti bitcoinin louhinta käyttää huomattavan paljon sähköä.¹⁰
Arvon säilyttäjä. Virtuaalivaluutoista bitcoin on asemoitunut monien sijoittajien keskuudessa digitaalisen kullan kaltaisena omaisuususeränä, jolla hajautetaan salkkua.	Kyberturvallisuus. Kryptopörssiä ja kryptopalveluita on onnistuttu hakkeroimaan. Myös älysopimuksista on löytynyt haavoittuvuuksia.¹¹
Viihde ja keräily. Virtuaalivaluutat ovat myös osa viihdekulttuuria. Esimerkiksi Donald Trump julkaisi tammikuussa 2025 oman meemikryptonsa \$TRUMP, joka vertautuu fyysisen maailman keräilyesineisiin.	Standardien puute ja yhteensopivuuden ongelmat. Lohkoketjuympäristössä on satoja kilpailevia alustoja, ja yhteensopivuuden puute vaikeuttaa eri valuuttojen ja järjestelmien välistä kitkatonta toimintaa. Standardien kehittäminen ja rajapintojen yhteentoimivuus ovat tulevaisuuden keskeisiä haasteita.

Kryptovarojen sääntely

Kryptovarot olivat pitkään lähes kokonaan sääntelemättömiä. Alan pioneerit suhtautuivat usein kielteisesti viranomaissääntelyyn (Fortune, 2022). Viime vuosina on kuitenkin tunnistettu, että selkeä sääntelykehys on välttämätön, jotta ala voisi saavuttaa laajemman hyväksynnän (Vereckey 2023).

⁹ Vakaavaluutta terran romahdus oli ensimmäisiä merkittäviä markkinapaniikkeja (bank run) kryptomarkkinoilla. (Liu, Makarov, Schoar 2024)

¹⁰ Cambridgen yliopiston ylläpitämän tilaston mukaan bitcoinin vuotuinen sähkönkulutus on noin 180 TWh (Cambridge Bitcoin Electricity Consumption 2025) – yli kaksinkertainen Suomen vuoden 2024 sähkönkulutukseen verrattuna. Toinen merkittävä lohkoketju eli Ethereum on siirtynyt käyttämään energiatehokkaampaa konsensusalgoritmia eli osuuden varmennetta (proof-of-stake) vähentäen energiankulutustaan yli 99 prosenttia. (Aura, Brand, Johansson et al. 2023, s.17–20)

¹¹ Esimerkiksi alan toimijat ovat julkaisseet ohjeita alan toimijoille suurten hakkerointien estämiseksi jatkossa. Katso esimerkiksi (Chainanalysis 2025; OSL 2025).

Euroopan unioni on ollut edelläkävijä kryptovarojen sääntelyssä. EU:n MiCA-asetus (markets in crypto-assets) on ensimmäinen laaja sääntelykehys kryptovarojen liikkeellelaskulle, kaupankäynnille ja palveluntarjonnalle (EU 2023/1114). MiCA-asetusta on nimitetty jopa ”kryptovaluuttojen GDPR:ksi” (Lindgren, Lindholm, Lehtonen et al. 2022, s.17). Suomessa sääntelyä täydentää muun muassa kansallinen laki kryptovarapalvelun tarjoajista ja kryptovaramarkkinoista (402/2024) sekä Finanssivalvonnan ohjeistus. Kryptovarojen sääntelyyn vaikuttavat myös muut EU-säädökset sekä kansallinen sääntely, joita ei tässä tilanpuutteen vuoksi käydyä kattavasti läpi.¹²

Alan toimijat itse ovat toivoneet sääntelyn selkeyttämistä (Sarvodaya 2023). Sitran web 3.0:n lainsäädäntöön syventynyt selvitys (Lindgren, Lindholm, Lehtonen et al. 2023) sekä Sitran tukemat innovaatiokokeilut (Kurki, 2023) ja pilotit¹³ kertovat alan innovaatiopotentialista ja toisaalta lainsäädäntökehikon ja verotuksen merkityksestä innovaatioiden syntymiselle. Suomessa ala kaipaa selkeää sääntelykehikkoa, selkeää ja ennustettavaa verotusta, riittävästi resursseja alan valvontaan ja neuvontaan sekä innovaatiotoiminnan tukemista esimerkiksi sääntelyhiekkalaatikolla eli testiympäristöllä. (Lindgren, Lindholm, Lehtonen et al. 2023)

Sääntely voi toimia sekä mahdollistajana että esteenä. Selkeä ja kilpailukykyinen sääntelykehys voi houkutella alan toimijoita Suomeen ja EU:hun. Esimerkiksi suomalainen Membrane Finance sai Finanssivalvonnalta luvan euroon sidotun vakaavaluutan liikkeellelaskuun, ja EU:n yhtenäinen sääntely mahdollisti sen, että Suomessa saatu lisenssi on pätevä koko EU:ssa. Yritys myytiin amerikkalaisyritykselle. (Andersen 2024)

Myös Yhdysvalloissa sääntelyn selkeyttäminen on noussut esiin. Presidentti Trump allekirjoitti tammikuussa 2025 toimeenpanomääräyksen (The White House 2025), jossa korostetaan Yhdysvaltojen tavoitetta johtaa kryptomarkkinan kehitystä. Heinäkuussa Yhdysvaltojen kongressissa 2025 hyväksyttiin ensimmäinen liittovaltion tason vakaavaluuttojen sääntelykehikko GENIUS Act (U.S. Congress 2025a). Muutakin sääntelyä on valmisteilla, kuten Stable Act ja Clarity Act.

12 Hyvän yleiskuvan voimassa olevasta lainsäädännöstä saa Finanssivalvonnan sivuilta, muun muassa <https://www.finanssivalvonta.fi/saantely/> sekä Sitran selityksestä (Lindgren, Lindholm, Lehtonen et al. 2023).

13 Esimerkkinä pilotista on Sitran rahoittama ja yhdessä Kansallisgallerian kanssa toteutettu Suomen ensimmäinen julkisen sektorin DAO (decentralized autonomous organization) -kokeilu, jossa rakennettiin virtuaalimaailmaan taidenäyttely maailman suurimpaan DAO:on. Samalla saatiin kokemuksia NFT:stä ja älysovimuksista, joita maailman suurin DAO Decentraland käyttää. (Sitra 2022)

Pankit ohjelmoitavan rahan murroksessa

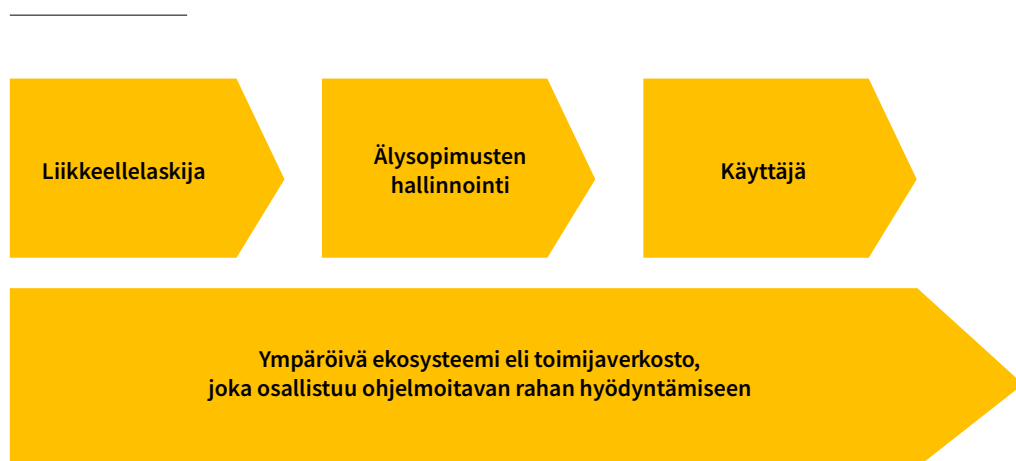
Virtuaalivaluuttojen ja keskuspankkivaluuttojen suhdetta voidaan tarkastella kahdesta eri näkökulmasta: toisaalta taloudellisen ja rahapoliittisen vallan uudelleenjakona (Mäkelä, Tähkää & Vahti 2024) ja toisaalta teknologisenä murroksena, joka tuo vaihtoehtoja ja uusia muotoja nykyiselle rahajärjestelmälle (Aura, Brand et al. 2023, s. 39–43).

Virtuaalivaluutat haastavat kansallisvaltioiden ja keskuspankkien rahapoliittista valtaa. Ne ovat myös houkutelleet maita, jotka saattavat haluta irtautua dollarin asemasta maailmankaupan reservivaluuttana. Esimerkiksi Venäjä ja Iran ovat tutkineet mahdollisuuksia kiertää kryptovaluutoilla pakotteita ja käydä kahdenvälistä kauppaa. El Salvadorissa kryptot ovat saaneet näkyvää poliittista tukea maan presidentiltä. (Aura, Brand et al. 2023, s. 39–43). Yhdysvaltojen tämänhetkinen kryptomyönteisempi ilmapiiri, erityisesti presidentti Trumpin toisella kaudella, viittaa tämän tekstin kirjoitushetkellä kuitenkin siihen, että kryptot eivät uhkaa dollarin asemaa vaan voivat vahvistaa sitä. Useimmat vakaavaluutat on sidottu dollariin, ja alan keskeiset toimijat ovat yhdysvaltalaisia.

Euro on tällä hetkellä maailman toiseksi tärkein valuutta noin 20 prosentin osuudella kansainvälisestä rahaliikenteestä. Euroalue kattaa 12 prosenttia maailman bruttokansantuotteesta. Digitalisaation ja web 3.0:n kehittyessä maksamisen tavat muuttuvat nopeasti, ja euron on pysyttävä kehityksessä mukana. (Cipolleno 2025) Keskuspankit ovat perinteisesti suhtautuneet kryptovaluuttoihin varauksella. Suurin osa virtuaalivaluutoista ei rinnastu perinteiseen rahaan vaan enemmänkin osuuteen kyseisestä kryptoprojektista. Vakaavaluutat taas ovat fiat-valuuttaan sidottuja ja muodostavat tärkeän solmukohdan perinteisen fiat-valuutan ja virtuaalivaluutan välille. Virtuaalivaluuttojen, erityisesti vakaavaluuttojen, laaja käyttö voi Euroopan keskuspankin arvion mukaan heikentää rahapolitiikan vaikutuskannavia ja sitä kautta finanssivakautta (Adachi, Mitsutoshi et al. 2020). Toisaalta keskuspankit näkevät kryptopohjaisissa innovaatioissa potentiaalia rahoituspalveluiden tehostamiseen ja niiden saavutettavuuden parantamiseen.

Tämän vuoksi keskuspankit eri puolilla maailmaa tutkivat mahdollisuutta laskea liikkeeseen omia digitaalisia valuuttojaan. Keskuspankin digitaalinen valuutta (CBDC, Central Bank Digital Currency) tarkoittaa valtion liikkeeseen laskemaa sähköistä rahaa, joka olisi suoraan kansalaisten ja yritysten käytettävissä keskuspankkirahana. Euroalueella tätä konseptia kutsutaan digitaaliseksi euroksi. (Jones 2023) Digitaalinen euro on vielä kehitysvaiheessa, ja sen käyttöönoton on arvioitu voivan ajoittua vuoteen 2028. Se ei kuitenkaan korvaisi käteistä, kuten seteleitä ja kolikoita, vaan toimisi niiden rinnalla täydentävänä maksutapana arjen maksutilanteissa – kaupassa, verkossa, ihmisten välillä ja julkisissa maksuissa. Digieuro olisi keskuspankin hallinnoima ja kontrolloima rahamuoto (Suomen pankki 2025).

Digitaalinen euro voi avata mahdollisuuksia tulevaisuuden innovaatioille ja tukea samalla EU:n tavoitetta vahvistaa strategista autonomiaansa, erityisesti suhteessa yhdysvaltalaisiin maksujättiläisiin, kuten Visaan ja Mastercardiin. Tavallisetkin pankit joutuvat reagoimaan ohjelmoitavan rahan ja digitaalisen keskuspankkirahan (ks. kuva 3, Bank of International Settlements 2022). Avaamme tätä teknologista murrosta alla olevalla arvoketjukuvalla sekä kuvitteellisella esimerkillä älykkästä liikenteestä.



KUVA 2. Virtuaalivaluutat ja älysopimukset muodostavat uudenlaisia arvoketjuja ja palvelumalleja.

Lähde: Sitra

Esimerkki: Älykäs liikenne**– ohjelmoitavan rahan arvoketju käytännössä**

Tulevaisuudessa hajautetusti toimivat tekoälyagentit, ohjelmoitava raha ja älysopimukset tekevät kuljetusalan toiminnasta nykyistä sujuvampaa. Kuvitteellisessa esimerkissämme eri toimijat, kuten kuljetusyhtiö, tietulliviranomaiset, pysäköintiyhtiöt ja kirjanpitäjät, toimivat kaikki samassa automatisoidussa palveluverkostossa.

Kuljetusyhtiön kuljettaja on ajamassa kuorma-autolla toiseen valtioon toimittaakseen asiakkaan tilauksen perille. Tekoälyagentti hoitaa kuljettajan puolesta maksut, kuten tietullit ja pysäköintimaksut. Lisäksi kuljetusyhtiö on hiljattain ottanut käyttöön automaatiota, jolla kuljetukseen liittyvät ilmoitukset kirjanpitoon ja verottajalle hoituvat reaaliaikaisesti. Palvelun liikkeellelaskijana toimii tunnettu saksalainen automerkki, jonka Suomessa toimiva alihankkija ”Älyliikenne Oy” hallinnoi älysopimuksia ja tekoälyagentteja. Tekoälyagentti toimii virtuaalisena avustajana, joka tekee päätöksiä käyttäjän puolesta palveluehtojen, tekoälyn ja älysopimusten pohjalta.

Kuljettaja hyväksyy palvelun ehdot ja hyödyntää tekoälyagenttia matkoillaan. Kun autolla ylitetään kansallisvaltion rajat, toimitaan monesti useilla eri valuutta-alueilla. Kun auto lähestyy tietullia tai ajaa parkkihalliin, agentti huolehtii maksusta ja tarvittaessa solmii automaattisesti sopimuksen uuden palveluntarjoajan kanssa ennalta määriteltujen sääntöjen mukaisesti hyödyntäen älysopimuksia ja digitaalista maksurahaketta.

Koska kyseessä on työmatka, tekoälyagentti toimittaa maksukuitin suoraan kirjanpitoon, liittää siihen selitteen kuljettajan kalenterista ja laatii valmiin pohjan ALV-vähennystä varten. Näin säästyy aikaa ja manuaalista työtä.

Tämä kuvitteellinen esimerkki perustuu laajaan ekosysteemiin, jossa eri toimijat – tietulliviranomaiset, pysäköintiyhtiöt, kirjanpitäjät – ovat teknisesti integroituneet järjestelmään. Keskiössä on ohjelmoitava raha, joka yhdistyy älysopimuksiin ja tekoälyn muodostaen uudenlaisen, automatisoidun palveluverkoston. Esimerkin ohjelmoitava raha voi perustua virtuaalivaluuttaan, vakaavaluuttaan tai keskuspankin digitaaliseen valuuttaan.

Johtopäätökset

Kryptovarallisuus on vakiinnuttamassa asemansa globaalissa talousjärjestelmässä

Virtuaalivaluuttojen, vakaavaluuttojen ja muiden digitaalisten rahakkeiden käytön nopea kasvu kertoo niiden vakiintumisesta osaksi globaalia talousjärjestelmää. Ne haastavat perinteisiä rahoitusmalleja ja avaavat uusia mahdollisuuksia liiketoimintaan, sijoittamiseen ja maksamiseen. Samalla ne tuovat mukanaan riskejä, kuten systeemiriskejä, kyberturvahaasteita ja ympäristövaikutuksia.

Kryptoalan nousu merkitsee myös rahapoliittisen, kaupallisen ja teknologisen vallan uudelleenjakoa. EU, Yhdysvallat ja Kiina pyrkivät vahvistamaan omaa asemaansa digitaalisten keskuspankkivaluuttojen kehittämisen avulla ja tukemalla kotimaisten toimijoiden nousua. Digitaalinen varallisuus on muotoutumassa uudeksi omaisuusluokaksi, jonka ympärille syntyy uusia innovaatioita ja liiketoimintamalleja. Suomen on syytä varautua tähän muutokseen.

Virtuaalivaluutat heijastavat laajempaa teknologista ja geopoliittista murrosta

Kun tuottavuus tulevaisuudessa perustuu tekoälyyn ja automaatioon, taloudellinen toimeliaisuus ja varallisuusarvot kasvavat ja taloudellinen valta tulee jakautumaan uudella tavalla. Tekoälyagentit ja älysopimukset edellyttävät toimivia digitaalisia maksuvälineitä, mikä kiihdyttää virtuaalivaluuttojen ja niihin liittyvien teknologioiden tarvetta, mutta tuo mukanaan myös riskejä. Teknologinen valta liittyy infrastruktuurin hallintaan: lohkoketjut ja ohjelmistot mahdollistavat transaktioiden ohjaamisen, kustannusten hallinnan ja datan valvonnan. Autoritääriset valtiot voivat käyttää teknologiaa myös kansalaisten valvontaan.

Samaan aikaan geopoliittinen tilanne kiristyy. Strateginen kapitalismi, suurvaltakamppailu ja digiteknologian käyttö valtapolitiikan välineenä sekoittuvat. Virtuaalivaluutat ovat osa tätä dynamiikkaa, jossa EU pyrkii vahvistamaan omaa teknologista ja taloudellista itsemääräämisoikeuttaan. Suomen kannattaa toimia tässä muutoksessa osana EU:ta ja sen sisämarkkinaa hyödyntäen, mutta myös omaa kyvykkyyttään vahvistaen.

Sääntelyllä on ratkaiseva rooli – oikea tasapaino houkuttelee investointeja

EU:n sääntely luo perustan digitaaliselle luottamukselle ja markkinoiden ennustettavuudelle. Samalla yritykset tarvitsevat tukea raskaan sääntelytaakan hallintaan. Sääntelyteknologia (engl. Regulatory Technology, RegTech), josta finanssisektorilla on jo paljon kokemusta, voi vähentää sääntelyn tuomaa kuormaa esimerkiksi automatisoimalla raportointia.

Suomessa on syytä panostaa osaamiseen ja koulutukseen, digitaalisen varallisuuden selkeään verokohteluun, riittäviin valvontaresursseihin ja alan startup yritysten tukemiseen. Kilpailukykyinen sääntely-ympäristö voi houkuttaa Suomeen kasvu-

yrittäjiä ja investointeja. Web 3.0 on murrosteknologia, joka avaa mahdollisuuksia Suomelle. Mahdollisuuksiin pitää kuitenkin tarttua määrätietoisesti ja rivakasti, muuten jäämme jälkeen kehityksestä.

Pankkisektorin on valmistauduttava ohjelmoitavan rahan aikaan

Ohjelmoitava raha ja digitaaliset valuutat vaikuttavat perinteiseen finanssi- ja pankkitoimintaan. Samaan aikaan ne tuovat uutta kilpailua, mikä voi näkyä kansalaisille esimerkiksi alhaisempina kustannuksina, mutta toisaalta ne tarjoavat alalle mahdollisuuksia kehittää omaa liiketoimintaansa ja löytää uusia kasvun ajureita. Keskuspankkien digitaalivaluutat, kuten valmistelussa oleva digitaalinen euro, voivat parantaa maksujärjestelmien tehokkuutta ja vähentää EU:n riippuvuutta ulkopuolisista toimijoista.

Finanssitoimijoiden ja liikepankkien kannattaa kehittää omia järjestelmiään tukemaan tekoälyavusteista maksamista ja koneiden välistä taloudellista vuorovaikutusta. Älysopimusten hyödyntäminen vaatii osaamista, teknologista yhteensopivuutta ja luottamusta rakentavaa tietoturvaa.

Murros luo Suomelle tilaisuuden edelläkävijyyteen

Suomi voi nousta web 3.0:n ja kestävien lohkoketjuratkaisujen kärkimaaksi hyödyntämällä teknologiaosaamista, puhdasta energiaa ja digivalmiuksiaan. Startupeille ja fintech-yrityksille avautuu uusia kasvun mahdollisuuksia. Murroksen tuomiin mahdollisuuksiin tarttuminen edellyttää, että Suomi toimii aktiivisesti EU-tasolla ja vahvistaa omia kyvykkyyksiään. Alan johtavia digitaalisia toimijoita voi syntyä myös Suomessa. On myös varmistettava, että kaikki kansalaiset pääsevät mukaan digitaaliseen muutokseen. Saavutettavuus ja reiluus on rakennettava uusien palveluiden ytimeen, jotta suuri enemmistö voi alkaa niitä käyttämään.

Web 3.0 voi olla reilumpi – mutta se riippuu ihmisistä

Internetin kehitys on siirtymässä keskitettyjen alustojen ajasta kohti hajautettua internetiä, web 3.0:aa. Hajautettu arkkitehtuuri mahdollistaa digitaalisen varallisuuden siirron ilman välikäsiä, ja samalla se haastaa perinteiset sääntelymallit ja liiketoimintamallit. Virtuaalivaluutat, älysopimukset ja tekoälyagentit voivat automatisoida monimutkaisia maksutapahtumia, tehostaa toimintaa ja tukea uudenlaisien digitaalisten ekosysteemien rakentamista. Tämä edellyttää yhteentoimivaa digitaalista infrastruktuuria, turvallista tiedon liikkumista ja luottamusta teknologiaan. Web 3.0 voi vähentää suurten alustayritysten valtaa, lisätä kilpailua ja edistää innovaatioita. Hajautettu internet voi olla reilumpi ja läpinäkyvämpi, mutta se edellyttää uusia pelisääntöjä, turvallisuutta ja käyttäjälähtöistä suunnittelua.

Lopulta se, minkälainen vaikutus web 3.0:sta ja virtuaalivaluutoista tulee, riippuu meistä kaikista: yrittäjistä, lainsäätäjistä, järjestöistä, tutkijoista, kuluttajista, kansalaisista – se riippuu siitä, minkälaisia pelisääntöjä, teknologioita ja liiketoimintamalleja kehitämme jatkossa. EU:ssa web 3.0:aa tulee kehittää eurooppalaisten, demokratiaa ja ihmisoikeuksia kunnioittavien arvojen pohjalta.

Liite 1 – virtuaalivaluuttojen käsitekartta

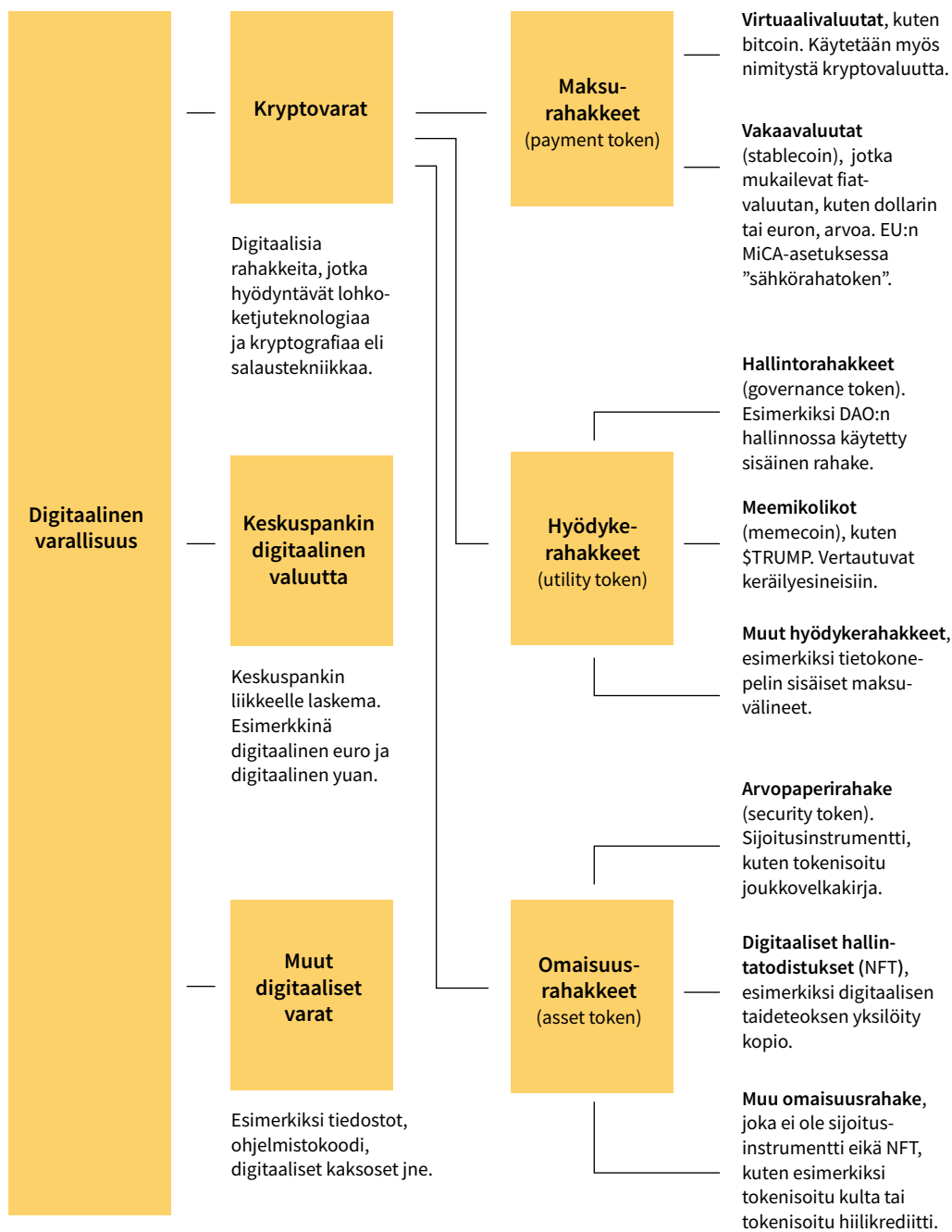
Virtuaalivaluuttaa käsitteenä sekä sen yhteyksiä muihin yleisessä käytössä oleviin käsitteisiin avataan oheisessa käsitekartassa.¹⁴ Käsitekartta eroaa osin EU:n krypto-varamarkkina-asetuksesta (MiCA).¹⁵

Digitaalinen varallisuus on kattokäsite, joka voidaan jakaa kolmeen eri alaryhmään:

1. Kryptovarot eli digitaalinen valuutta tarkoittaa digitaalisia rahakkeita, jotka hyödyntävät lohkoketjuteknologiaa ja kryptografiaa eli salaustekniikkaa. Kryptovarot voidaan jakaa kolmeen ryhmään: maksurahakkeisiin, hyödykerahakkeisiin ja omaisuusrahakkeisiin. Virtuaalivaluutat ovat yksi maksurahakkeiden muoto.
2. Toinen digitaalisen varallisuuden muoto on keskuspankin liikkeelle laskema digitaalinen valuutta. Jos keskuspankin digitaalinen valuutta hyödyntää lohkoketjuteknologiaa, se kuuluu määritelmällisesti myös kryptovarojen alaryhmään, maksurahakkeisiin. Kiinan digitaalinen yuan hyödyntää hybridimallia, jossa osa järjestelmästä perustuu lohkoketjuteknologiaan (People's bank of China 2021). Digitaalisen euron teknologioista ei ole vielä tehty lopullista ratkaisua (Euroopan keskuspankki 2024).
3. Muu digitaalinen varallisuus sisältää esimerkiksi digitaaliset tiedostot ja ohjelmistokoodin.

¹⁴ Muokattu ja päivitetty versio aiemmin julkaistusta käsitekartasta, joka oli osa Sitran julkaisua (Lindgren, Lindholm, Lehtonen et al, 2022).

¹⁵ Vakaavaluutoista käytetään MiCA-asetuksen suomennoksessa termiä ”sähkörahatoken” ja ”omaisuusreferenssitoken”. Kyseiset käsitteet eivät ole vakiintuneet eivätkä vastaa alan vakiintunutta englanninkielistä termistöä, siksi niitä ei ole käytetty lähtökohtana käsitekartassa, joka kuvaa ilmiötä. On tärkeää kuitenkin pystyä linkittämään käsitteet lainsäädännön käsitteisiin.



KUVA 3. Digitaalinen varallisuus jakautuu useisiin alaluokkiin, joista yksi on virtuaalivaluutat

Liite 2 – Sanasto

Sana	Selite
Arvopaperirahake (security token)	Tarkoittaa digitaalista rahaketta, joka edustaa jonkin olemassa olevan omaisuuserän, kuten osakkeen, kiinteistön tai muun sijoituskohteen, omistusta. On tiukemman arvopaperisääntelyn alainen. Kaikki arvopaperirahakkeet ovat myös omaisuusrahakkeita.
Digitaalinen hallintatodistus (NFT)	Todistus oikeudesta digitaaliseen kopioon, jonka nykyinen haltija ja hallinnan siirtohistoria on varmistettu lohkoketjuteknologian avulla.
Digitaalinen rahake (token, coin)	Rahake, joka kuvaa eri tahojen välillä vaihdettavaa asiaa lohkoketjussa. Rahake on yleiskäsite englannin kielen käsitteille ”coin” ja ”token”. Coin (suomeksi myös ”kolikko”) käyttää omaa lohkoketjua, kun taas token kuvaa rahaketta, joka on tehty olemassa olevan lohkoketjun päälle. Digitaalinen rahake voi edustaa arvoa (esim. kryptovaluutta), hallintaoikeutta (esim. digitaalinen hallintatodistus, NFT) tai sijoituksia (esim. osakkeita tai päätösvaltaa organisaatiossa). Muistuttaa mekanismiltaan reaali maailman poletteja).
Digitaalinen varallisuus	Tarkoittaa digitaalisessa muodossa olevaa arvon tai oikeuden kirjausta, jota voidaan tallentaa, siirtää ja vaihtaa sähköisesti.
Fiat-valuutta	Raha, jonka arvo ei perustu fyysiseen hyödykkeeseen, kuten kultaan, vaan valtion tai keskuspankin antamaan määräykseen. Latinan kielen ”fiat” tarkoittaa ”tapahtukoon”.
Hajautettu itsenäinen organisaatio (DAO)	Organisaatio, joka toimii itsenäisesti tai autonomisesti ilman normaalin organisaation johtoporrasta, ja hyödyntää lohkoketjuteknologiaa. Jäsenet ohjaavat toimintaa suoraan älysopimusten ja hallussaan olevien digitaalisten rahakkeiden avulla. Hajautettuja itsenäisiä organisaatioita voidaan pitää digitaalisen ajan osuuskuntina.
Hajautetun mallin rahoituspalvelu (DeFi)	Lohkoketjuteknologiaa ja digitaalisia rahakkeita hyödyntävä rahoituspalvelu, joka toimii itsenäisesti älysopimusten avulla ilman välikäsiä.
Hajautetut sovellukset (dAppit)	Sovelluksia, jotka toimivat lohkoketjuissa älysopimusten ohjaamina. Niiden avulla käyttäjät voivat esimerkiksi antaa tai ottaa lainaa ilman pankkia, käydä kauppaa tai ostaa vakuutuksia.
Hallintorahake (governance token)	Virtuaalivaluuttojen yhteydessä hallintorahake (governance token) tarkoittaa digitaalista rahaketta (tokenia), joka antaa haltijalleen oikeuden osallistua hajautetun järjestelmän tai projektin päätöksentekoon. Esimerkkinä DAO:n hallinnassa käytetty rahake.
Keskuspankin digitaalinen valuutta (CBDC, Central Bank Digital Currency)	Valtion liikkeeseen laskema sähköinen raha, joka on suoraan kansalaisten ja yritysten käytettävissä keskuspankkirahana.
Konsensusalgoritmi	Algoritmi, jonka avulla tietokoneiden muodostaman verkon käyttäjien tietokoneet muodostavat yhteisymmärryksen siitä, mikä data on virheellistä ja mikä oikeaa.

Kryptolompakko (tai digitaalinen lompakko)	Sovellus, joka mahdollistaa kaupankäynnin ja asioinnin digitaalisen laitteen tai verkkopalvelun kautta.
Kryptovarot (tai digitaalinen valuutta)	Digitaalinen rahake, joka hyödyntää lohkoketjuteknologiaa ja kryptografiaa eli salaustekniikkaa.
Lohkoketju (blockchain)	Jatkuvasti kertyvä hajautettu datakokonaisuus, jonka kaikki tapahtumat ovat aikajärjestyksessä, kaikkien osapuolten vahvistamia ja tallennettu niin, ettei mitään voi muuttaa tai väärentää.
Maksurahake (payment token)	Digitaalinen rahake, jonka keskeinen tarkoitus on toimia maksuvälineenä eli siirtää arvoa henkilöiden, yritysten tai sovellusten välillä.
Meemikolikko (memecoin)	Digitaalinen rahake, joka on saanut alkunsa internet-meemistä, vitsistä tai muusta humoristisesta ilmiöstä, mutta jota kuitenkin voidaan ostaa, myydä ja käyttää kuten muita kryptovaroja.
Ohjelmoitava raha	Digitaalinen raha, jota käytetään etukäteen määritettyyn tarkoitukseen, kuten älysopimusten avulla automatisoituun maksuun.
Omaisuuksurahake (asset token)	Tarkoittaa digitaalista rahaketta, joka edustaa jonkin omaisuusosan tai muun digitaalisen kopion omistusta tai arvoa. Tähän liittyvästä ilmiöstä käytetään nimitystä ”tokenisaatio”.
Osuuden varmenne (proof-of-stake)	Konsensusalgoritmi, joka varmistaa transaktion lohkoketjuun kiinnitettävien kryptorahakkeiden avulla.
Tehdyn työn varmenne (proof-of-work)	Konsensusalgoritmi, joka varmistaa transaktion koneellisen laskennan avulla.
Tekoälyagentti (AI agent)	Autonominen ohjelmisto tai järjestelmä, joka käyttää tekoälyä suorittaakseen tehtäviä itsenäisesti, ilman jatkuvaa ihmisen ohjausta.
Tokenisaatio (tokenisation)	Lohkoketjuteknologiaan perustuva prosessi, jossa omaisuuteen kohdistuva oikeus kytketään lohkoketjuun ja omaisuusluokkia muunnetaan digitaaliseen muotoon, rahakkeiksi (token).
Vakaav valuutta (stablecoin)	Kryptovaluutta, jonka tarkoituksena on mukailla olemassa olevien fiat-valuuttojen, kuten euron tai dollarin, arvoa.
Virtuaalivaluutta (tai kryptovaluutta)	Digitaalisessa muodossa olevia valuttoja, jotka eivät ole keskuspankin tai muun viranomaisen liikkeelle laskemia. Tunnetuin virtuaalivaluutta on bitcoin.
Web 3.0	Internetin kehitysvaihe, jonka tavoitteena on tarjota hajautettua päätöksentekoa ja kaupankäyntiä mahdollistavia palveluja.
Älysopimus (smart contract)	Lohkoketjuteknologialla toteutettu ohjelma, joka mahdollistaa arvoa sisältävien kohteiden automaattisen vaihdannan ennalta määritettyjen ehtojen avulla.

Kirjallisuus

Adachi, Mitsutoshi, Matteo Cominetta, Christoph Kaufmann & Anton van der Kraaij (2020) A regulatory and financial stability perspective on global stablecoins. *European Central Bank*. https://www.ecb.europa.eu/press/financial-stability-publications/macprudential-bulletin/html/ecb.mpbu202005_1~3e9ac10eb1.en.html (viitattu 20.4.2025).

Andersen, Derek (2024) Paxos acquires Membrane Finance for EU stablecoin expansion. *Cointelegraph* 19.11.2024. <https://cointelegraph.com/news/paxos-acquires-membrane-finance-eu-stablecoin-expansion> (viitattu 19.4.2025).

Asetus kryptovarojen markkinoista (EU) 2023/1114. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020PC0593>.

Aura, Heikki, Eugenio Reggianini & Erwin Voloder (2024) Understanding the role of tokenisation in the data economy. *Sitra* 25.6.2024. <https://www.sitra.fi/en/publications/understanding-the-role-of-tokenisation-in-the-data-economy/> (viitattu 27.4.2025).

Aura, Heikki, Thomas Brand et al. (2023) Miten kestävää maailmaa web 3.0 rakentaa? *Sitra*. <https://www.sitra.fi/julkaisut/miten-kestavaa-maailmaa-web-3-0-rakentaa/> (viitattu 19.4.2025).

Bank of International Settlements (BIS) (2022) The future of monetary system. Annual Economic Report 21.6.2022. <https://www.bis.org/publ/arpdf/ar2022e3.htm> (viitattu 20.4.2025).

Binance (2025) Ethereum dominates Q1 2025 DApp revenue with over \$1 billion in fees, outpaces base and arbitrum. 16.4.2025. <https://www.binance.com/en/square/post/04-16-2025-ethereum-news-ethereum-dominates-q1-2025-dapp-revenue-with-over-1-billion-in-fees-outpaces-base-and-arbitrum-22987287408978/> (viitattu 21.4.2025).

Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index. (2025) <https://ccaf.io/cbnsi/cbeci>. (viitattu 20.4.2025).

Chainalysis (2024) The 2024 Global Adoption Index: Central & Southern Asia and Oceania (CSAO) region leads the world in terms of global cryptocurrency adoption. 11.9.2024. <https://www.chainalysis.com/blog/2024-global-crypto-adoption-index/> (viitattu 18.4.2025).

Chainanalysis. "Preventing large-scale crypto hacks: Key security measures for exchanges." 6.3.2025. https://www.chainalysis.com/blog/preventing-crypto-hacks-best-practices-for-exchanges-hexagate/?utm_source=chatgpt.com Viitattu 21.4.2025

Cipollone, Piero (2025) The role of the digital euro in digital payments and finance. *European Central Bank* 28.2.2025. <https://www.ecb.europa.eu/press/inter/date/2025/html/ecb.in250228~7c25c90e4d.en.html> (viitattu 13.4.2025).

Coingecko (2025) Cryptocurrency prices by market cap – The global cryptocurrency market cap today is \$2.76 trillion. <https://www.coingecko.com/?items=300> (viitattu 18.4.2025).

CoinShares (2025) Interview: Lily Liu, president of Solana foundation. 6.2.2025. <https://coinshares.com/fi-en/insights/knowledge/solana-seeks-to-build-the-best-ecosystem-for-capital/> (viitattu 27.4.2025).

DappRadar (2025) Top ethereum apps.

<https://dappradar.com/rankings/protocol/ethereum> (viitattu 21.4.2025).

Duarte, Fabio (2025) How many cryptocurrencies are there in 2025? *Exploding Topics*

1.4.2025. <https://explodingtopics.com/blog/number-of-cryptocurrencies#cryptocurrency-stats> (viitattu 21.4.2025).

Dufva, Mikko & Sanna Rekola. (2023) *Megatrendit 2023 – ymmärrystä yllätysten aikaan.*

Tammikuu 2023. Sitran selvityksiä 224. <https://www.sitra.fi/julkaisut/megatrendit-2023/> (viitattu 21.4.2025).

Etymonline (2025) Fiat. <https://www.etymonline.com/word/fiat> (viitattu 27.4.2025).

Euroopan keskuspankki (2024) Kysyttyä digitaalisesta eurosta. 2.12.2024.

https://www.ecb.europa.eu/euro/digital_euro/faqs/html/ecb.faq_digital_euro.fi.html (viitattu 19.4.2025).

Finanssivalvonta (2025) Sääntely. <https://www.finanssivalvonta.fi/saantely/>

(viitattu 19.4.2025).

Forbes (2024) 7 Predictions for crypto in 2025: Bitcoin, ETFs & global adoption. 23.4.2024.

<https://www.forbes.com/sites/leeorshimron/2024/12/23/7-predictions-for-crypto-in-2025-bitcoin-etfs-global-adoption/> (viitattu 30.4.2025).

Forbes (2025) Crypto Presidency: How Trump is keeping his Bitcoin campaign promises.

10.4.2025. <https://www.forbes.com/sites/beccabratcher/2025/04/10/crypto-presidency-how-trump-is-keeping-his-bitcoin-campaign-promises/> (viitattu 30.4.2025).

Fortune (2022) Sam Bankman-Fried, Erik Voorhees and the battle for crypto's soul.

21.10.2022. <https://fortune.com/crypto/2022/10/21/sam-bankman-fried-erik-voorhees-and-the-battle-for-cryptos-soul/> (viitattu 20.4.2025).

Investing.com (2025) All cryptocurrencies.

<https://www.investing.com/crypto/currencies> (viitattu 6.10.2025).

Johansson, Patrik, Mikko Eerola, Antti Innanen & Juha Viitala (2019) *Lohkoketju.*

Helsinki: Alma Talent.

Jones, Marc. "Study shows 130 countries exploring central bank digital currencies."

Reuters. 29.6.2023. <https://www.reuters.com/markets/currencies/study-shows-130-countries-exploring-central-bank-digital-currencies-2023-06-28> Viitattu 20.4.2025.

K33 Research & EY (2024) *Nordic crypto adoption survey 2024.*

<https://www.ey.com/content/dam/ey-unified-site/ey-com/fi-fi/newsroom/2024/04/documents/ey-nordic-crypto-adoption-survey-04-2024.pdf> (viitattu 6.10.2025)

K33 Research & Nordic Blockchain Association (2025) Finnish Crypto Adoption Survey

2025. 28.3.2025.

Kippo, Johanna (2022) Sitra ja Kansallisgalleria hakevat oppia metaversumikehityksestä ja pilotoivat virtuaalista ja vuorovaikutteista taidenäyttelyä. *Sitra* 4.10.2022.

<https://www.sitra.fi/uutiset/sitra-ja-kansallisgalleria-hakevat-oppia-metaversumikehityksesta-ja-pilotoivat-virtuaalista-ja-vuorovaikutteista-taidenayttelya/> (viitattu 19.4.2025).

Kumar, Naveen (2025) How many cryptocurrencies are there in 2025? *Demandsage* 4.4.2025. <https://www.demandsage.com/number-of-cryptocurrencies/> (viitattu 18.4.2025).

Kurki, Lea (2023) Näistä web 3.0 -kokeiluista innostuimme: virtuaalista kulttuuria, urheilua ja kestävä ruoan kulutusta. *Sitra* 18.9.2023. <https://www.sitra.fi/uutiset/naista-web-3-0-kokeiluista-innostuimme-virtuaalista-kulttuuria-urheilua-ja-kestavaa-ruoan-kulutusta/> (viitattu 19.4.2025).

Laki virtuaalivaluutan tarjoajista 572/2019. *Finlex*. <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/saaduskokoelma/2019/572> (viitattu 27.4.2025).

Lehtonen, Kristo (2022) On Suomen etu ymmärtää paremmin, mistä web 3.0:ssa on kysymys. *Sitra* 30.3.2022. <https://www.sitra.fi/artikkelit/on-suomen-etu-ymmartaa-paremmi-mista-web-3-0ssa-on-kysymys/> (viitattu 13.4.2025).

Lindgren, Jaakko, Otto Lindholm, Kristo Lehtonen, Helena Mustikainen & Pyry Niikkonen (2023) 6+1 suositusta Suomelle – Miten sääntelyllä voidaan parantaa web 3.0 -liiketoiminnan edellytyksiä? *Sitran selvityksiä* 229. Helsinki: Sitra. <https://www.sitra.fi/julkaisut/61-suositusta-suomelle/> (viitattu 19.4.2025).

Liu, Jiageng, Igor Makarov ja Antoinette Schoar. Anatomy of a run: The Terra Luna crash. *National Bureau of Economic Research (NBER) Working Paper No. w31160*. 24.4.2024. <https://corpgov.law.harvard.edu/2023/05/22/anatomy-of-a-run-the-terra-luna-crash/>.

Membrane Finance (2024) Paxos to acquire Finnish E-Money institution Membrane Finance. 19.11.2024. <https://www.membrane.fi/blog/paxos> (viitattu 19.4.2025).

Mäkelä, Rosa-Maria, Otto Tähtkää & Jukka Vahti (2024) Ennakointikatsaus: Turvallisuusympäristön murros. *Sitra Ennakointikatsaus 1* 13.12.2024. <https://www.sitra.fi/julkaisut/ennakointikatsaus-turvallisuusympariston-murros/> (viitattu 19.4.2025).

Nakamoto, Satoshi (2009) Bitcoin open source implementation of P2P currency. Viesti sähköpostilistalla 11.2.2009. <https://satoshi.nakamotoinstitute.org/posts/p2pfoundation/1/> (viitattu 21.4.2025).

Nallapaneni, Dhiraj. Bitcoin vs. Solana: Investor's guide 2025. *CoinLedger*. 2025. <https://coinledger.io/tools/bitcoin-vs-solana> (viitattu 19.4.2025)

Osakesijoittaja.fi (2024) Mitä Bitcoinilla voi ostaa Suomessa vuonna 2024? <https://osakesijoittaja.fi/2024/09/mita-bitcoinilla-voi-ostaa-suomessa-vuonna-2024/> (viitattu 27.4.2025).

OSL. (2025) Hacks that strengthened crypto: Responses that build a safer future for all. 17.4.2025. https://osl.com/academy/article/hacks-that-strengthened-crypto-responses-that-build-a-safer-future-for-all?utm_source=chatgpt.com (viitattu 21.4.2025)

People's Bank of China (2021) Progress of research & development of E-CNY in China. Heinäkuu 2021. <http://www.pbc.gov.cn/en/3688110/3688172/4157443/4293696/2021072014364791207.pdf> (viitattu 13.4.2025).

Pew Research Center (2024) Majority of Americans aren't confident in the safety and reliability of cryptocurrency. 24.10.2024. <https://www.pewresearch.org/short-reads/2024/10/24/majority-of-americans-arent-confident-in-the-safety-and-reliability-of-cryptocurrency/> (viitattu 18.4.2025).

Rahkola, Markus. Katsaus lohkoketjuteknologioiden hyödyntämiseen Suomessa. Eduskunnan tulevaisuusvaliokunnan julkaisu 1/2019.

https://www.eduskunta.fi/FI/naineduskuntatoimii/julkaisut/Documents/NETTI_TUVJ_1_2019_Lohkoketjuteknologiat.pdf.

Reuters (2023) Study shows 130 countries exploring central bank digital currencies. 29.6.2023. <https://www.reuters.com/markets/currencies/study-shows-130-countries-exploring-central-bank-digital-currencies-2023-06-28> (viitattu 20.4.2025).

Reuters (2024) US bitcoin ETFs see \$4.6 billion in volume in first day of trading. 12.2.2024. <https://www.reuters.com/technology/spot-bitcoin-etfs-start-trading-big-boost-crypto-industry-2024-01-11/> (viitattu 30.4.2025).

Sarvodaya, Mike (2023) MiCA: The good, the bad and the ugly of the EU's crypto rules. *Cointelegraph* 30.8.2023. <https://cointelegraph.com/news/mica-good-bad-ugly-european-union-crypto-rules> (viitattu 19.4.2025).

Sitra (2022) Sitra ja Kansallisgalleria hakevat oppia metaversumikehityksestä ja pilotoivat virtuaalista ja vuorovaikutteista taidenäyttelyä. 4.10.2022. <https://www.sitra.fi/uutiset/sitra-ja-kansallisgalleria-hakevat-oppia-metaversumikehityksesta-ja-pilotoivat-virtuaalista-ja-vuorovaikutteista-aidenayttelya/> (viitattu 19.4.2025).

Statista (2025) Stablecoin – statistics & facts. 1.8.2025. <https://www.statista.com/topics/9553/stablecoin/#topicOverview> (viitattu 6.10.2025).

Stripe (2024) How long do international payments take? What to know about international wire transfers. 7.6.2024. <https://stripe.com/en-jp/resources/more/how-long-do-international-payments-take-what-to-know-about-international-wire-transfers> (viitattu 19.4.2025).

STT (2025) Kryptovaluuttojen omistus Suomessa kasvaa nopeasti – jo 11 % suomalaisista sijoittaa Bitcoinin ja muihin kryptovaluuttoihin. 28.3.2025. <https://www.sttinfo.fi/tiedote/71029102/kryptovaluuttojen-omistus-suomessa-kasvaa-nopeasti-jo-11-percent-suomalaisista-sijoittaa-bitcoiniin-ja-muihin-kryptovaluuttoihin?publisherId=6982-1247&lang=fi> (viitattu 18.4.2025).

Suomalainen, Kirsi (2023) Kieli kehittyi: Internetin kolmannen kehitysvaiheen käsitteitä. *Sitra* 13.2.2023. <https://www.sitra.fi/artikkelit/kieli-kehittyi-internetin-kolmannen-kehitysvaiheen-kasitteita/> (viitattu 19.4.2025).

Suomen pankki (2025) Digitaalinen euro. <https://www.suomenpankki.fi/fi/raha-ja-maksaminen/digitaalinen-euro/#:~:text=Digieuron%20aikataulu> (viitattu 20.4.2025).

Tekniikka & Talous (2023) Suomalainen kryptovaluutta EUROe aikoo jättiläiseksi – Vastaavilla valuutoilla käydään kauppaa vuosittain 8 000 miljardilla dollarilla. 24.6.2023. <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/suomalainen-kryptovaluutta-euroe-aikoo-jattilaiseksi-vastaavilla-valuutoilla-kaydaan-kauppaa-vuosittain-8000-miljardilla-dollarilla/d9b71281-be45-4ada-bd37-8e20466fb8bd> (viitattu 19.4.2025).

The White House (2025) Strengthening American leadership in digital financial technology. 23.1.2025. <https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/2025/01/strengthening-american-leadership-in-digital-financial-technology/> (viitattu 19.4.2025).

Tietokonekauppa.fi (2025) Bitcoin kryptovaluutta maksutapana. <https://tietokonekauppa.fi/info/18/Bitcoin%20maksutapana> (viitattu 27.4.2025).

U.S. Congress (2025a) Genius Act. S.1582.

<https://www.congress.gov/bill/119th-congress/senate-bill/1582> (viitattu 30.4.2025).

U.S. Congress (2025b) STABLE Act of 2025. H.R.2392.

<https://www.congress.gov/bill/119th-congress/house-bill/2392/text> (viitattu 30.4.2025).

U.S. House of Representatives (2025) Digital Asset Market Clarity Act of 2025. H.R.3633.

<https://www.congress.gov/bill/119th-congress/house-bill/3633/> (viitattu 6.10.2025).

Vereckey, Betsy (2023) How crypto investors behave — and why the industry needs regulation. *MIT Sloan* 4.12.2023. <https://mitsloan.mit.edu/ideas-made-to-matter/how-crypto-investors-behave-and-why-industry-needs-regulation> (viitattu 20.4.2025).

Verohallinto (2024) Verohallinto löysi viime vuonna 30 miljoonaa euroa ilmoittamatta jääneitä virtuaalivaluuttatuloja. 22.4.2024. <https://www.vero.fi/tietoa-verohallinnosta/uutishuone/lehdistötiedotteet/2024/verohallinto-loysi-viime-vuonna-30-miljoonaa-euroa-ilmoittamatta-jaaneita-virtuaalivaluuttatuloja/> (viitattu 27.4.2025).

World Bank Group (2024) Remittances remain resilient but likely to slow. 13.6.2024.

<https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2023/06/13/remittances-remain-resilient-likely-to-slow/> (viitattu 19.4.2025).

Kryptoekonomia ja digitalisaation tulevaisuus

VESA-VILLE PIIROINEN
CTO, Equilibrium Group

OLLI TIAINEN
CEO, Equilibrium Group

Johdanto

Ihmiskunnan tarina on kertomus siitä, kuinka olemme oppineet tekemään yhteistyötä yhä suuremmassa mittakaavassa. Muutamassa vuosituhanneessa olemme siirtyneet sadan hengen heimoista suuriin kaupunkivaltioihin, globaaleihin markkinoihin ja lopulta Internetin yhdistämiin maailmanlaajuisiin verkostoihin.

Kehitys on ollut mahdollinen, koska olemme kyenneet luomaan takeita siitä, miten yhteiskunta toimii – rakenteita, jotka synnyttävät luottamusta, ennustettavuutta ja turvaa ihmisten väliseen kanssakäymiseen ja taloudelliseen toimintaan. Näiden takeiden taustalla ovat perinteisesti olleet instituutiot: lait, säädökset, sopimukset sekä vakiintuneet mekanismit, jotka ohjaavat sääntöjen noudattamista ja tarjoavat keinoja erimielisyyksien ratkaisemiseksi.

Digitalisaatio ja erityisesti tekoäly vauhdittavat yhteiskuntien kehitystä, mutta samalla ne synnyttävät kriisejä, jotka koettelevat perinteisten **institutionaalisten takeiden** riittävyyttä.

1. **Eheyden kriisi** heikentää uskoa tiedon ja päätöksenteon luotettavuuteen: verkossa leviää valtavasti virheellistä tai tarkoituksella harhaan johtavaa sisältöä, ja monimutkaiset, läpinäkymättömät järjestelmät tekevät päätöksiä, joita ei aina voida valvoa tai perustella.
2. **Yksityisyyden kriisi** haastaa henkilötietojen suojaa. Kun dataa kerätään, yhdistellään ja hyödynnetään, se altistaa arkaluontoisten tietojen paljastumiselle ilman että käyttäjä on suostunut siihen tai on tietoinen paljastumisesta.
3. **Saatavuuden kriisi** nostaa esiin sen, että digitaaliset palvelut ovat riippuvaisia monimutkaisista ja haavoittuvista infrastruktuureista, joiden toiminta voi katketa teknisten vikojen, kyberhyökkäysten tai geopoliittisten häiriöiden seurauksena.

Modernin kryptografian ja lohkoketjujen myötä institutionaalisille takeille on syntynyt vaihtoehto: **kryptoekonomiset takeet**, jotka pohjautuvat kryptoekonomiaan. Kryptoekonomia on uusi tietojenkäsittelytieteen ja talousteorian rajapintaan sijoittuva ala, joka rakentaa luottamuksen suoraan osaksi teknologisia järjestelmiä yhdistämällä kryptografiaa, hajautettuja verkkoja, automatisoitua todentamista ja peliteoriaa ja virtuaalivaluuttoihin perustuvia kannustinjärjestelmiä. Näissä järjestelmissä sääntöjenmukaisuus ja toimintavarmuus voidaan varmistaa matemaattisesti ilman keskitettyjä välikäsiä tai perinteisiä instituutioita. Näin kryptoekonomiset takeet voivat ehkäistä turvattomat tai epätoivotut tapahtumat ennalta, toisin kuin institutionaaliset takeet, jotka yleensä toimivat vasta jälkikäteen valvonnan ja rangaistusten kautta.

Olemmekin tienhaarassa. Nykyiset instituutiot ovat digitalisaation nopeuden ja globaalin mittakaavan vuoksi ennennäkemättömän paineen alla ja muuttumassa ehkä lopullisesti. Samanaikaisesti instituutioille on ensimmäisen kerran tuhansiin vuosiin tarjolla vaihtoehto: kryptoekonomia. Keskeinen kysymys kuuluukin: miten meidän tulee kehittää seuraavan 25 vuoden aikana institutionaalisten ja krypto-ekonomisten takeiden yhteentoimivuutta, jotta voimme turvata kansalaisyhteiskunnan vakauden, toimivuuden ja demokraattiset arvot?

Tässä kirjoituksessa tarkastelemme kryptoteknologian nykytilannetta ja tulevaisuutta sekä sitä, miten kryptoekonomisia takeita voidaan hyödyntää yhteiskunnassa.

Digitalisaation haaste yhteiskunnalle

Modernit yhteiskunnat nojautuvat digitaalisiin järjestelmiin. Julkiset instituutiot tarjoavat digitaalisia palveluita, jotka käsittelevät arkaluontoista tietoa. Kun innovatiiviset yritykset rakentavat digitaalisia tuotteita ja palveluita, ne luottavat siihen, että infrastruktuuri toimii luotettavasti. Kansalaiset tarvitsevat palveluita, kuten verkkopankkia tai vahvaa sähköistä tunnistautumista, jotta he voivat toimia arjessa. Yhteiskunnan digitaalisista infrastruktuurista ja palveluista on tullut veden- tai sähkönjakelun kaltainen välttämättömyys. Näin ollen järjestelmien luotettavuus on kriittistä yhteiskunnalliselle vakaudelle sekä taloudelliselle ja henkilökohtaiselle hyvinvoinnille.

Jo vuosikymmeniä luottamus digitaalisiin järjestelmiin on pohjautunut perinteisiin luotettuihin tahoihin, kuten valtioon, pankkeihin ja muihin julkisen ja yksityisen sektorin instituutioihin. Valtioiden ja unionien sääntely on luonut standardeja digitaalisen tiedon käsittelyyn ja toimintamalleihin, joiden avulla instituutiot ovat pyrkineet turvaamaan luottamuksen myös digitalisaation aikakaudella.

Viimeisten vuosikymmenten aikana digitalisaation kehitys on haastanut perinteiset institutionaaliset takeet ennennäkemättömällä tavalla. Digitaalisten järjestelmien toiminta globaalissa mittakaavassa ylittää valtioiden rajat ja lainkäyttöalueet, minkä vuoksi sääntely on hajautunutta ja valvonta vaikeaa. Järjestelmien nopeus ylittää inhimillisen reagoitokyvyn, ja valtavien hajautettujen ja yksityisomisteisten datamäärien vuoksi kokonaisuutta on vaikea hallita. Se, että käyttäjät ovat näennäisesti nimettömiä, hämärtää vastuunjakoa ja heikentää sääntöjen toimeenpanoa. Institutionaalisten takeiden horjumista on vauhdittanut lisäksi se, että digitaalista infrastruktuuria ovat rakentaneet pääosin suuret ylikansalliset teknologiayritykset, joiden liiketoimintamallit ovat priorisoineet tiedonkeruuta käyttäjien yksityisyyden ja digitaalisen hyvinvoinnin kustannuksella. Teknologiayritysten sääntely on ollut hidasta ja vaikeasti sovitettavissa nopeasti muuttuneisiin rakenteisiin – ja se on toisinaan toiminut jopa esteenä eurooppalaisille toimijoille, samalla kun kansalaisoi-keuksien suoja on jäänyt riittämättömäksi.

Tekoälyn kehitys asettaa instituutiot suurimman haasteensa eteen. Erityisesti generatiivinen tekoäly kykenee tuottamaan hyperrealistista multimodaalista sisältöä – tekstiä, ääntä, kuvaa ja videota – jota on yhä vaikeampi erottaa todellisesta. Tämä hämärtää rajaa toden ja valheen, ihmisen ja koneen välillä. Se, että tekoäly otetaan käyttöön osana institutionaalisia päätöksentekojärjestelmiä, tarjoaa valtavat mahdollisuudet lisätä tuottavuutta mutta samalla myös ennakkoimattomia riskejä, jotka koskettavat demokratiaa, oikeusturvaa ja yksilönvapauksia. Tekoälyn hallitsematon mittakaava, sen synnyttämä informaatiotulva ja autonomisten agenttien yleistymisen haastavat nykyiset digitaaliset luottamusmallit äärirajoilleen. Jotta yhteiskuntien eheys, toimivuus ja kansalaisoikeudet voidaan turvata tekoälyn aikakaudella, tarvitaan uudenlaisia työkaluja luottamuksen ylläpitämiseen.

Kryptoekonomia vaihtoehtona instituutioille

Instituutioiden toiminnan ytimessä on kolme toimintoa, jotka yhdessä muodostavat yksinkertaistetusti eräänlaisen kirjanpitojärjestelmän: 1) tietojen kirjaaminen, 2) sääntöjen noudattamisen valvonta ja 3) tietoturva. Instituutiot ylläpitävät yhteisöille merkityksellistä tietoa – kuten omistuksia, oikeuksia ja päätöksiä – ja ohjaavat sääntöjen avulla sitä, miten tietoa päivitetään, kuka saa tehdä siihen muutoksia ja millä ehdoilla. Samalla ne valvovat, että järjestelmän pelisääntöjä noudatetaan. Institutionaaliset takeet luovat yhteiskunnan luottamuksen, ennustettavuuden ja turvan. Ne perustuvatkin instituutioiden kykyyn ylläpitää luotettavaa, tietoturvallista ja yhteisesti hyväksyttyä kirjanpitoa sekä kykyyn varmistaa se, että sääntöjä noudatetaan – viime kädessä pakkokeinojen turvin, jotka perustuvat valtion väkivaltamonopoliin eli sen yksinoikeuteen käyttää laillista fyysistä voimaa.

Institutionaalisten järjestelmien rinnalle on viime vuosina kehittynyt täysin uudenlainen tapa rakentaa luottamusta: kryptoekonomia. Kryptoekonomiset takeet rakentuvat yhdistämällä **kryptografian tekninen varmuus** ja **taloustieteen peliteoreettiset kannustinjärjestelmät**. Tavoitteena on luoda digitaalisia järjestelmiä, joissa luottamus ei perustu keskitettyihin toimijoihin tai viranomaisiin vaan järjestelmän rakenteeseen itsessään.

- Kryptografian avulla järjestelmän säännöt voidaan todentaa ja tarkistaa matemaattisesti etukäteen ja tarkistajasta riippumatta. Aivan kuten luotamme verkkopankkien salaukseen, voimme luottaa siihen, että kryptoekonomisessa järjestelmässä sääntöjä ei voi rikkoa huomaamatta.

- Peliteoria puolestaan tarjoaa työkalut suunnitella järjestelmiä, joissa yksittäisten osallistujien taloudelliset kannustimet ohjaavat heitä toimimaan yhteisen edun mukaisesti. Rehellisestä toiminnasta palkitaan, vilpillisestä toiminnasta rangaistaan. Näin syntyy digitaalisia verkkoja, joissa anonyymit toimijat voivat saavuttaa yksimielisyyden siitä, mikä on totta, vaikka osa verkosta yrittäisi huijata tai toimia virheellisesti.

Jos institutionaaliset takeet ovat kuin perinteiset liikenteen säätelykeinot – ajokielto-merkit, hidasteet ja kamera-valvonta, jotka yrittävät hillitä kaahaamista kaupungin pikkukaduilla – kryptoekonomiset takeet ovat kuin näkymätön voima, jonka vuoksi on mahdotonta ajaa ylinopeutta. Samalla ne voivat sisältää mekanismeja, jotka ohjaavat liikennettä automaattisesti vaihtoehtoisille reiteille ja jopa palkitsevat niitä, jotka auttavat purkamaan ruuhkaa. Kyse ei ole vain kieltojen valvonnasta vaan kannustimien järjestelämisestä uudelleen siten, että järjestelmän edun mukainen toiminta on myös yksilön kannalta kannattavin valinta.

Kryptoekonomia tarjoaa tekniset kyvykkyydet, joilla instituutioiden ”kirjanpito-järjestelmä” voidaan järjestää uudessa muodossa:

1. **Tietojen kirjaaminen:** Kryptoekonomisissa järjestelmissä kaikki hajautetun laskentaverkon osapuolet ylläpitävät suoritushistoriaa, joka on yhteinen ja kryptografisesti varmennettu. Näin osapuolet voivat olla yksimielisiä historiasta ja täten siitä, mikä on järjestelmän oikea nykytila ilman keskitettyä tietokantaa tai luotettua ylläpitäjää.
2. **Sääntöjen noudattamisen valvonta:** Tietokannan muutoksiin voidaan liittää suoritettavaa logiikkaa, kuten ehtoja, sääntöjä ja laskentaa, jotka verkko toteuttaa automaattisesti ja läpinäkyvästi. Näin säännöt voidaan toimeenpanna ilman inhimillistä tulkintaa tai jälkikäteistä valvontaa.
3. **Tietoturva:** Kryptografisten menetelmien avulla osapuolet voivat varmistaa tietokantamuutosten oikeellisuuden paljastamatta taustalla olevia arkaluontoisia tietoja. Näin käyttäjien yksityisyys ja tietojen luottamuksellisuus säilyvät, vaikka järjestelmä toimii ilman keskitettyä ylläpitäjää.

Seuraavaksi tarkastelemme näiden kryptoekonomisten kyvykkyyksien nykytilaa ja kehityssuuntaa. Jotta voimme havainnollistaa mahdollisuuksia, käytämme hypoteettisena esimerkkinä tulevaisuuden Kelaa – ”KryptoKelaa” – joka hyödyntää kyvykkyyksiä osassa keskeisimpiä palveluitaan.

VÄÄRENTÄMÄTTÖMÄT LOHKOKETJUT

Perinteiset institutionaaliset digitaaliset järjestelmät perustuvat tyypillisesti organisaation ylläpitämään sisäiseen tietokantaan, joka vastaa tiedon luotettavasta tallennuksesta ja suoritusten kirjanpidosta. Kryptoekonomisissa järjestelmissä tämä tallennusvarmuus perustuu hajautettuihin tilikirjateknologioihin (distributed ledger technology, DLT), kuten lohkoketjuihin. Lohkoketju on hajautettu tietorakenne, jossa tapahtumat kirjataan peräkkäisiin lohkoihin; jokainen lohko on kryptografisesti sidottu edelliseen, mikä tekee koko ketjusta muuttumattoman. Näissä järjestelmissä itsenäiset operaattorit ylläpitävät ajantasaisia ja keskenään yhdenmukaisia kopioita lohkoketjusta, ja jos kopioihin syntyy poikkeamia, ne havaitaan välittömästi kryptografisten menetelmien avulla.

Enemmistöpäätös lohkoketjun eheydestä ja ajantasaisuudesta varmistetaan hajautetun konsensuksen menetelmillä, jotka turvaavat peliteoriaan. Niistä tunnetuimmat ovat proof-of-work (PoW) sekä proof-of-stake (PoS). PoW-konsensus vaatii operaattoreita tuhlaamaan laskentatehoa eli energiaa, jotta ne saisivat lisätä uusia lohkoja ketjuun. Tämä tekee väärinkäytöksistä – kuten verkon valtaamisesta – erittäin kalliita, sillä jotta hyökkääjä onnistuisi siinä, hänen täytyy hallita enemmistöä laskentatehosta. PoS-konsensus vaatii operaattoreilta pääomaa vakuudeksi, jotta verkon toiminta voidaan turvata. Osallistumisoikeus ja palkkiot riippuvat panoksesta, ja väärinkäytöksistä voidaan rangaista suoraan siten, että hyökkääjä menettää vakuutena olevan pääoman. Molemmissa malleissa järjestelmän luotettavuus ei perustu luottamukseen yksittäisiä toimijoita kohtaan vaan siihen, että järjestelmä tekee epärehellisen toiminnan taloudellisesti kannattamattomaksi.

Lohkoketjun suoritusmerkintöjen eheys ja muokkaamattomuus varmistetaan ketjutettujen lohkojen ja niiden kryptografisten tiivisteiden (hash) avulla. Tiivisteiden avulla saadaan varmuus siitä, että ainoatakaan lohkoa tai niiden suoritusmerkintää ei pystytä muuttamaan huomaamatta. Tämän lisäksi jokainen suorituspyyntö ja operaattoreiden ehdottamat lohkot, jotka sisältävät suorituspyyntöjä, allekirjoitetaan digitaalisesti, jotta niiden tekijöiden identiteettiä ei voi väärentää. Näin lohkoketju toimii hitaana mutta auditoitavana, ehjänä ja turvallisena jaettuna tietokantana.

Miten hypoteettinen KryptoKela voisi hyödyntää lohkoketjuja? Kelan asiakkaat tekevät valtavan määrän etuushakemuksia, joista syntyy jatkuvasti uusia tilatietoja: hakemuksia, liitteitä, käsittelyvaiheita ja lopulta päätöksiä. KryptoKelassa tämä kaikki tallentuisi lohkoketjuun suorituksina, jotka yhdessä muodostavat sekä järjestelmän nykytilan että täydellisen, muuttumattoman historian. Asiakas näkisi, miten hänen hakemuksensa etenee ja milloin siihen on tehty päivityksiä. Järjestelmän ylläpitäjä ei voisi jälkikäteen muuttaa, poistaa tai väärentää tapahtumia ilman, että se havaitaan. Suomessa viranomaisiin luotetaan eikä Kelan kaltainen toimija kärsi luottamuspulasta. Siksi kryptoekonominen varmennettavuus ei itsessään välttämättä parantaisi paljon asiakaskokemusta. Lohkoketjuun pohjautuva järjestelmä tarjoaisi kuitenkin merkittäviä etuja teknisen saatavuuden ja yhteentoimivuuden näkökulmasta: KryptoKelan tietorakenne olisi kaikille yhteinen, läpinäkyvä

ja ennustettava – järjestelmä, jonka varaan voi rakentaa uusia palveluita niin, ettei tarvitsisi pelätä rajapintojen tai sääntöjen muuttumista yllättäen. Tämä on merkittävä parannus nykytilanteeseen, jossa instituutioiden välinen tiedonsiirto nojaa usein integraatioihin, jotka ovat työläästi räätälöitäviä ja hauraita.

Vaikka lohkoketjut tarjoavat uudenlaisia kyvykkyyksiä digitaalisten järjestelmien rakentamiseen, ne kohtaavat myös merkittäviä haasteita. Suurimmat ongelmat liittyvät niiden skaalautuvuuteen, konsensusmenetelmien tehokkuuteen ja oikeudenmukaisuuteen, lohkoketjujen yhteentoimivuuteen sekä digitaalisten allekirjoitusten käyttöön.

- Hajautetut lohkoketjut kamppailevat niin sanotun lohkoketjutrilemman kanssa: turvallisuuden, demokraattisen hajautuksen ja skaalautuvuuden samanaikainen optimointi on lähes mahdotonta.
- Konsensusmenetelmillä on omat heikkoutensa. PoW-konsensuksen energiankulutuksella ei ole ylärajaa, ja PoS-konsensuksen taipumusta keskittää valtaa ja varallisuutta suurimmille omistajille on vaikea estää. Lisäksi ongelmana on lohkoketjuverkon operaattoreiden vaikeasti hallittava vapaa arvon keruu (*maximal extractable value, MEV*), joka liittyy heidän vapauteensa järjestää suorituspyynnöt haluamallaan tavalla. MEV on pahimmillaan kuin sallisi osakemeklareiden käydä salassa osakekauppaa asiakkaitaan vastaan.
- Yhteentoimivuus eri lohkoketjujen välillä on sekin yhä ratkaisematon ongelma. Suoritusten “siltaaminen” ketjusta toiseen on hidasta ja riskialtista. Se on verrattavissa yritykseen yhdistää kaksi rataverkkoa, joiden raideleveys ei vastaa toisiaan.
- Lisäksi digitaalisten allekirjoitusten käyttöön liittyy vakavia haasteita. Allekirjoitus osoittaa vain, että tiettyä yksityisavainta on käytetty, ei sitä, kuka sen on käyttänyt. Mikäli avain päättyy väärin käsiin, hyökkääjä saa täyden pääsyn kaikkeen digitaaliseen omaisuuteen ja pääsyoikeuksiin, jotka on kirjattu kyseiselle osoitteelle. Tämä tekee avainten hallinnasta yhden koko järjestelmän haavoittuvimmista kohdista.

Koko kryptoekonomia-ala työskentelee näiden haasteiden korjaamiseksi kehittämällä muun muassa modularisoituja lohkoketjurakenteita, reilumpia konsensusmenetelmiä sekä uusia kryptografisia ratkaisuja skaalautuvuuteen ja identiteetin hallintaan.

AUTOMAATTISET SÄÄNNÖT JA SOPIMUKSET

Pelkkä suoritusten tallentaminen ja järjestelmän tilan jakaminen eri osapuolten kesken ei riitä useimmille yhteiskunnallisille tai liiketoiminnallisille sovelluksille. Julkisten ja yksityisten instituutioiden täytyy toiminnassaan noudattaa lukuisia lakeja, asetuksia ja sopimuksia, jotka sisältävät monimutkaisia ehtoja ja laskentäsääntöjä. Perinteisesti vastuu sääntöjen noudattamisesta on ollut instituutioilla itsellään. Kryptoekonomisissa järjestelmissä sääntöjen noudattaminen voidaan sen sijaan varmistaa teknisesti: ne toteutuvat automaattisesti, deterministisesti ja todennettavasti. Tämä tekee toiminnasta ennustettavampaa ja läpinäkyvämpää – mutta samalla korostaa sitä, että säännöt on määriteltävä tarkasti ja huolellisesti jo etukäteen.

Keskeinen työkalu kryptoekonomisessa logiikan ja laskennan automatisoinnissa on älysopimus (*smart contract*). Älysopimukset ovat tietokoneohjelmia, jotka suoritetaan lohkoketjuverkossa silloin, kun käyttäjä tai järjestelmä lähettää älysopimuspyynnön, joka aktivoi niissä määritellyn logiikan. Niitä voi ajatella digitaalisina sopimuksina, jotka eivät jää pöytälaatikkoon vaan toteutuvat automaattisesti aina, kun ehdot täyttyvät. Kun älysopimus aktivoituu, se tarkistaa järjestelmän senhetkisen tilan, suorittaa määritellyt säännöt ja päivittää järjestelmän tilaa tarpeen mukaan. Kaikki tämä tapahtuu läpinäkyvästi ja toistettavasti: kuka tahansa voi tarkistaa, mitä tapahtui, kenen suorittamana ja miksi. Älysopimukset julkaistaan pysyvästi osaksi lohkoketjua, kuten muutkin suoritukset, ja niiden logiikka on julkista. Kuka tahansa voi julkaista uuden älysopimuksen, eikä mikään keskitetty taho voi estää sitä.

Kryptoekonomisen logiikan ja laskennan ansiosta sääntöjen noudattaminen ei enää vaadi luottamusta yksittäisiin yksityisiin ja julkisiin instituutioihin. Sen sijaan se, että säännöt toteutuvat kaikille osapuolille, voidaan varmistaa hajautetun järjestelmän kautta automaattisesti, läpinäkyvästi ja todennettavasti. Esimerkkinä KryptoKelassa tämä tarkoittaa sitä, että kaikki ei-harkinnanvaraiset etuushakemukset voitaisiin käsitellä älysopimusten avulla. Älysopimus tarkistaisi automaattisesti, täyttyvätkö etuuden myöntämiseen vaaditut ehdot, ja päivittäisi järjestelmän tilan sen mukaisesti. Käsittelyprosessi olisi johdonmukainen, auditoitava ja sellainen, jossa inhimillisen virheen mahdollisuus on minimoitu. Myös hakemukset, jotka edellyttävät harkintavaltaa, voitaisiin kytkeä samaan järjestelmään. Tällöin se, onko ihmisen tekemä päätös oikea, voitaisiin varmentaa kryptografisena todisteena, jonka pätevyyden älysopimus voi todentaa. Kryptoekonomiset takeet mahdollistaisivat KryptoKelalle myös oman virtuaalivaluutan, jota käytettäisiin etuuksien maksamiseen ja jonka käyttöä voitaisiin ohjelmallisesti rajata täsmällisemmin kuin euromääräisiä maksuja.

Älysopimusten avulla on mahdollista suoraviivaistaa digitaalisia palveluita, jotka nojaavat sääntöpohjaiseen päätöksentekoon, vähentää hallinnollista työtä ja tarjota uudenlaisia, demokraattisempia päätöksentekomalleja. Niiden vaikutukset ulottuvat niin nykyisten, keskitettyjen digitaalisten järjestelmien ja laillisten sopimusten

tehostamiseen ja automatisointiin kuin uusiin innovatiivisiin sääntöpohjaisiin järjestelmiin, kuten hajautettuihin finanssipalveluihin (*decentralized finance, DeFi*) ja autonomisiin päätöksenteko-organisaatioihin (*decentralized autonomous organization, DAO*).

Ohjelmoitavat mutta todennettavat luottamusjärjestelmät helpottavat yhteistointia ihmisten ja koneiden välillä: kun yhä useampi osa päätöksenteosta voidaan delegoida älysopimuksille, voidaan päätöksentekoketjuja ja järjestelmiä rakentaa yhä nopeammin. Esimerkiksi tekoälyagentin päätöksenteko voidaan liittää osaksi todennettavaa luottamusjärjestelmää: jos tekoälymallin sisäisen päättelyketjun oikeellisuus on tiivistetty kryptografiseksi todisteeksi, sen oikeellisuus voidaan varmistaa luotettavasti ja automatisoidusti. Tällöin agentti voidaan liittää saumattomasti osaksi hajautettua järjestelmää, jossa se voi optimoida koko prosessia turvallisesti ja ilman tarvetta luottaa yksittäisiin toimijoihin. Vastaavaa ei voida saavuttaa järjestelmissä, jotka perustuvat ihmisten valvontaan, ilman merkittäviä riskejä tietoturvalle tai yksityisyydelle.

Älysopimusten suurimmat haasteet eivät liity niiden todennettavaan suoritukseen vaan siihen, onko ne oikein ja luotettavasti toteutettu. Lohkoketjun muuttumattomuus korostaa tätä ongelmaa: kun älysopimus on julkaistu, sen muuttaminen on vaikeaa – ellei mahdotonta. Tilanne on verrattavissa satelliitin laukaisuun: jos jokin menee pieleen, sitä ei voi korjata lennosta. Näin ollen älysopimusten kehityksen vaatimustaso on jatkossakin korkea, mikä näkyy muun muassa niiden intensiivisenä testaamisena ja auditointina.

Käytännössä älysopimukset tarvitsevat usein pääsyä järjestelmän ulkopuoliseen tietoon – kuten pörssihintoihin, säätietoihin tai sosiaalisen median sisältöön – jota ne eivät voi itsenäisesti varmistaa. Tätä kutsutaan oraakkeli-ongelmaksi: ulkopuoliseen ”oraakkeliin” eli viestintuojaan täytyy luottaa, vaikka sen tuomaa tietoa ei voida täydellä varmuudella todentaa, mikä heikentää kryptoekonomisten takeiden vahvuutta.

Koska ala on tietoinen ongelmista, se kehittää jatkuvasti parempia ratkaisuja, kuten älysopimusten erityispiirteet huomioivia standardeja, formaalin analyysin menetelmiä ja tekoälyavusteista auditointia. Lisäksi kehitetään oraakkeli-järjestelmiä, jotka ovat peliteoreettisesti suojattuja ja hajautettuja ja joiden avulla ulkopuolinen tieto voitaisiin tuoda osaksi järjestelmää ilman, että luottamus olisi kiinni yksittäisistä toimijoista.

Siihen, että perinteiset ohjelmat siirrettäisiin laajamittaisesti älysopimuksiksi lohkoketjuihin, liittyy niin ikään merkittäviä haasteita. Yksi keskeinen este on se, että älysopimusten suoritussympäristöjen tehokkuus ja käytettävyyys ovat rajallisia verrattuna institutionaalsiin pilvipalveluihin, kuten Amazon Web Services tai Microsoft Azure. Kryptografian käyttö järjestelmän turvaamiseen vaatii merkittävästi enemmän laskentatehoa kuin järjestelmät, joissa siihen ei nojata – eikä ole toden-

näköistä, että tätä eroa voidaan kuroa umpeen edes tulevilla prosessorikehityksellä. Esimerkiksi täysin älysopimus pohjaisia videopelejä ei tämän vuoksi todennäköisesti tulla koskaan näkemään. Lisäksi älysopimusten käyttö sovelluksissa ja digitaalisissa lompakoissa on yhä teknisesti monimutkaista ja altistaa käyttäjät virheille ja väärinkäytöksille. Käyttökokemus ei ole vielä saavuttanut sitä yksinkertaisuutta ja turvallisuutta, jota laajat yleisöt edellyttävät.

Tilanne kuitenkin kehittyy nopeasti. Suoritusympäristöjä ja käyttökokemusta optimoidaan jatkuvasti, uudet käyttöliittymäkonseptit, kuten älysopimuslompakot sekä niin sanotut aieperustaiset (*intent-based*) suorituspyyntömallit, yksinkertaistavat käyttökokemusta ja parantavat turvallisuutta.

VARMENNETTU TIETOTURVA

EU:n tietosuoja-asetuksen eli GDPR:n myötä yksityisten ihmisten oikeudet digitaalisessa maailmassa ovat periaatteessa hyvin suojattuja. Käytännössä suoja on kuitenkin riittämätön: jos arkaluontoiset tiedot vuotavat julkisuuteen, jälkikäteiset sanktiot instituutille, joka on rikkonut tietosuoja-asetusta, eivät enää korvaa vahinkoa. Vastaavia haasteita kohtaavat myös yritykset ja viranomaiset: niiden täytyy toisinaan jakaa luottamuksellista tietoa – esimerkiksi sopimusneuvotteluissa tai sääntelyvelvoitteiden vuoksi – vaikka tällaisen tiedon vuotaminen olisi katastrofaalista.

Kryptoekonomisten takeiden ainutlaatuinen vahvuus on siinä, että niiden avulla on mahdollista varmistaa yksityisyys ja luottamuksellisuus teknisesti. Modernin kryptografian ansiosta tietoa ei tarvitse paljastaa, vaikka sen oikeellisuus tai ehtoihin perustuva käsittely voidaan silti varmentaa. Tämän taustalla ovat niin sanotut yksityisyyttä parantavat teknologiat (*privacy enhancing technology, PET*):

- Nollatietotodisteiden (*zero-knowledge proofs, ZKP*) avulla voi todentaa väitteitä paljastamatta yksityisiä tietoja.
- Turvallinen monitaholaskenta (*secure multi-party computation, MPC*) tarjoaa keinot jaettuun laskentaan ilman tietojen paljastamista.
- Homomorfinen salaus (*fully homomorphic encryption, FHE*) kykenee laskentaan täysin salatulla datalla.

Nollatietotodisteet ovat keino todistaa jokin väite oikeaksi ilman, että itse tietoa täytyy paljastaa. Se on kuin passi, joka todistaa kantajansa olevan täysi-ikäinen paljastamatta nimeä, sukupuolta tai edes tarkkaa syntymävuotta. Nollatietotodisteita voi jopa ketjuttaa: niiden avulla on teoriassa mahdollista tiivistää loputon väitteiden ketju yhteen todistukseen – kuten todistaa koko lohkoketjun historian eheys tai kokonaisen kansakunnan älysopimusten kaikkien suoritusten oikeellisuus – jopa silloin kun osa tai mikään väitteisiin liittyvistä tiedoista ei ole julkista tietoa. Vaikka nollatietotodisteiden luominen vaatii paljon laskentatehoa, niiden tarkastaminen on nopeaa ja helppoa. Tämä epäsymmetria – eli se, että todisteen tarkistaminen on

paljon kevyempää kuin sen luominen – ja kyky ketjuttaa todisteita mahdollistavat täysin uudenlaisia digitaalisia luottamusrakenteita. Kuvitellaan järjestelmä, jossa yksityiset käyttäjät luovat omilla laitteillaan todisteita omasta toiminnastaan – esimerkiksi siitä, että henkilön tulot alittavat tietyn rajan, joka mahdollistaisi tuen myöntämisen – ilman että hänen tarvitsee paljastaa koko tiliotettaan tai palkkalaskelmaansa. Nämä yksityiset, luottamukselliset todisteet voidaan yhdistää julkisiin ja tarkistettaviin todisteisiin, jotka on tuotettu suuremmissa konesaleissa. Näin syntyy hybridimalli, jossa yksittäisten toimijoiden yksityisyys säilyy mutta järjestelmän kokonaisluotettavuus voidaan varmentaa läpinäkyvästi ja tehokkaasti.

Turvallinen monitaholaskenta on menetelmä, jonka avulla useat osapuolet voivat laskea yhdessä jonkin tuloksen ilman, että kukaan joutuu paljastamaan omia lähtötietojaan. Esimerkiksi ryhmä ihmisiä voi selvittää keskiarvopalkkansa niin, ettei yksikään osallistuja näe muiden palkkoja. Laskenta säilyy turvallisena niin kauan kun edes yksi osallistujista toimii rehellisesti. Monitaholaskenta onkin yleistynyt kryptoekonomian työkaluna tilanteissa, joissa pitää käsitellä jaettua salaisuutta. Tällaisia tilanteita ovat esimerkiksi yhteisen allekirjoitusavaimen luominen tai nollatietotodistuksen laskentakuorman jakaminen. Monitaholaskenta mahdollistaa yhteistoiminnan ja luottamuksen myös silloin, kun osallistujat eivät halua tai voi paljastaa toisilleen arkaluonteista tietoa.

Homomorfisen salauksen ansiosta salattua tietoa voidaan käsitellä ja muokata ilman että salausta tarvitsee koskaan purkaa. Toisin sanoen kolmas osapuoli – kuten pilvipalvelu tai laskentaverkko – voi suorittaa monimutkaisia laskutoimituksia arkaluonteisilla tiedoilla ilman, että se saa koskaan tietää, mitä tiedot sisältävät. Lopputuloksena syntyy edelleen salattu vastaus, jonka vain tiedon alkuperäinen omistaja voi purkaa näkyväksi. Menetelmä sopii erityisesti tilanteisiin, joissa tietoa halutaan käsitellä tehokkaasti ulkoisessa laskentaympäristössä – esimerkiksi tekoälymallien tai terveydenhuollon laskentaprosessien osana – mutta joissa on samalla kriittistä säilyttää täysi tietosuojaja luottamuksellisuus koko käsittelyn ajan. Se avaa mahdollisuuden keskitettyyn mutta turvalliseen tietojenkäsittelyyn, jossa yksityisyydestä ei tarvitse tinkiä edes monimutkaisen analytiikan tai päätöksenteon yhteydessä.

PET-teknologioiden tarjoamat kyvyt, jotka ovat olleet aiemmin mahdottomia, avavat ovia digitaalisille järjestelmille, joissa yksityisyyden turvaavaa ja luottamuksellista laskentaa ja logiikkaa voidaan suorittaa sekä keskitetysti että hajautetusti. Esimerkiksi KryptoKelassa toimeentulotuen asiakkaat voisivat toimittaa tukihakemuksensa yhteydessä nollatietotodisteen pankistaan sen sijaan, että toimittaisivat tilin otteen. Näin he voisivat todistaa sen, että he täyttävät tuen vaatimukset, kertomatta yksityiskohtaisesti rahankäytöstään. Kun PET-teknologiat kehittyvät, ne voivat muuttaa laajalti esimerkiksi terveydenhuoltoa, finanssialaa ja muita säänneltyjä aloja mahdollistamalla välttämättömän tietojenkäsittelyn ilman tarpeetonta tiedon jakamista.

Vaikka PET-teknologiat avaavat uusia sovellusalueita yksityisyyden ja luottamuksellisuuden turvaamiseen, niiden laajaa käyttöönottoa hidastavat edelleen merkittävät haasteet. Suurimmat pullonkaulat liittyvät suorituskyykyyn ja sovelluskehityksen vaikeuteen. Kaikki kuvatut menetelmät ovat moninkertaisesti hitaampia ja kalliimpia kuin vastaavat perinteiset ei-todennettavat laskentamenetelmät – nykyinen suorituskyyky laahaa vuosikymmeniä nykytietokoneiden laskentatehoa perässä. Rajoitteiden selättäminen vaatii sekä merkittäviä edistysaskeleita siruteknologiassa että panostuksia kryptografian perustutkimukseen – tehokkaampiin algoritmeihin ja standardisoiuihin rajapintoihin, jotka ovat edellytyksenä sille, että suuria luottamuksellisia järjestelmiä voidaan rakentaa. Lisäksi PET-algoritmeihin kohdistuu tulevaisuudessa akuutti kvanttilaskennan uhka, mikä tekee kvanttiturvallisten vaihtoehtojen kehittämisestä yhden suurimmista kehityshaasteista. Pitkällä aikavälillä on myös sovittava selkeistä sääntelykehyksistä, jotta yksityisyyden ja institutionaalisten viranomaistarpeiden välille löydetään tasapaino.

Kryptoekonomian kaksi tulevaisuutta

Digitalisaation kriisi ratkaistaan lähivuosikymmeninä kryptoekonomisten keinojen avulla. Silti on vaikea ennustaa, miltä nämä ratkaisut tarkalleen näyttävät, sillä teknologian kehitystä ohjaavat kaksi eri suuntaan vetävää ideologiaa: integrationalismi ja disruptionismi. Näiden ideologioiden ymmärtäminen auttaa hahmottamaan, miten kryptoekonomia voi muovata tulevaisuuden yhteiskuntaa.

Integrationalistit uskovat, että kryptoekonomian suurin arvo syntyy, kun se integroidaan osaksi nykyisiä instituutioita. He toimivat järjestelmän sisällä, sen sääntöjen mukaan, ja pyrkivät kehittämään yhtä aikaa sääntelyä ja teknologiaa. Heille keskeistä on saavuttaa ensin yhteinen ymmärrys säännöistä, joiden puitteissa kryptoteknologiat voivat tukea demokraattisten yhteiskuntien toimivuutta ja turvallisuutta. Integrationalistit näkevät digitalisaation kriisin monisyisenä mutta hallittavissa olevana haasteena. He käyttävät kryptoekonomisia työkaluja ja todennettavaa tekoälyä, jotta he voisivat rakentaa vakaampia, tehokkaampia ja läpinäkyvämpiä järjestelmiä demokraattisten prosessien sisällä. He suhtautuvat superälykkääseen tekoälyyn vakavana riskinä ja uskovat, että sitä on hallittava rakentamalla järjestelmiä, joiden toiminta voidaan todentaa ja jotka noudattaisivat yhteiskunnan arvoja ja viranomaisvaatimuksia. Siksi he vaativat sääntelyä järjestelmille, joiden toimintaa ei voida todentaa.

Disruptionistit sen sijaan katsovat, että yhteiskunta hyötyy eniten luovasta tuhosta, jossa vanhat rakenteet korvataan uudella. He suosivat sääntelyn ulkopuolisia ympäristöjä ja näkevät, että järjestelmät, jotka perustuvat kansallisvaltioihin, jarruttavat teknologista kehitystä. Heidän maailmassaan kryptoekonomiset takeet luovat itsenäisen järjestelmän, joka takaa vapauden, nopean innovoinnin ja turvan keskittämistä vastaan. Toisin kuin integrationalistit, disruptionistit pitävät digitalisaa-

tion kriisejä todisteina siitä, että nykyiset yhteiskuntarakenteet ovat peruuttamattomasti rikki. He käyttävät samoja kryptoekonomisia työkaluja mutta rakentavat niiden avulla kokonaan uudenlaista, hajautettua digitaalista yhteiskuntaa, joka on kestävämpi vallankäytön, manipuloinnin ja sensuurin uhkia vastaan, joita voivat aiheuttaa niin ihmiset kuin tekoälykin. He tunnistavat superälykkään tekoälyn riskit mutta näkevät sen ennen kaikkea mahdollisuutena kiihdyttää kehitystä. Monet disruptionistit uskovat, että kryptoekonomiset työkalut – ei sääntely – ovat paras tapa varmistaa, että tekoäly palvelee ihmiskuntaa.

Todellisuudessa se, että toimialaa kehittävät jaotellaan integrationalisteihin ja disruptionisteihin, ei ole mustavalkoista vaan pikemminkin jatkumo. Lisäksi molemmissa ajatussuuntauksissa on rehellisiä ja epärehellisiä toimijoita. Integrationalistien joukossa on niitä, jotka pitävät yksityisyyden ja demokratian säilyttämisestä keskeisenä ja haluavat rakentaa sääntelyä, joka tukee teknologian turvallista käyttöönottoa. Toisaalta mukana on myös tahoja, jotka pyrkivät käyttämään sääntelyä työkaluna kilpailijoiden kamppailmiseen. Osa disruptionisteista edistää vilpittömästi algoritmista reiluutta ja autonomista demokratiaa ilman tarvetta perinteisten instituutioiden sääntelylle. Toiset hyödyntävät teknologian keskeneräisyyksiä kuten monimutkaisuutta ja vaikeakäyttöisyyttä oman etunsa tavoitteluun ja huijauksiin.

Miltä digitalisaation kriisin kryptoekonomiset ratkaisut sitten näyttävät? Sekä integrationalistit että disruptionistit hyödyntävät kryptoekonomisen luottamusjärjestelmän kyvykkyys – mutta eri lähtökohdista ja eri tavoittein.

Integrationalistien ratkaisuissa kryptoteknologiat otetaan käyttöön osana olemassa olevia instituutioita ja sääntelykehystä. Teknologioita ei rakenneta vaihtoehtoksi vaan tueksi.

- **Eheyden kriisi:** Integrationalistit vaativat lohkoketjuteknologian käyttöä, jotta tiedon tallennus ja käsittely instituutioissa olisi eheää ja auditoitavaa. Nollatietotodisteilla voitaisiin todennetusti osoittaa, että vaadittu tietojen eheys on saavutettu. Nämä todistukset kirjattaisiin esimerkiksi EU-tason lohkoketjuun.
- **Yksityisyyden kriisi:** Tavoitteena on rakentaa säädelty, turvallinen informaatioympäristö, jossa pääsy tietoon on kontrolloitua ja auditoitua. Kryptoekonomiset takeet varmistavat, ettei tekoäly eikä ihminen pääse käsiksi luottamukselliseen tietoon luvatta edes instituution sisällä. Instituutioiden laskenta kaikella yksityisellä ja luottamuksellisella tiedolla olisi vahvasti säänneltyä. EU:ssa toimivilta instituutioilta vaadittaisiin salattua FHE-laskentaa, ja todisteet kirjattaisiin lohkoketjuun. Yritysten välisissä sopimuksissa liiketoimintasalaisuudet pysyisivät turvassa MPC-laskennalla ja nollatietotodisteet varmistaisivat sen, että sopimuksia noudatetaan.

- **Saatavuuden kriisi:** Kun tiedot ja laskenta varmistetaan lohkoketjun avulla, ne säilyvät saatavilla riippumatta yksittäisten toimijoiden häiriöistä. EU:ssa toimivat operaattorit vastaisivat saatavuuden turvaamisesta, ja yhteensopivat siltateknologiat globaalien lohkoketjujen kanssa loisivat perustan myös ylikansallisen tietoinfrastruktuurin saatavuudelle.

Disruptionistit sen sijaan pyrkivät rakentamaan täysin uutta yhteiskuntaa:

- **Eheyden kriisi:** Disruptionistisessa yhteiskunnassa kaikki pyynnöt ja suoritukset kirjataan globaaliin lohkoketjuun. Vain sellainen data hyväksytään osaksi järjestelmää, jonka alkuperä voidaan todistaa – esimerkiksi fyysisistä sensoreista, jotka on kryptografisesti varmennettu. Tämän varmistamiseksi disruptionistit kehittävät kryptovaluuttapohjaisia kannustinjärjestelmiä, jotka houkuttelevat laitevalmistajia liittymään verkkoon. Ihmisyystodisteet erottelevat ihmisen ja tekoälyn, mikä disruptionistisessa yhteiskunnassa on uuden tekijänoikeusjärjestelmän perusta.
- **Yksityisyyden kriisi:** Disruptionistit hyödyntävät kryptoteknologiaa, jotta he voisivat luoda mahdollisimman yksityisen, salatun ja anonyymin informaatioympäristön, johon ulkopuoliset, kuten perinteisen yhteiskunnan viranomaiset ja instituutiot, eivät pääse käsiksi – riippumatta laeista tai sääntelystä. Uuden yhteiskunnan lait kirjataan yksinomaan älysovimuksiin, ja niiden noudattamista valvotaan nollatietotodistein. Siltä varalta, että ohjelmistovirheet tai haavoittuvuudet aiheuttaisivat vahinkoja, kehitetään kryptovaluuttapohjaisia vakuutusjärjestelmiä.
- **Saatavuuden kriisi:** Globaalissa disruptionismissa lohkoketjun saatavuus on koko yhteiskunnan perusta. Siksi he rakentavat lohkoketjun, joka on äärimmäisen hajautettu ja resilientti ja jolle koko digitaalinen yhteiskuntarakenne voi pohjautua.

Eroista huolimatta sekä integrationalistit että disruptionistit uskovat, että krypto-ekonomiset takeet ovat keskeisiä paremman tulevaisuuden luomiseksi.

Kryptoteknologian kehitystä ei voi enää pysäyttää. Jos nykyiset yhteiskunnat torjuvat kryptoteknologian mahdollisuudet, kehityksen suunta kallistuu kohti disruptionismia. Siksi on syytä pohtia, voisiko integrationalismin tukeminen olla vahvin tae sille, että nykymuotoinen demokratia jatkuu.

Yhteenveto

Moderni yhteiskunta on kriittisen riippuvainen digitaalisista järjestelmistä, joiden luotettavuutta perinteiset institutionaaliset takeet eivät enää pysty täysin varmistamaan. Erityisesti tekoälyn nousu ja sen toden ja valheen rajaa hämärtävät vaikutukset vaativat uusia työkaluja, joilla voidaan ylläpitää luottamusta ja suojata yhteiskuntaa.

Kryptoekonomia tarjoaa perinteisten instituutioiden rinnalle uuden mallin luottamuksen rakentamiseen. Yhdistämällä kryptografisen varmuuden ja taloudelliset kannustimet se mahdollistaa hajautetun kirjanpidon, automaattisen sääntöjen valvonnan ja tietoturvan ilman keskitettyjä toimijoita. Näin se tarjoaa enemmän mahdollisuuksia kuin mihin perinteiset instituutiot yksin kykenevät.

Lohkoketjut luovat kryptoekonomian perustan luomalla jaetun, kryptografisesti varmistetun ja muuttumattoman kirjanpidon. Älysopimukset varmistavat sen, että säännöt voidaan toimeenpanna automaattisesti ja läpinäkyvästi lohkoketjuissa. Yksityisyyttä parantavat teknologiat varmistavat laskennan tietoturvan ilman, että yksityinen data paljastetaan. Kaikkiin näihin moderneihin kryptografisiin teknologioihin liittyy suorituskyvyn, kompleksisuuden, käytettävyyden ja kvanttiturvallisuuden haasteita.

Kryptoekonomian tulevaisuus jäsentyy kahden ajatusmallin kautta: asteittainen integrointi ja radikaali muutos. Ensimmäinen hyödyntää kryptoteknologioita nykyisten järjestelmien uudistamiseen sääntelyn ja yhteistyön kautta. Toinen tavoittelee nopeaa muutosta ja uusien järjestelmien luomista sääntelyn ulkopuolella. Molemmat ajatusmallit etsivät vastauksia digitalisaation kriiseihin mutta tekevät sen eri keinoin ja eri arvoista käsin. Niiden yhteinen nimittäjä on kuitenkin selvä: ainutlaatuisten ominaisuuksiensa ansiosta kryptoekonomiset takeet ovat jatkossa keskeinen osa luottamuksen infrastruktuuria.

Demokraattisten yhteiskuntien ytimessä on lopulta kysymys siitä, kuka saa päättää, mistä asioista ja millä ehdoilla. Sillä, missä tieto säilytetään, miten sen oikeellisuus ja yksityisyys varmennetaan tai miten päivityksiä tehdään, ei ole merkitystä, elleivät päätöksenteon säännöt ole demokraattisesti määritettyjä. Teknologia voi ulkoistaa ja automatisoida lähes kaiken muun mutta ei päätösvallan legitimitettä. Juuri siksi demokratioiden on oltava aktiivisia teknologian muovaamisessa – ei vain sopeutujia vaan suunnittelijoita.

Olemme valinnan edessä: ohjaammeko teknologian kehitystä yhteisten arvojemme mukaisesti vai annammeko sen ohjata meitä? Päättäjien, viranomaisten ja teknologiavaikuttajien on tunnistettava kryptoekonomisten järjestelmien strateginen merkitys ja valmistauduttava ottamaan ne käyttöön tavalla, joka vahvistaa luottamusta, turvaa oikeudet ja varmistaa, että demokratian ääni kuuluu myös algoritmien ajassa.

Digitaalinen yhteiskunta paikkaa aiheuttamia heikkouksia

MINNA RUCKENSTEIN

professori, Uudet teknologia ja yhteiskunta.

Kuluttajatutkimuskeskus, Helsingin yliopisto

Lokakuussa 2025 Amazonin pilvipalvelutoiminnan häiriö, käytännössä ohjelmistovirhe, vaikutti miljoonien ihmisten internetin käyttöön eri puolilla maailmaa. Sosiaalisen median palveluihin, pankkeihin ja valtioiden verkkopalveluiden ei saanut yhteyttä tuntikausiin. Reilua vuotta aiemmin koettiin, kuinka yhteiskunta horjui pienen teknisen virheen seurauksena. Tietoturvyhtiö CrowdStriken ohjelmistopäivitys Microsoftin Windows-järjestelmissä johti laajoihin käyttökatkoksiin: lentoyhtiöiden järjestelmät pysähtyivät, pankkipalvelut häiriintyivät, hätäpalvelut takkuilivat ja sairaaloissa jouduttiin siirtämään leikkauksia. Tapaus paljasti, kuinka syvästi arjen toiminta on sidoksissa digitaalisia tietoja kuljettaviin infrastruktuureihin ja kuinka haavoittuvia infrastruktuurit ovat, kun jokin vaihe ketjussa pettää.

Nämä tapaukset konkretisoivat digitaalisen yhteiskunnan haurauden. Verkon toiminnot ovat riippuvaisia muutamasta palveluntarjoajasta. Yhden toimijan virhe tai häiriö voi lamauttaa isoja osia verkosta.

Nyt käsillä oleva tulevaisuusvaliokunnan julkaisu *Krypton yhteiskunta*, ja siinä etenkin Vesa-Ville Piironen ja Olli Tiaisen artikkeli Kryptoekonomia ja digitalisaation tulevaisuus, kuten myös valiokunnan aiempi julkaisu *Kvanttiteknologian tulevaisuus ja kvanttiturvallinen internet* (TuVJ 2/ 2025) luovat näkymän digitaalisiin infrastruktuureihin epävarmuuksien maailmassa. Ne kuvaavat infrastruktuurien kehitystä toimintaympäristössä, jota luonnehtivat geopolitiittiset jännitteet ja ylikansalliset teknojatit. Teknologiakentän keskittyneisyys on tullut yhä ilmeisemmäksi. Suurille teknologiayrityksille on annettu paljon valtaa tulevaisuuden määrittelijänä, eikä ole yllättävää, että Euroopassa puhutaan yhä huolestuneemmin äänenpainoin digitaalisesta suvereniteetista. Henkilötietojen puutteellinen suoja, tekoälyavusteisesti suollettu valetieto sekä tiedonkulun rakenteiden taloudelliset ja poliittiset kytkökset ovat vaikeasti ratkaistavia kysymyksiä.

Julkaisut tuovat esille haavoittuvuuteen liittyvän paradoksin: mitä enemmän yhteiskunta rakentaa toimintansa digitaalisten verkkojen varaan, sitä enemmän se altistaa itseään häiriöille, joita se pyrkii välttämään. Yhteiskunnan on luotettava digitaalisiin järjestelmiin, vaikka juuri luottamus niihin tuottaa systeemisii riskejä.

Tuon seuraavassa esille näkökulmia, joiden tarkoituksena on auttaa ymmärtämään digitaalisen yhteiskunnan kehitystä ei-teknologiavetoisesta perspektiivistä.

Teknologioilla on tulevaisuusvisioissa aivan erityinen rooli. Uusia teknologioita ei esitetä yksinomaan tulevaisuuden tekijänä, vaan myös erilaisten kriisien helpottajana. Teknologioilla luvataan edistää yhteiskunnan toimintavarmuutta. Olemattoman talouskasvun aikana uusimmat teknologiat näyttäytyvät tuottavuuden lähteenä tai jopa sen elinehtona. Teknologiat tehostavat prosesseja ja tekevät niistä aiempaa ennustettavampia. Yhä useammin teknologioilla luvataan selvittää myös ongelmia, joita muut teknologiat ovat aiheuttaneet. Kryptoekonomian tavoitteena on turvata digitaalista tiedonkulkua ja automaattisen päätöksenteon luotettavuutta. Tulevaisuuden internetin taas on oltava ”kvanttivalmis”.

Jotta olisi mahdollista tehdä punnittuja päätöksiä, tulevaisuuden teknologioita kannattaa pohtia aiempaa laajemmista ja toisaalta paikallisemmista näkökulmista. Geopoliittinen tarkastelu kapenee usein kaavamaiseen kilpailuasetelmaan. Vaikka digitaalista yhteiskuntaa luonnehtivat ylikansalliset taloudelliset ja poliittiset riippuvuudet, Suomessa tehtävillä päätöksillä on merkitystä siihen, miten ihmiset mieltävät paikkansa digitaalisessa yhteiskunnassa ja miten he suhtautuvat sen tuottamiin epävarmuuksiin. Digitaalisiin infrastruktuureihin liittyvät kysymykset eivät ole luonteeltaan yksinomaan teknologisia, vaan niitä taustoittaa digitaalisen toimintaympäristön monisyinen luonne.

Digitaalisessa yhteiskunnassa keskeiset toiminnot hallinnosta palveluihin sekä viestintään perustuvat teknologioihin ja datan hyödyntämiseen. Tämä tekee teknologioista yhteiskunnallisia. Teknologiamurroksen keskellä on tärkeää, että ihmiset kokevat kykenevänsä vaikuttaa toimintaympäristöön, joka kattaa sekä julkisen että yksityisen sektorin toimintatavat, infrastruktuurit ja arjen käytännöt, joissa digitaalinen tieto on keskeinen resurssi. Organisaatioihin liittyviä uudistuspyrkimyksiä tulee tarkastella realistisesti. Pelkkä teknologia ei päivitä ihmisiä tai organisaatiota muuttuvaan toimintaympäristöön.

Luottamuksen uudelleenmäärittelyä

Kryptoekonomia ja digitalisaation tulevaisuus -artikkelin ehdotukset ovat houkuttavia erityisesti niille, jotka visioivat digitaalista yhteiskuntaa ilman sitä jo koossapitäviä voimia. Kryptoekonomia tarjoaa tapoja huolehtia turvallisuudesta ja luottamuksesta ilman keskitettyä toimijaa. Käytännössä tämä tehdään esimerkiksi salauksin tai digitaalisiin allekirjoituksiin. Taloudelliset kannustimet motivoivat osallistujia toimimaan järjestelmän sääntöjen mukaisesti. Huomattavaa on, että tähän tarjoukseen sisältyy instituutioiden luonnetta muuttavia elementtejä. Hyvinvointivaltion ja kryptoekonomian näkökulmat törmäävät etenkin yhteisvastuuta ja tasa-arvoa koskeissa kysymyksissä.

Kryptoekonomian yhtenä pyrkimyksenä on rakentaa hajautettuja verkkoja, jotka toimivat luotettavasti ilman keskuspankkia, valtiota tai muuta keskitettyä auktoriteettia. Tekoäly ja lohkoketjut voisivat tulevaisuudessa muodostaa instituutioiden kaltaisia infrastruktuureja, jotka ylläpitävät luottamusta ja yhteiskunnallisia tehtäviä. Kryptoekonomiaa voi ajatella ikään kuin digitaalisen yhteiskunnan pelisuunnitteluna. Se määrittelee säännöt, joiden puitteissa tekniikka ja talous yhdessä pitävät järjestelmän toiminnassa.

Artikkelin kirjoittajat tuovat esille, kuinka kryptoekonomian tukemana voi edistää erilaisia yhteiskuntanäkemyksiä. He erottavat kaksi toisiaan haastavaa ideologiaa. Integrationalistit uskovat, että kryptoekonomian suurin arvo syntyy, kun se nivotaan osaksi nykyisiä instituutioita. Näin se loisi vakaampia ja läpinäkyvämpiä

järjestelmiä demokraattisten prosessien puitteissa. Sääntelyä ja teknologiaa kehitettäisiin nykyisen järjestelmän puitteissa. Disruptionistit taas kannattavat vanhojen rakenteiden korvaamista uusilla, hajautetuilla digitaalisilla infrastruktuureilla, jotka toimisivat sääntelyn ulkopuolella. Disruptionistien tavoitteena on rakentaa uudenlaista, hajautettua digitaalista yhteiskuntaa, jonka he kuvittelevat kestävämmäksi vallankäytön, manipuloinnin ja sensuurin uhkia vastaan. Heidän pyrkimyksensä on informaatioympäristö, johon perinteisen yhteiskunnan viranomaiset ja instituutiot eivät pääse käsiksi.

Vaikka integrationalistit ja disruptionistit toimivat eri lähtökohdista, heitä ohjaavien ideologioiden selvärajainen erottaminen voi käytännössä olla vaikeaa. Kryptoekonomian tapa nivoutua osaksi instituutioita on myös disruptiivaa. Se tuo mukanaan oman käsityksensä ihmisestä ja yhteiskunnasta. Taustana voi ajatella olevan toive, ettei luottamus perustuisi julkisiin instituutioihin ja jatkuvaan keskusteluun yhteiskunnan suunnasta, vaan tekniseen infrastruktuuriin.

Suomalaisen hyvinvointivaltion keskeisenä perustana on jaettu luottamus instituutioiden toimivuuteen ja kykyyn tasata riskejä ja varmistaa yhdenvertaisuus. Kryptoekonomia rakentuu toisenlaiselle logiikalle: vähimmäisluottamukselle instituutioihin ja maksimaaliselle luottamukselle järjestelmän sääntöihin, joita ei voi mielivaltaisesti muuttaa. Kryptoekonomian pelisuunnittelussa hyvinvointi määräytyy teknologisen järjestelmän reiluuden ja kannustimien kautta, ei kansalaisen ja valtion välisessä suhteessa valtion järjestämien palvelujen kautta. Tästä näkökulmasta kryptoekonomia irtisanoo vallitsevan yhteiskuntasopimuksen. Kansalaisen ja valtion suhdetta uudelleen määritellessään kryptoekonomia onkin poliittinen projekti, vaikka se ei lähtökohtaisesti sellaisena näyttäydy.

Esimerkkinä KryptoKela

Kryptoekonomia ja digitalisaation tulevaisuus -artikkelin sovellusesimerkkinä on KryptoKela eli Kela, joka hyödyntäisi lohkoketjuja osana keskeisimpiä palveluitaan. Esimerkki on hypoteettinen, mutta sitä kannattaa silti tarkastella lähemmin. Yksityiskohdat kertovat, miksi KryptoKela olisi hyvin toisenlainen Kela.

Perustuslaki takaa oikeuden sosiaaliturvaan ja riittäviin palveluihin. Kela on keskeinen instituutio näiden palveluiden tuottamisessa. KryptoKela toimii esimerkkinä integrationalistien lähestymistavasta, jossa pyrkimyksenä ei ole Kelan korvaaminen vaan sen toimintatapojen tehostaminen. KryptoKelan tavoitteena on lohkoketjuteknologiaan perustuva tietorakenne, jonka päälle voisi rakentaa uusia palveluita. Tämä edesauttaisi instituutioiden välistä tiedonsiirtoa.

KryptoKela käyttäisi lohkoketjua tallentamaan etuushakemukset, liitteet, käsittelyvaiheet ja päätökset. Tietorakenne olisi yhteinen, läpinäkyvä ja ennustettava kaikille osapuolille. Tämä vähentäisi tarvetta työläille ja hauraille integraatioille Kelan ja muiden instituutioiden välillä. Lohkoketjua käytettäisiin tiedon tallennuksen auditoitavuuden varmistamiseen osana nykyistä toimintaa. KryptoKela voisi hyödyntää älysopimuksia sääntöjen automaattiseen toimeenpanoon. Älysopimuksilla voitaisiin käsitellä muut kuin harkinnanvaraiset etuushakemukset. Älysopimus tarkistaisi automaattisesti etuuden myöntämiseen vaaditut ehdot. Näin se tekisi käsittelyprosessista johdonmukaisen ja auditoitavan ja minimoisi inhimillisen virheen mahdollisuuden. Myös harkintaa edellyttävät päätökset voitaisiin varmentaa kryptografisena todisteena, jonka pätevyys älysopimus voisi todentaa.

Tiedonkulkuun ja tiedon käsittelyyn liittyvät pulmat ovat valtionhallinnossa hyvin tunnistettuja. Uusilla teknologioilla pyritään yksi toisensa jälkeen vastaamaan tiedonkulun epäkohtiin. KryptoKela pyrkii siis vastaamaan tiedossa olevaan ongelmaan. Tiedon hajanaisuus Kelan eri järjestelmissä hankaloittaa kokonaiskuvan muodostamista asiakkaiden tilanteista. Silti tietokannat pysyvät visusti erillään. Asiointiketjut voivat olla pitkiä. Ulospäin Kela näyttäytyy sulkeutuneena, mutta samalla se pitää sisällään lukuisan määrän eri tietojärjestelmiä, jotka toimivat omissa siloissaan. Palvelun eri vaiheet eivät ole etuutta hakevan asiakkaan nähtävissä. Rajapinnat Kelasta muihin palveluihin eivät usein toimi.

Tiedonkulkuun liittyvät ongelmat eivät ole yksinomaan teknologialla ratkaistava ongelma. Jos ne sitä olisivat, ne olisi jo ratkaistu. Tästä näkökulmasta KryptoKela ei ole edistysaskeleena realistinen, minkä kirjoittajat tuovat itsekkin esille. He kuvailevat turvallisuuteen ja suoritusten ”siltaamisen” hitauteen ja riskialttiuteen liittyviä ongelmia. Lopulta tilanne voi olla sama kuin ennenkin: tiedonkululla on edelleen esteitä ja henkilötieto voi edelleen vaarantua.

Teknologiaratkaisun sijaan Kelan tiedonkulun esteiden purkaminen vaatisi laaja-alaista ja päättäväistä otetta. Lakien ajatellaan usein rajoittavan viranomaisten välistä tiedonkulkua, mutta osa oikeusoppineista korostaa, ettei pääasiallinen ongelma ole sääntely vaan organisaatioiden välisen yhteistyön esteet. Kelan tiedonsiirtoa ja käsittelyä tulisi ratkoa organisaation sisäistä ja eri organisaatioiden välistä yhteistyötä tehostamalla. Kirkkaana mielessä tulisi olla asiantuntijuuden luonne ja sen ydin, jotta teknologiaa voitaisiin käyttää tukemaan asiantuntijoiden valmiuksia tehdä työtä paremmin.

Digitaalisen yhteiskunnan uudistamisen näkökulmasta automaattinen päätöksenteko voi olla hyvä apu. Automaattista päätöksentekoa on harjoitettu menestyksellä verotuksen järjestämisessä, ja sen asemaa on pohdittu vastuunäkökulmasta. Viranomaisnäkökulmasta ajatus siitä, että luottamus olisi järjestelmässä eikä viranomaispäättäjän vastuulla, on edelleen ongelmallinen. Viranomaiset ovat kuitenkin niitä, joiden tehtävänä on taata hyvän hallinnon periaatteiden toteutuminen. Heillä on vastuu tehdyistä päätöksistä, mutta myös tarvittavaa itsenäisyyttä ja säänneltyä

harkintavaltaa. Asiakkaan näkökulmasta taas pääasia ei ole Kelan toimintaa tukeva infrastruktuuri ja organisaation käyttämä teknologia vaan se, että palvelu on sujuvaa ja ymmärrettävää ja toiminnot ovat inhimillisiä ja ennakoitavissa.

Teknologia ei ratkota organisaatioiden heikkouksia

Hypoteettiset esimerkit ovat parhaimmillaan, kun ne edistävät kuvittelukykyä. Niihin tarvitaan kuitenkin nykyistä enemmän konkreettisia rakennusaineita. Esimerkkinä KryptoKela huitoo etäältä, kuten monet uusien teknologioiden mahdollisuuksia esittelevät mallit. Niistä puuttuu halu ymmärtää syvällisemmin ongelmia, joita organisaatioissa ja yhteiskunnassa tulisi ratkoa. Katse haroo epärealistisen saumattomasti toimivaan organisaatioon tai kauas tulevaisuuteen, ei tylsiin arjen ongelmiin. On mielenkiintoisempaa pohtia ohjelmistojen varaan rakennettua uutta organisaatiota tai vaikka metaversumia kuin olemassa olevan organisaation tiedonkulkua. Tylsät ongelmat ovat kuitenkin niitä, joita tulevaisuusnäkökulmasta tulisi ratkoa. Tämä on myös taloudellinen kysymys. Teknologioista ei saada irti yhteiskunnallisia hyötyjä, jos pohjatytöä ei ole tehty.

Digi- ja väestötietoviraston erityisasiantuntija Joonas Aitonurmi kiinnittää väitöskirjatyössään huomion infrastruktuurien korjaamiseen ja uudistamiseen arkisena puurtamisena. Monet viranomaispäätökset voitaisiin automatisoida nykyisellä teknologialla sääntöpohjaisesti tai robotiikalla, mikäli lainsäädäntö sen sallisi. Näkemykset teknologian hyödyntämisen mahdollisuuksista ovat viranomaistyössä usein varsin käytännönläheisiä. Tämä näkökulma kuitenkin puuttuu uusinta uutta haitkailevista tietoteknisistä visioista, jolloin arkisen puurtamisen ymmärrykseen ei ohjata resursseja.

Sosiaalipolitiikan professori Minna van Gervenin johtaman Kelaa koskevan tutkimuksen perusteella uudistustoiveet liittyvät pääasiassa rutiininomaisiin tehtäviin, kuten tiedon koostamiseen, laskujen maksamiseen ja yksinkertaisten hakemusten ratkaisemiseen. Kriittisemmin työntekijät suhtautuvat puolestaan tekoälyn hyödyntämiseen monimutkaisempien tehtävien hoitamisessa. Harkinnan korvaamista tekoälyllä ei pidetä toivottavana tai mahdollisena. Monimutkaisten etuuspäätösten tekemisessä yksilökohtainen harkinta on edelleen välttämätöntä. Inhimillinen vuorovaikutus nähdään välttämättömänä etenkin asiakaspalvelutilanteissa.

Kelaa koskeva tutkimus osoittaa, kuinka dataa ja algoritmeja hyödyntävät järjestelmät voivat hyvistä tavoitteistaan huolimatta aiheuttaa merkittäviä haasteita sosiaaliturvan toimeenpanossa. Digihuumassa voi unohtua, että valtion vastuuseen kuuluu olennaisesti myös suojeleva hallinto. Kelan tehtävänä on turvata yhteiskunnan heikompia. Algoritmivetoiset järjestelmät voivat vaikeuttaa palvelutarpeiden tunnistamista ja rajata harkinnan käyttöä päätöksenteossa. Tavoitteet tehostaa ja yksin-

kertaistaa sosiaaliturvaetuuksien toimeenpanoa sekä vauhdittaa hallinnollisia prosesseja voivat johtaa siihen, että asiakkaiden elämäntilanteisiin vaikuttavia monimutkaisia tekijöitä jää huomioimatta. Sosiaaliturvaa määrittävät perustulossa turvatut oikeudet ja yhdenvertaisuus. Ihmiselämän moninaisuuden pelkistäminen numeerisiin arvoihin on kuitenkin vaikeaa tai jopa mahdotonta. Tässä yhtälössä tarvitaan inhimillistä lähestymistapaa.

Keskeinen kysymys on, kuinka Kelan etuuskäsittelyyn luodaan digitaalisia ratkaisuja, jotka ovat oikeudenmukaisia sekä yksilöiden tarpeet ja tilanteet huomioivia. Tässä nousevat esiin myös ihmiset palveluiden tuottajina ja käyttäjinä. Mikään teknologia ei tuota hyötyjä ilman osaavia ja kiinnostuneita tekijöitä. Teknologioista keskusteltaessa ihminen näyttyy usein heikkona lenkkinä, osaamattomana ja muutosvastarintaisena. Tämä on kummallinen tapa ajatella kansalaisen paikkaa digitaalisessa yhteiskunnassa. Ikään kuin ihmiset olisivat teknologian edistyksen tiellä. On epärealistista ajatella, että ihmiset olisivat tulevaisuudessakaan täysin tasalaatuisia ja aina samoin toimivia ja reagoivia. Asiantuntijat käyttävät tietojärjestelmiä toisistaan poikkeavilla tavoilla, vaikka heitä ohjattaisiin yhdenmukaisiin toimintatapoihin. Tähän vaikuttavat esimerkiksi kokemus järjestelmien käytöstä sekä arvio siitä, millaista tietoa milloinkin tarvitaan.

Kela-esimerkki osoittaa, ettei edistyneinkään teknologia ole taikasauva, jolla korjata monimutkaisia järjestelmiä. Ei ole epäilystäkään, että digitalisaation avulla voi tukea sosiaaliturvan toimeenpanoa ja sitä kautta yksinkertaistaa sitä sen käyttäjille. Tämä edellyttää kuitenkin ennakoivaa ja pitkäjänteistä työtä, joka luo mahdollisuudet sille, että teknologia tukee organisaation tavoitteita. KryptoKelan tapaiset esimerkit ovat lähinnä kuriositeetteja. Tulevaisuutta niiden varaan ei voi rakentaa.

Kvanttiaikaan valmistautuminen

Kvanttitekнологia suuntaa katseen tulevaisuuden infrastruktuureihin. Tulevaisuusvaliokunnan kvanttitekнологiaa käsittelevässä julkaisussa (TuVJ 2/ 2025) sekä Mikael Johanssonin artikkelin Kvantti, internet ja kvantti-internet että Suvi Lampelan artikkelin Kvanttiturvallinen internet pääviesti on, että internet on mullistavan muutoksen edessä. Tulevaisuuden kvanttietokoneet uhkaavat murtaa nykyisin käytössä olevat salaukset. Varautuminen tähän uhkaan on aloitettava heti, koska riittävän tehokas kvanttikone voisi algoritmiaivusteisesti murtaa julkisiin avaimiin perustuvan salauksen menetelmät. Nämä menetelmät turvaavat internetin liikennettä, esimerkiksi pankkipalveluita ja viranomaisasiointia.

Johanssonin ja Lampelan artikkelit esittelevät ratkaisuja kvanttiturvalliseen internetiin. Asiantuntijoiden parissa vallitsee laaja yksimielisyys, että turvaa tarvitaan, koska internetissä liikkuvaa luottamuksellista tietoa voi kerätä jo nyt talteen odottaen salauksen purkamista myöhemmin, kun kvanttikoneet ovat riittävän tehok-

kaita. Tällaista arkaluontoista tietoa voivat olla esimerkiksi terveystiedot, yritys-salaisuudet tai valtion tiedustelutiedot.

Kvanttitekologiaan liittyvässä keskustelussa korostuu yhteiskunnan varautuminen, joka ymmärretään tässä yhteydessä kriittisenä ja välittömiä toimenpiteitä vaativana prosessina. Tietoturvaan liittyvät epäonnistumiset voivat murentaa yhteiskunnan toimimisen edellytyksiä, mikäli usko sähköisiin allekirjoituksiin ja tunnistautumiseen menetetään. On minimoitava uhka, että voidaan luoda tehokkaalla kvanttikoneella tekaistuja mutta aidoilta näyttäviä, jälkikäteen päivättyjä asiakirjoja.

On kuitenkin hyvä muistaa, etteivät tietoturvaan liittyvät kysymykset ole uusia. Digitaalisia infrastruktuureja tulee jatkossakin olemaan varsin monenlaisia, osa vanhempia ja osa teknisesti edistyksellisiä. Kaikkia järjestelmiä saadaan tuskin koskaan tehokkaasti suojattua. Tietoturva on ikään kuin päättymätön harjoitus, johon kaikkien täytyy osallistua, halusivat he sitä tai eivät. Infrastruktuureista tulee jatkossakin paljastumaan heikkouksia. Niiden kanssa on eletävä.

Nykyinen tilanne, jossa yksittäiset ihmiset ja organisaatiot kantavat kaikessa hiljaisuudessa tietomurtojen seuraukset, on inhimillisesti kestävä. Demokratia ja yhteiskuntarauha perustuvat siihen, että kansalaiset luottavat digitaalisiin palveluihin. Teknologinen murros on tuonut mukanaan uudenlaista turhautumista ja luottamuspulaa. Yksi iso tekijä on teknologioihin liittyvä epävarmuus. Olemme jo nyt maailmassa, jossa tietovuotoja tapahtuu jatkuvasti. Verkkopalveluiden valeskopiot ja huijausviestit onnistuvat hämäämään ihmisiä. On ymmärrettävää, että ihmiset suhtautuvat epäillen henkilötiedon jakamiseen.

Ideaalitilanteessa jokin tietty järjestelmä tuottaisi vakuutusturvaa, jotta ihmiset voisivat asioida turvallisesti. Sosiologian professori Turo-Kimmo Lehtosen mukaan yhtenä ratkaisuna ongelmiin on esitetty valtiollisten tai Euroopan unionin kaltaisten ylikansallisten tahojen väliintuloa. On esimerkiksi ehdotettu, että kyberhyökkäyksistä ilmoittaminen olisi pakollista, ja pohdittu, tulisiko kaikkein suurimpien riskien varalle perustaa yksityisten vakuutuslaitosten sijaan valtiollisia pooleja.

Pelkkä epäily siitä, että vihamielinen taho on saavuttanut kyvyn murtaa salaukset, voi aiheuttaa merkittävää vahinkoa. Siksi digitaalisen yhteiskunnan toimintaedellytyksiä on turvattava tavalla, jossa epäilyksille ei jää sijaa. Tähän tarvitaan myös uudenlaista varautumista. Yhteiskunnan toimintaedellytysten turvaaminen on ongelmanratkaisun opettelemista verkostomaisesti, vaihtoehtoisina polkuina, jotka voivat olla olemassa rinnakkain ja vaikuttaa toisiinsa. Laaja-alaista yhteistyötä voi ajatella myös varautumisena kvanttiaikaan.

Haaste ajattelulle

Haavoittuvuuden paradoksi tulee luonnehtimaan myös tulevaisuuden yhteiskuntaa. Mitä enemmän yhteiskunta rakentaa toimintansa digitaalisuuden varaan, sitä enemmän se altistaa itseään häiriöille, joita se pyrkii välttämään. Palveluiden digitalisoinnin kääntöpuolena mitä erilaisimpiin elämänalueisiin on alkanut kohdistua riskejä. Kaapeleita voidaan katkoa kvanttiaikanakin. Jos sähköt katkeavat tai pilvipalveluun tulee häiriö, mikä tahansa arjen toiminto voi vaikeutua. Huomioon on otettava myös tietomurtorikollisuus, joka kehittyy nopeasti ja jonka aiheuttamista vahingoista ei ole edes kattavia tilastoja. Hyökkäysten kohteeksi joutuneet tahot peittelevät tietohallintansa pettämistä. Esimerkiksi yrityssalaisuuksien vuotamisesta ei mielellään kerrota ulkopuolisille.

Kuten kaikki uudet teknologiat kvanttitekнологia ei poista epävarmuuksia vaan tuottaa joukon uusia. Epävarmuudet haastavat pohtimaan, miten toimia maailmassa, jossa vain osa uhkista, riskeistä tai mahdollisuuksista on tiedossa. Nykyiset kvanttietokoneet ovat kehityksessään yhä varhaisessa vaiheessa, mutta niihin panostetut resurssit ovat mittavat ja edistysaskelille lasketaan jo tuottavuusarvioita. Teknologiaa koskeville tulevaisuusvisioille on ominaista varmuus. Epävarmuudet unohtuvat, kun euromääräisiä tuottavuushyötyjä esitellään. Kvanttitekнологian hyötyjiksi on mainittu esimerkiksi rahoitusala ja puolustusteollisuus. Hyötyarvioille ei välttämättä löydy muita pitäviä perusteita kuin asiantuntija-arvaukset tulevasta. Tuottavuushyödyt perustuvat mittaviin investointeihin, joista puhutaan vähemmän.

Kvanttitekнологiaa esittelevässä julkaisussa etenkin Johanssonin artikkeli korostaa, että menot kyberpuolustukseen tai varajärjestelmiin ovat vakuutus maan taloudelle ja turvallisuudelle. Kysymystä turvallisuudesta pitäisi kuitenkin ajatella laajemmin. Jos Suomea pyritään asemoimaan digitaalisen murroksen edelläkävijänä, toimintaympäristön luonne on tunnistettava. Digitalisaation hyötyjä ja haittoja on kvanttiaikanakin punnittava tapauskohtaisesti.

Teknologian suhdetta ympäristökysymyksiin ei voi aliarvioida, jos haluaa varmistaa, että sovelluksia kehitetään vastuullisesti. Ekologinen näkökulma loistaa poissaolollaan teknologiavisioista, mutta siitä olisi hyötyä. Se auttaisi ennakoimaan tai lieventämään teknologioiden ympäristöön kohdistamia paineita.

Kvanttitekнологia voi avata uudenlaisia tapoja ymmärtää yhteiskunnallisia kehityskulkuja. Perinteisessä laskennassa monimutkaiset ilmiöt typistetään usein kyllä tai ei -valintoihin. Kvanttilaskenta taas kykenee käsittelemään valintoja rinnakkain, jolloin ilmiön tarkastelu voi monipuolistua. Jotta uutta teknologiaa osattaisiin järkevästi käyttää, mielen avaruuksia täytyy laajentaa samaan tahtiin kvanttitekнологian kanssa. Tämä voi lopulta olla suurempi haaste kuin itse teknologia. Pitäisi oppia muotoilemaan täysin uudenlaisia kysymyksiä ja päivittää käsityksiä tiedon ja tutkimuksen luonteesta.

Kvanttitekniologia avaa mahdollisuuksia asettaa ilmiöitä aikaa ja tilaa kuvaaviin malleihin, joissa rinnakkaisuus, todennäköisyydet ja epälineaariset suhteet voidaan sisällyttää laskentaan tavalla, johon klassinen tietojenkäsittely ei yllä. Tämä edellyttää, että opetellaan uudenlaista ongelmanratkaisua, jossa asioita ei ajatella lineaarisesti vaan verkostomaisesti, samanaikaisina tiloina ja vaihtoehtoisina polkuina, jotka voivat olla olemassa rinnakkain ja vaikuttaa toisiinsa.

Menestyksen ennakkointia

Digitalisaatio on valtava haaste yhteiskunnalle, mutta tämä ei johdu yksinomaan teknologiasta ja sen nopeasta kehityksestä. Haasteena on myös instituutioiden ja osaamisen päivittäminen ja uudelleenajattelu. Organisaatioiden toimintoja ja työnjakoa pitäisi ajatella uusiksi, mutta tällaista kokonaisarkkitehtuuria ei suunnittele kukaan. Julkisella sektorilla on tehty valtavasti erilaisia digitalisaatioprojekteja ja -kokeiluja. Samat virheet kuitenkin toistuvat. Nämä virheet eivät ole teknologiaspesifisiä. Hankkeita luonnehtii pitkäjänteisyyden ja omistajuuden puute. Tempoileva ja pistemäinen hankerahoitus syventää tätä ongelmaa. Hankintoja ei tehdä laajempina kokonaisuuksina.

Digitaalisen yhteiskunnan rakentaminen ja uudistaminen näyttäytyy teknologia-visioissa usein varsin suoraviivaisena. Työhön voi ryhtyä ilman ymmärrystä vakiintuneista instituutioista tai demokraattisen päätöksenteon käytännöistä. Demokratia voidaan jopa asemoida ikäväksi hidasteeksi. Työ olisi huomattavasti mutkattomampaa, jos yhteiskunnan taustana olisi kryptoekonomiaa kannatteleva liberaali-individualistinen ihanne: järjestelmä, jossa yksilö voi toimia ilman, että hän tarvitsee turvakseen valtiota, keskuspankkia tai muuta keskitettyä vallankäyttäjää. Jos yhteiskunta ajatellaan kyvykkäiden yksilöiden yhteenliittymänä, jossa yksittäinen ihminen kantaa terveyteen, koulutukseen ja talouteen liittyvät riskit, valtio voi luopua suuresta osasta tehtävistä. Suurin osa suomalaisista ei kuitenkaan haikaile tällaista minivaltiota, eikä sen toimivuudestaan juuri ole näyttöä.

Nykyisellään tulevaisuuskeskustelussa on syvä railo. Teknologiavisionäärien yhteiskuntaymmärrys on usein puutteellinen, ja yhteiskuntaa tuntevat voivat jopa vieroja teknologia-aiheita. Tästä seuraa, ettei rakentavaa laaja-alaista keskustelua synny. Tähän keskusteluun olisi jo paikallisia rakennusaineita. Suomessa on iso joukko ammattilaisia ja tutkijoita, jotka pohtivat teknologiamurroksen yhteiskunnallista luonnetta. Heidän näkökulmansa jäävät kuitenkin keskustelujen katvealueille.

Teknologioista keskusteltaessa ajattelutapaa hallitsee edelleen teknologiadeterminismi, jonka mukaan teknologinen kehitys määrää ratkaisevasti yhteiskunnallisen muutoksen suunnan ja ihmisten toiminnan. Lohkoketju tai tekoäly yksin ei kuitenkaan tuota yhteiskunnallista muutosta. Esimerkiksi kielimallit muuntuvat ihmiskäsittelyssä varsin erilaisiin tehtäviin: terapiatyöhön, koodaamiseen, väärän tiedon

tuottamiseen ja ylipäättään tiedon nopeampaan koostamiseen. Syntynyt muutos ei ole yksinomaan tekoälyn aikaansaannos, vaan se tapahtuu ihmisen ja teknologian yhteistoimintana, erilaisten kokeilujen ja oppimisen kannattelemana.

Toimintaympäristön ja ennustettujen muutosten ennakointi on vaikeaa, koska uudet teknologiat toimivat ikään kuin solmukohdissa. Teknologisia murroksia visioimalla muutoksen vauhtia usein liioitellaan tai muutos kohdentuu tavalla, joka ei lopulta ole täysin realistinen. Tekoälyjärjestelmät eivät linkitä vain dataa ja algoritmeja, vaan ne nojaavat infrastruktuureihin, ihmisiin, arvoihin ja ideologioihin. Jotta uusien teknologioiden roolia digitaalisten infrastruktuurien haavoittuvuuksien turvaajana voitaisiin rakentavasti edistää tai niiden yhteiskunnallista luonnetta pystyttäisiin arvioimaan, tarvitsemme realistista ymmärrystä teknologian mahdollisuuksista ja siitä, mitä jonkin instituution tehtävien tai lainsäädännöllisen kokonaisuuden automatisointi edellyttää. Tämä työ pitäisi nähdä varautumisena tulevaisuuteen.

Kitkaa visioihin

Suosittelen kaikkia digitaalisen yhteiskunnan parissa työskenteleviä tarkentamaan katsetta siihen, mitä yhteiskunta lupaa kansalaisilleen ja mitä se edellyttää heiltä. Tämä yhteiskuntasopimus ei liity yksittäiseen teknologiaan vaan siihen, millaista valtion ja kansalaisen välistä suhdetta teknologiavetoisesti tuotetaan.

Teknologiamurroksen keskellä yhteiskunnallisessa keskustelussa on yhä tärkeämpää puhua teknologiasta aiempaa täsmällisemmin. Teknologiankehittäjät kierrättävät usein samankaltaisia, hypoteettisia esimerkkejä teknologian yhteiskunnallisesta hyödystä. Ei vaadi kovin suurta taitoa julistaa, että 5G- ja 6G-verkot, kyberosaaminen ja maailmanluokan it-taidot ratkaisevat Suomen menestyksen.

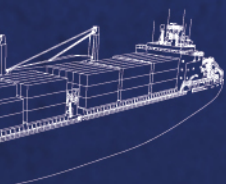
Tulevaisuustyöskentelyyn tarvitaan näkemyksellisempää ja tarkempaa otetta. Tämä edellyttää syvällistä osaamista ja ymmärrystä siitä, kuinka uudet teknologiat luovat arvoa ja miten tämä arvonluonti tukee yhteiskunnan perustoimintoja. Teknologioiden hinnanmuodostuksesta pitää puhua enemmän. Koronavilkku-sovelluksen kehitystyötä pidettiin halpana, kun se maksoi viitisen miljoona euroa. Suurin menoerä oli asiantuntijatyö eikä itse tekninen sovellus. Sovelluksen nähtiin myös olevan tarpeellinen pandemian aikana. Kun teknologiatarpeita asettaa muiden tarpeiden rinnalle, ne näyttäytyvät kuitenkin usein kalliina. Tällaisia vertailuja pitäisi pystyä tekemään.

Avainasemassa ovat luotetun yhteiskunnan edellytysten ennakoiminen ja sitä kohti työskentely. Kriittinen ote teknologioihin tarkoittaa vallitsevien oletusten kyseenalaistamista, keskustelun avaamista ja inhimillisten tulevaisuuden tavoitteiden linjaamista. Teknologian tukemana voi edistää varsin monenlaisia tulevaisuuksia.

Parhaat visiot eivät synny yksimielisestä hymistelystä vaan kitkasta ja jännitteistä, jotka rakentavat uudenlaisia, koeteltuja näkökulmia. Kun kiinnittää huomion teknologiakehityksen ihmisulottuvuuksiin tai sen kannattelemiin arvoihin, tulevaisuutta voi ajatella toisin: yhteisesti tuotettuna, arjessa ja organisaatioissa. Teknologiakriittisyys ei ole teknologiavastaisuutta vaan parhaiden mahdollisten kehityskulkujen tunnistamista. Joskus nämä parhaat kehityskulut edellyttävät myös teknologiaratkaisujen hylkäämistä.

Luottamus tietynlaiseen tulevaisuuteen lisää sen todennäköisyyttä toteutua – ei siksi, että se olisi tarkempi ennustus tai parempi tulevaisuus, vaan koska ihmiset tekevät tulevaisuutta tukevia valintoja. Hyvänä esimerkkinä voi pitää kvanttiteknologiaa. Vaikka teknologia on vasta alkuvaiheessa kehityksessään, jo nyt pohditaan sitä, mikä saattaisi teknisesti mennä pieleen. Ennakointia ja varmistelua tehdään siksi, että kun teknologia on olemassa, sillä olisi parhaat mahdolliset edellytykset menestyä.

Kirjoituksen tutkimusesimerkit ovat johtamani Strategisen tutkimuksen neuvoston rahoittaman Repair-hankkeen julkaisuista ja meneillään olevasta tutkimuksesta. Ne löytyvät hankkeen sivuilta: <https://www.repair-research.fi/>.



EDUSKUNTA
RIKSDAGEN



ISSN 2342-6594 (PAINETTU) ISBN 978-951-53-3834-1 (NID)

ISSN 2342-6608 (VERKKOJULKAISU) ISBN 978-951-53-3835-8 (PDF)

