

KOHTI PAREMPAA TULEVAISUUTTA!

Teknologian mahdollisuudet ja uhat
kestävän kehityksen edistämisessä



KOHTI PAREMPAA TULEVAISUUTTA!

Teknologian mahdollisuudet ja uhat
kestävän kehityksen edistämisessä

Risto Linturi

Eduskunnan tulevaisuusvaliokunnan julkaisu 5/2020

Kansikuva: Mostphotos

Tulevaisuusvaliokunta

00102 Eduskunta

www.eduskunta.fi

Helsinki 2020

ISBN 978-951-53- 3775-7 (nid.)

ISBN 978-951-53- 3776-4 (pdf)

ISSN 2342-6594 (painettu)

ISSN 2342-6608 (verkkojulkaisu)

Sisällys

Tulevaisuusvaliokunnan esipuhe.....	5
1. Johdanto.....	15
2. Teknologiamurrokset arvonluontiverkostoittain	17
2.1. Henkilöliikenne – kohti autonomista sähköistä henkilöliikennettä palveluna	18
2.2. Tavaraliikenne – kohti robotisoitua yksilöllistä kuljetusta ja kuormausta	19
2.3. Tavaroiden valmistus – kohti joustavaa ja yksilöllistä lähituotantoa.....	21
2.4. Ravinto – kohti elintarvikeomavaraisia kaupunkia ja yksilöllistä ruokaa	23
2.5. Energia – kohti halpaa aurinkoenergiaa ja hajautettuja energiavarastoja	24
2.6. Materiaalit – kohti uusiutuvia materiaaleja ja kiertotaloutta	26
2.7. Rakennettu ympäristö – kohti kaupunkia autonomisena asumiskoneena	28
2.8. Vaihdanta – kohti etäkauppaa ja digitalisoitua transaktioalustoja.....	29
2.9. Etävaikuttaminen – kohti etäläsnäoloa ja virtuaalisia kohtaamispaikkoja	31
2.10. Työn korvaus koneilla - kohti työn robotisointia ja palvelevaa tekoälyä	33
2.11. Työ ja ansainta – kohti omavaraisuutta, jakamista ja mikroyrittäjyyttä.....	34
2.12. Terveys – kohti ennakoivaa terveyttä ja pelillistä itsediagnostiikkaa.....	36
2.13. Toimintakyvyn avusteet – kohti vajavaisen ihmisen teknisiä avusteita	38
2.14. Havainnot ja tietäminen – kohti itse mitattua ja joukkoistettua AI-tietoa.....	39
2.15. Osaaminen ja sen näyttö – kohti AI:n varmentamaa itsenäistä oppimista.....	41
2.16. Elämykset – kohti robotisoitua ja virtuaalisia, osallistavia elämyksiä	43
2.17. Turvallisuus – kohti yksilöllistä ja joukkoistettua turvallisuutta	45
2.18. Yhteistyökyky – kohti talkoita ja kansainvälisiä luottamusalustoja.....	46
2.19. Tarkoituksellisuus – kohti tekojen ja yhteisötyön suoraa palkitsevuutta	48
2.20. Valtarakenteet – kohti vaikutusten mukaan osallistavaa päätöksentekoa.....	49
3. Agenda 2030 tavoitteiden kiteytykset ja tavoitekohtainen teknologiakehityksen analyysi	52
3.1. Tavoite (UN SDG 1); poistaa köyhyys sen kaikissa muodoissa kaikkialta:	55
3.2. Tavoite (UN SDG 2); poistaa nälkä, saavuttaa ruokaturva, parantaa ravitsemusta ja edistää kestävästä maataloutta:.....	56
3.3. Tavoite (UN SDG 3); taata terveellinen elämä ja hyvinvointi kaiken ikäisille:.....	56

3.4. Tavoite (UN SDG 4); taata kaikille avoin, tasa-arvoinen ja laadukas koulutus sekä elinikäiset oppimismahdollisuudet:	57
3.5. Tavoite (UN SDG 5); saavuttaa sukupuolten välinen tasa-arvo sekä vahvistaa naisten ja tyttöjen oikeuksia ja mahdollisuuksia:	57
3.6. Tavoite (UN SDG 6); Varmistaa veden saanti ja kestävä käyttö sekä sanitaatio kaikille:	58
3.7. Tavoite (UN SDG 7); varmistaa edullinen, luotettava, kestävä ja uudenaikainen energia kaikille:	58
3.8. Tavoite (UN SDG 8); edistää kaikkia koskevaa kestävää talouskasvua, täyttä ja tuottavaa työllisyyttä sekä säällisiä työpaikkoja:	59
3.9. Tavoite (UN SDG 9); rakentaa resilienttiä infrastruktuuria sekä edistää kestävä teollisuutta ja innovaatioita:	60
3.10. Tavoite (UN SDG 10); vähentää eriarvoisuutta maiden sisällä ja niiden välillä:	60
3.11. Tavoite (UN SDG 11); taata turvalliset ja kestävät kaupungit sekä asuinyhdyskunnat:	61
3.12. Tavoite (UN SDG 12); varmistaa kulutus- ja tuotantotapojen kestävyys:	61
3.13. Tavoite (UN SDG 13); toimia kiireellisesti ilmastonmuutosta ja sen vaikutuksia vastaan:	62
3.14. Tavoite (UN SDG 14); säilyttää meret ja merten tarjoamat luonnonvarat sekä edistää niiden kestävä käyttöä:	63
3.15. Tavoite (UN SDG 15); suojella maaekosysteemejä, palauttaa niitä ennalleen ja edistää niiden kestävä käyttöä; edistää metsien kestävä käyttöä; taistella aavikoitumista vastaan; pysäyttää maaperän köyhtyminen ja luonnon monimuotoisuuden häviäminen:	63
3.16. Tavoite (UN SDG 16); edistää rauhanomaisia yhteiskuntia ja taata kaikille pääsy oikeuspalveluiden pariin; rakentaa tehokkaita ja vastuullisia instituutioita kaikilla tasoilla:	64
3.17. Tavoite (UN SDG 17); tukea vahvemmin kestävä kehityksen toimeenpanoa ja globaalia kumppanuutta:	65
4. Yhteenveto	66
Liite 1.	71

Tulevaisuusvaliokunnan esipuhe

Tämä raportti soveltaa tulevaisuusvaliokunnan teknologian ennakointihankkeissa kehitettyä RTI-ennakointimenetelmää (Radical Technology Inquirer) sen arvioimiseen, miten teknologia voi auttaa saavuttamaan YK:n Agenda2030-toimintasuunnitelmassa sovittuja kestävä kehityksen tavoitteita. Teknologian ennakointi on yksi tulevaisuusvaliokunnan toiminnan painopistealueista, koska teknologian muutos vaikuttaa merkittävästi siihen, minkälaiseksi tulevaisuutemme muotoutuu. Viime vaalikaudesta alkaen tulevaisuusvaliokunta on toiminut myös hallituksen kestävä kehityksen toimenpidesuunnitelmaa käsittelevän Agenda2030-selonteon mietintövaliokuntana. Suunnitelmassa on kyse YK:n kestävä kehityksen huippukokouksessa vuonna 2015 määriteltujen 17 Agenda 2030 -tavoitteen kansallisesta toimeenpanosta. Siksi tulevaisuusvaliokunnan oli tällä vaalikaudella luontevaa yhdistää kestävä kehityksen ja teknologianennakoinnin näkökulmat. Vaikka teknologia yksin ei tee ihmiskunnan toiminnasta kestävä, on sitä tulevaisuusvaliokunnan näkemyksen mukaan joka tapauksessa käytettävä ja kehitettävä kestävä kehityksen tavoitteluun. Tilaamalla tämän raportin tulevaisuudentutkija Risto Linturilta tulevaisuusvaliokunta on pyrkinyt hahmottelemaan, mitä tämä voisi tarkoittaa.

Lukijan tulee muistaa, että tämä raportti lähestyy kestävä kehitystä nimenomaan radikaalien teknologioiden uudistavan potentiaalin kautta. Lähestymistapa ei siksi käsittele esimerkiksi sitä, miten olemassa olevaa teknologiaa parantamalla ja levittämällä – kuten tehokkaampia moottoreita ja liesiä tai parempia kuivakäymälöitä käyttöönottamalla – voitaisiin saavuttaa kestävämpi maailma. Näistä mahdollisuuksista on jo olemassa paljon tietoa, joka myös tulee ottaa käyttöön kestävä kehitystä tavoiteltaessa. Tämä raportti kurottaa pidemmälle, siihen millainen maailma voisi olla, jos nyt idullaan olevien radikaalien teknologisten mahdollisuuksien toisiinsa kytkeytyminen mahdollistettaisiin kestävyyttä mahdollisimman hyvin tukevalla tavalla.

Lähestymistapa on kehitetty tulevaisuusvaliokunnan teettämän teknologianennakointimenetelmän pohjalta. Menetelmää on kehitetty vuodesta 2013 ([Suomen sata uutta mahdollisuutta: radikaalit teknologiset ratkaisut](#)) ja sen viimeisin päivitys on julkaistu vuonna 2018 ([Suomen sata uutta mahdollisuutta 2018 - 2037 – yhteiskunnan toimintamallit uudistava radikaali teknologia](#)). Päivityksen käännös ilmestyi englanniksi vuonna 2019 ([Societal transformation 2018 - 2037](#)). Menetelmän tuottamat tulokset on julkaistu myös verkkosovelluksena ([Tulevaisuuspankki.fi](#)). Menetelmän englanninkieliseksi nimeksi on vakiintunut Radical Technology Inquirer (RTI). Tänä vuonna RTI-menetelmää on sovellettu temaattisesti niin yhden teknologia-alan tuoreimpien kehityskulkujen kartoittamiseen ([Geeniteknologian kehitys 2018-2020 eri merkitysaluilla](#)) kuin sen selvittämiseen, miten teknologia on auttanut COVID-19 -viruksen vastaisessa taistelussa ja miten pandemia on vaikuttanut teknologian kehitykseen. Kyseinen Pandemiateknologiat-raportti (TuVJ 4/2020) julkaistaan myöhemmin marraskuussa 2020 ja löytyy sähköisenä [tulevaisuusvaliokunnan julkaisuiden internetsivuilta](#). Nyt käsillä oleva teknologianennakoinnin tulosten tulkinta kestävä kehityksen näkökulmasta on RTI-menetelmän viimeisin sovellus.

Eräs menetelmän vahvuuksista on, että sen tarvitseman datan hankkiminen on joukoistettu: yli 3000 vapaaehtoista, joista noin puolet on jatkuvasti aktiivisia, etsivät eri

teknologian alojen uusimpia läpimurtoja koskevia uutisia ja keskustelevat niiden merkityksestä menetelmän pääkehittäjä Risto Linturin kuratoimassa sosiaalisen median ryhmässä. Teknologioiden kehitystä arvioidaan suhteessa siihen, miten ne markkinoille levitessään mahdollistaisivat uudenlaisin keinoin yhteiskunnassa vakiintuneiden päämäärien tavoittelun. Näitä päämääriä ovat vaikkapa henkilöiden liikkuminen, terveyden ylläpitäminen ja ravitsemus. RTI-menetelmä pyrkii siis tutkimuksellisista ja teknologisista edistysaskelista ja läpimurroista kertovia uutisia seuloen arvioimaan esimerkiksi sitä, missä määrin ihmiset tulevat 2030-luvun lopulla hoitamaan henkilöliikenteen nykyisten valtateknologioiden, kuten bensiiniautojen, ja missä määrin radikaaliteknologioiden, kuten robottitaksien, avulla. Siirtymiä tarpeentyydytyksen keinoissa kutsutaan teknologiamurroksiksi. Vuoden 2018 julkaisussa ja Tulevaisuuspankki.fi -sivustolla kuvataan laajasti 20 teknologiamurrosta, jotka ovat visioita vuoteen 2037 mennessä mahdolliseksi arvioidusta kehityksestä. Visiot on muotoiltu mahdollisimman uskottaviksi kutakin päämäärää edustavien sidosryhmien työpajoissa. Tässä julkaisussa arvioidaan näiden visioiden suhdetta Agenda 2030 -tavoitteisiin.

Vetäkäämme seuraavaksi yhteen raportin keskeisiä löydöksiä. Alla oleva lista esittelee jokaisen teknologiamurroksen osalta sen, mihin suuntaan tarpeentyydytyksen ennakoidaan etenevän yhteiskunnan eri osa-alueilla. Teknologiamurrokset on järjestetty siten, että ylimpänä olevissa murroksissa radikaalien teknologioiden etenemisellä vaikuttaa olevan kaikkein laajin positiivinen vaikutus Agenda 2030 -tavoitteiden toteutumiseen. Lukija voi välittömästi huomata, että erityisesti oppiminen ja tiedonhankinta sekä energian ja ruuan tuotanto omaavat korkeimmat (suluissa ilmoitetut) vertailuluvut eli monipuolisimman potentiaalin siirtäjä kestävä kehityksen suuntaan uusien teknologioiden mahdollisuuksiin nojautuen:

- Osaaminen ja sen näyttö: kohti AI:n varmentamaa itsenäistä oppimista (4,18)
- Energia: kohti halpaa aurinkoenergiaa ja hajautettuja energiavarastoja (3,88)
- Havainnot ja tietäminen: kohti itse mitattua ja joukkoistettua AI-tietoa (3,88)
- Ravinto: kohti elintarvikeomavaraisia kaupunkia ja yksilöll. ruokaa (3,76)
- Työn korvaus koneilla: kohti työn robotisointia ja palvelevaa tekoälyä (3,18)
- Henkilöliikenne: kohti autonomista sähköistä liikennettä palveluna (2,94)
- Turvallisuus: kohti yksilöllistä ja joukkoistettua turvallisuutta (2,82)
- Etävaikuttaminen: kohti etäläsnäoloa ja virtuaalisia kohtaamispaikkoja (2,59)
- Tarkoituksellisuus: kohti tekojen ja yhteistyön suoraa palkitsevuutta (2,18)
- Tavaroiden valmistus: kohti joustavaa ja yksilöllistä lähituotantoa (2,06)
- Vaihdanta: kohti etäkauppaa ja digitalisoituja transaktioalustoja (2,06)
- Terveys: kohti ennakoivaa terveyttä ja pelillistä itsediagnostiikkaa (2,06)
- Materiaalit: kohti uusiutuvia materiaaleja ja kiertotaloutta (2,00)
- Yhteistyökyky: kohti talkoita ja kansainvälisiä luottamusalustoja (1,94)
- Rakennettu ympäristö: kohti kaupunkia autonomisena asumiskoneena (1,88)
- Valtarakenteet: kohti vaikutusten mukaan osallistavaa päätöksentekoa (1,47)
- Tavaraliikenne: kohti robotisoitua yksilöllistä kuljetusta ja kuormausta (1,41)
- Työ ja ansainta: kohti omavaraisuutta, jakamista ja mikroyrittäjyyttä (1,35)
- Toimintakyvyn avusteet: kohti vajavaisen ihmisen teknisiä avusteita (1,35)
- Elämykset: kohti robotisoituja ja virtuaalisia, osallistavia elämyksiä (1,12)

Listan loppupuolelta löytyvä työn ja ansainnan ennakoitu siirtymä kohti omavaraisuutta, jakamista ja mikroyrittäjyyttä on raportin tulosten perusteella kestävän kehityksen kannalta ristiriitaisin: Omavaraisuutta tukevat teknologiat auttavat ihmisten toimeentuloa erityisesti kehittyvillä alueilla. Kuitenkin lisääntyvä riippumattomuus rahataloudesta, työpaikoista ja verovaroin tuotetuista yhteiskunnan turvaverkoista vähentää itsenäisesti toimeentulevien välittömiä syitä kiinnostua yhteisistä intresseistä, yhteiskunnallisesta sääntelystä ja päätöksenteosta sekä ympäristön uusiutumiskyvystä oman elinpiirin ulkopuolella. Tämä on ongelmallista, koska globaalisti kestävää kehitystä tuskin voidaan saavuttaa ilman laajaa sitoutuneisuutta tarvittaviin päätöksiin ja toimiin, etenkin koska maailman väkiluvun ennakoidaan kasvavan vielä useita kymmeniä vuosia. Mutta kuten alemmaa huomataan, ainakin köyhyyden poistamiseen liittyvän Agenda 2030 -tavoitteen kannalta omavaraisuuden suuntaan tapahtuvan siirtymän nettovaikutus on kuitenkin arvioitu positiiviseksi.

Listan peränpitäjänä on elämyksiin liittyvä arvonluonti. Alan murrokselle keskeisten virtuaalisen viihtymisen teknologioiden on siis arvioitu hyödyttävän kestävää kehitystä suhteellisen vaatimattomasti, vaikka digitalisaatio mahdollistaakin esimerkiksi fyysisesti aktiivisemmat ja siten enemmän terveysvaikutuksia tuottavat virtuaalielämykset kuin nykyinen ”ruutuaika”. Lukijan kannattaa kuitenkin huomata, että virtuaalisen yhteisöllisyyden ja pelillisyyteen liittyvän palkitsevuuden mahdollisuudet tukea kestävää kehitystä on arvioitu huomattavan korkeiksi etenkin opetuskäytön, mutta myös elämän tarkoitukselliseksi kokemisen sekä terveyden ylläpitämisen näkökulmasta.

Kuten yllä olevista huomioista voi päätellä, tietämyksillä teknologioilla on erityisen suuri kestävyyspotentiaali. Tätä raporttia työstäessä esille on siilautunut seuraava joukko radikaaleja teknologioita, jotka kukin kytkeytyvät erityisen moniin Agenda 2030 -tavoitteisiin ja toimivat siten eräänlaisina kestävämmän tulevaisuuden raken-
nuspälikoina:

- Energiavarastot ja sähköistyminen
- Tekoäly ja digitaaliset kaksoset
- Autonomisesti liikkuvat robotit
- 3D-tulostus ja älykäs robotiikka
- Sisäviljely ja keinoliha
- Aurinkoenergia ja aurinkopolttoaineet
- Vihreät teolliset raaka-aineet
- VR&AR-todellisuus ja etäläsnäolo
- Henkilökohtaiset mittalaitteet
- Tietokoneavusteinen oppiminen
- Transaktioiden digitalisaatio
- Alustat, joukkoistus ja jakamistalous

Raportin avulla lukija voi perehtyä siihen, minkälainen potentiaali näihin ja lukuisiin muihinkin teknologioihin kestävän kehityksen kannalta liittyy. Raportin linkkien kautta lukija pääsee myös Tulevaisuuspankki.fi-sivustolta löytyviin laajempiin teknologiakuvauxiin ja voi edetä sitä kautta helposti aina ennakkoinnin pohjana käytettyihin

teknologiauutisiin asti. Näin on mahdollista nopeasti avata suora näköala parhaillaan tapahtuvaan teknologiseen edistymiseen kulloinkin kiinnostuksen kohteena olevalla alalla.

Alla olevaan listaan on tiivistetty kokonaiskuvaksi se, millä tavoilla teknologia voi tukea kestävän kehityksen tavoitteiden saavuttamista. Listassa kaikki 17 YK:n Agenda 2030 -tavoitetta on esitetty laskevassa järjestyksessä sen mukaan, mihin niistä kytkeytyy keskimäärin lukuisimpia ja pisimmälle edenneitä teknologiaratkaisuja. Tavoitteiden (sulkeissa olevat) vertailuluvut kuvaavat kuhunkin tavoitteeseen kytkeytyvien teknologisten ratkaisujen monipuolisuutta. Lukijan kannattaa huomata, että vaikka uusiutuvan energian teknologiat ovat kehitymässä nopeasti, energian saatavuuteen kytkeytyvän Agenda 2030 -tavoitteen vertailuluku jää varsin alhaiseksi sen tähden, että muun tyyppiset radikaalitekhnologiat eivät erityisen laajalti tue tätä tavoitetta. Listan yläpäähän sijoittuvien tavoitteiden korkea vertailuluku kertoo siitä, että toimeentulon edellytysten luomiseen ja tasapuolisempaan jakautumiseen kytkeytyy hyvin monipuolinen joukko erilaisia nopeasti kehittyviä teknologioita. Kunkin alla listatun tavoitteen alle on raportista valikoitu esimerkkejä teknologiaratkaisuista, joilla voidaan tukea kyseisen tavoitteen saavuttamista ja joiden ennakoidaan olevan laajasti saatavilla vuoteen 2037 mennessä.¹

- Poistaa köyhyys sen kaikissa muodoissa kaikkialta (3,9)
 - Tuotannontekijät jakautuvat tasaisemmin, kun uusiutuvan energian tuottaminen ja varastointi, 3D-tulostimet ja yksilölliseen räätälöintiin kykenevät robotit kehittyessään mahdollistavat tehokkaan paikallisen tuotannon. Transaktioiden digitalisaatio, tekoälypalvelut ja alustaosuuskunnat tukevat toimeentulon hankkimista paikkariippumattomasti.
- Edistää kaikkia koskevaa kestäväää talouskasvua, täyttä ja tuottavaa työllisyyttä sekä säällisiä työpaikkoja (3,9)
 - Ammattitaidon hankkimisen edellytykset paranevat, kun pääsy tietoverkkoihin mahdollistaa etäläsnäolon ja joukkoistuksen sekä tekoälyn tukeman itsenäisen kouluttautumisen. Etäneuvonta on AR-tekniikalla mahdollista lähes missä tahansa tehtävässä. Mikroyrittäjyys helpottuu paikkariippumattoman tuotannon teknologioiden, digialustoilla työskentelyn ja etäkaupan yleistyessä.
- Taata kaikille avoin, tasa-arvoinen ja laadukas koulutus sekä elinikäiset oppimismahdollisuudet (3,5)
 - Mahdollisuudet tasa-arvoistuvat, kun kaikilla, joilla on pääsy tietoverkkoihin, on pääsy laadukkaisiin oppimateriaaleihin ja pelilliseen vertaisoppimiseen. Osaaminen osoitetaan esimerkiksi selviytymällä simuloituista virtuaalimaailman tilanteista. Tekoälyavustajat, ympäristön itsenäinen tutkiminen henkilökohtaisin mittalaittein ja joukkoistettu, tekoälyllä jalostettava tieto tulevat yhä saavutettavimmiksi ja edullisemmiksi
- Vähentää eriarvoisuutta maiden sisällä ja niiden välillä (3,4)

¹ Koska tämä raportti pohjautuu aiemmin tehdyn, vuotta 2037 koskevan teknologianennakkoinnin tuloksiin, on vertailuvuosi tässäkin 2037, eikä Agenda-tavoitteiden vuosi 2030.

- Erityisesti halpa energia, kuten rakennuspintoihin integroitavat aurinkoenergiakalvot tai vedestä ja hiilidioksidista paikallisesti valmistettavat synteettiset polttoaineet, hajautetut energiavarastot sekä etäläsnäoloteknologioiden kehitys auttavat tasoittamaan globaaleja kehityseroja.
- Taata turvalliset ja kestävät kaupungit sekä asuinyhdyskunnat (3,2)
 - Resurssien kulutus ja liikkuminen kaupungeissa voi muuttua kestävämmäksi autonomisen ja sähköisen henkilöliikenteen, robotisoidun jätehuollon, rakennusten virtuaalimaailmahuoneiden, sisäviljelymahdollisuuksien sekä robottiyhteiskeittiöiden avulla. Lisätty todellisuus ja rakennusten digitaaliset kaksoiset poistavat rakentamisen ja kunnossapidon osaamisvajetta. Joukkoistetut turvallisuusratkaisut ehkäisevät rikollisuutta.
- Varmistaa kulutus- ja tuotantotapojen kestävyys (2,7)
 - Esim. hiilineutraali teräs ja betoni, luonnonkuitukomposiitit ja hiilidioksidin uusiokäyttö hiilivetyjen ja muovin valmistuksessa sekä tuotteiden elinkaarisuunnittelu mahdollistavat kestävä kehityksen mukaiset tuotteet.
- Tukea vahvemmin kestävä kehityksen toimeenpanoa ja globaalia kumppanuutta (2,6)
 - Tavoite edellyttää osaamisen ja tiedon saatavuutta, jota AI:n varmentama itsenäinen oppiminen ja itse mitattu, joukkoistettu AI-tieto tukevat. Kansainvälinen yhteistyö tukeutuu hyvän maineen kerryttämiseen etäkaupan edellyttämällä, vertaiskokemusten jakoon pohjautvilla kansainvälisillä luottamusalustoilla.
- Rakentaa kestävä infrastruktuuria sekä edistää kestävä teollisuutta ja innovaatioita (2,3)
 - Uusiutuvan, paikallisesti tuetun energian hinnan lasku mahdollistaa hiilineutraalien rakennusmateriaalien tuotannon. Nanomateriaalit korvaavat suuren osan kaivannaisista. Hiivoihin, sieniin sekä bakteereihin perustuvalla tuotannolla voidaan korvata monet kemianteollisuuden tuotteet. Uudisrakennusten aurinkopaneelin sisältävä katto- tai seinäpinta ei juurikaan nosta rakennuskustannuksia.
- Toimia kiireellisesti ilmastonmuutosta ja sen vaikutuksia vastaan (2,2)
 - Esimerkiksi halpa aurinkoenergia ja sen hajautettu varastointi, sähköinen liikenne palveluna, kaupunkien elintarvikeomavaraisuus LED-pohjaisen sisäviljelyn, soluviljelyn ja kasvipohjaisten lihankorvikkeiden tuotannon avulla mahdollistavat hiilineutraalin kaupunkielämän ja maatalousmaan palauttamisen luonnontilaan. Tekoälyavusteinen itsenäinen oppiminen sekä joukkoistettu AI-tieto ja turvallisuus tukevat ilmastoviisasta päätöksentekoa ja toimintaa.
- Taata terveellinen elämä ja hyvinvointi kaiken ikäisille (2,1)
 - Ihmisten ”digitaalisten kaksosten” avulla itse mitattua terveystietoa voidaan helposti koota ja tulkita tekoälyavusteisesti, mikä mahdollistaa terveysongelmien ja eri elämäntapavalintojen vaikutusten ennakoinnin ja sairauksien räätälöidyn hoidon.
- Edistää rauhanomaisia yhteiskuntia ja taata kaikille pääsy oikeuspalveluiden pariin; rakentaa tehokkaita ja vastuullisia instituutioita kaikilla tasoilla (2,0)

- Tekoälypalveluita ja joukkoistusta voidaan hyödyntää kaikkialla, mutta hyöty on suurin siellä missä kansalaisten koskemattomuus ja oikeusturva ovat heikoimmat: Henkilökohtaisia AI-pohjaisia turvaohjelmia voidaan käyttää tunnistamaan tietomurrot, valeinformaatio ja tekaistut identiteetit. Ne hyödyntävät joukkoistettua tietoa varoittaakseen vaarallisista tilanteista liikenteessä, uhkaavista ihmisistä, vaarallisista kemikaaleista, biologisista riskeistä tai tuoteväärennöksistä. Terveydelliset uhat, tautikohtaukset ja väkivalta saattavat tuottaa varoituksen ja avunpyynnön lähistön ihmisille tai pelastusviranomaisille.
- Saavuttaa sukupuolten välinen tasa-arvo sekä vahvistaa naisten ja tyttöjen oikeuksia ja mahdollisuuksia (2,0)
 - Robotisaatio ja tekoälypalveluiden yleistyminen vähentävät fyysisen voiman merkitystä suorittavassa työssä. Autonominen liikenne palveluna tukee naisten ja tyttöjen itsenäistä liikkumista ja AI-varmistettu oppiminen tukee sukupuoli- ja paikkariippumatonta opiskelua.
- Poistaa nälkä, saavuttaa ruokaturva, parantaa ravitsemusta ja edistää kestävää maataloutta (1,9)
 - Erityisesti sisäviljelyn mahdollistama kaupunkien elintarvikeomavaraisuus tukee tuoreen ja ravitsevan ruuan saatavuutta. DNA-tutkimusten ja henkilökohtaisten elintoimintojen seurantalaitteiden yleistyminen mahdollistavat yksilölliset ruokavaliosuosituksiset. Keittiörobotit huomioivat ruokailijoiden mieltymykset, metabolian ja allergiat. Älypuhelinien sensorit (materiaalitutkat, keinonenät ja 3D-kamerat) tunnistavat tuotteet ja tilanteet sekä arvioivat niiden turvallisuuden. Omaohjaus sekä riskitiedon joukkoistus helpottavat elintarvikehuollon hajautusta.
- Varmistaa edullinen, luotettava, kestävä ja uudenaikainen energia kaikille (1,9)
 - Uusiutuvan energiantuotannon kuten aurinkopaneelien, tuulivoiman, lämpökaivojen ja leijaenergian halpeneminen sekä akkuteknologian kehitys suosii haja-asutusalueita, jotka kykenevät vastaamaan paikallisen aurinkoenergian tuotannon pinta-alatarpeisiin kaupungeja paremmin.
- Varmistaa veden saanti ja kestävä käyttö sekä sanitaatio kaikille (1,4)
 - Sisäviljely suljettuine kiertoineen vähentää maatalousveden tarvetta merkittävästi. Edullisten mittalaitteiden avulla kansalaiset voivat havaita ja tiedottaa talous- ja luonnonvesistöiden epäpuhtauksista.
- Suojella maaekosysteemejä, palauttaa niitä ennalleen ja edistää niiden kestävä käyttöä; edistää metsien kestävä käyttöä; taistella aavikoitumista vastaan; pysäyttää maaperän köyhtyminen ja luonnon monimuotoisuuden häviäminen (1,3)
 - Rehu kasvien viljely käy tarpeettomaksi, jos liha tuotetaan bioteknisin menetelmin sammioissa tai lihan makuisia ja ravinnepitoisuudeltaan vastaavia elintarvikkeita tuotetaan sisäviljelyistä kasveista. Tämä mahdollistaa lihantuotannon edellyttämän, rehuviljelyssä olevan maatalousmaan palauttamisen luonnontilaiseksi. Robotein voidaan tehostaa kierrätystä ja metsänistutuksia ja vähentää torjunta-aineiden käyttöä fyysisen kitkennän avulla.

- Säilyttää meret ja merten tarjoamat luonnonvarat sekä edistää niiden kestäväää käyttöä (1,1)
 - Siirtymä uusiutuvaan energiaan hidastaa merten happamoitumista. Työn robotisaatioon liittyvä kierrätyksen tehostuminen auttaa vähentämään merien jätekuormaa. Siirtyminen kemianteollisuuden keinoista bioteknologiaan vähentää ihmiselle ja luonnolle vaarallisia ympäristöhaittoja. Elintarvikeomavaraisten kaupunkien suljetun kierron sisäviljely edistää merien ja rannikkoekosysteemien kestävyyttä.

Tulevaisuusvaliokunta painottaa, että huolimatta moniin teknologioihin liittyvistä innostavista mahdollisuuksista, on elintärkeää kiinnittää huomiota Agenda 2030 -tavoitteiden listan alapäähän: siinä missä teknologia tukee inhimillistä hyvinvointia monin tavoin, vesi- ja maaekosysteemien toimintaa ja hyödyntämistä on kaikkein haastavinta muuttaa kestäväksi pelkästään teknologian keinoin. Radikaalit teknologiat ovat toki avuksi, sillä ne auttavat päästöjen vähentämisessä ja tehostavat ravinnontuotantoa niin että maatalouskäytössä olevaa maa-alaa voidaan pienentää. Mutta jo järkkymässä olevien ekosysteemien tasapainon palauttamiseen ei kuitenkaan löydy nopeasti parantavaa lääketä teknologiasta. Ekosysteemien nopeaksi vakauttamiseksi on siis täysin välttämätöntä tehdä myös muunlaisia poliittisia päätöksiä ja rajoituksia, joilla luonnon uusiutumiskyvystä huolehditaan.

Toinen valiokunnan viesti on, että vaikka teknologian kehitys ei oletettavasti pysähdy, se ei itsestään myöskään etene tavalla, joka väistämättä tukisi kestäväää kehitystä. Yksittäiset teknologiat eivät maailmaa muuta, vaan niiden täytyy kytkeytyä sekä toisiinsa että ihmisten työhön ja arkeen tavalla, joka synnyttää uusia tapoja toimia. Raportin luvussa 2 kuvatut teknologiamurrokset ovat tällaisia systeemiä kuvauksia siitä, miten inhimilliset tarpeet voidaan tyydyttää uusilla toimintatavoilla. Luvussa myös arvioidaan kunkin murroksen vaikutuksia kestäväään kehitykseen. Nämä vaikutusarviot on raportin tekijä Risto Linturi merkinnyt ”keskeiset Agenda 2030-vaikutukset” -väliotsikoin.

Teknologiamurrokseen tutustumalla huomataan, että teoriassa ne mahdollistavat huomattavasti kestävämmät käytännöt kuin nykyteknologia. Mutta mitä oikeastaan pitää tapahtua, jotta teoria muuttuu käytännöksi? Tämän kysymyksen kannalta tärkeät kapaleet on otsikoitu ”murroksen reunaehdoiksi”. Jokaiselle murrokselle on kuvattu omat reunaehdot, eli oletukset, joiden toteutuessa visio on mahdollinen. Reunaehdot liittyvät erityisesti suorituskykyyn ja hintaan, joka teknologioiden on saavutettava ennen kuin ne ovat kilpailukykyisiä nykyratkaisuihin nähden. Mutta suotuisan teknologiakehityksen reunaehdoiksi tunnistetaan myös teknologioiden liittymäpintojen standardointi, investoinnit tiettyihin julkisiin infrastruktuureihin, vanhoja rakenteita suosivien säädösten ja normien purkaminen, ja paikoin jopa yksityisyydensuojan liudentaminen muiden yhtä arvokkaiden päämäärien mahdollistamiseksi. Nämä ovat seikkoja, joihin päättäjät voivat pureutua, mikäli pitävät raportissa kuvattuja teknologiamurroksia toivottavina tapoina tukea kestäväää kehitystä.

Edellä mainitut reunaehdot ovat kunkin murroksen välttämättömät, mutta eivät vielä riittävät ehdot. Tähän liittyen Linturi on pyrkinyt ennalta tunnistamaan myös syyt ja kehityskulut, jotka voisivat kunkin murroksen osalta johtaakin kestävämmiin, jopa rikollisiin tapoihin käyttäen teknologiaa tai tuottaa tahattomia oheisvaikutuksia, jotka

lisäisivät luonnonympäristöille tai ihmisten terveydelle koituvia haittoja tai johtaisivat pääomien, resurssien, mahdollisuuksien tai vapauksien kasautumiseen vain harvoille. Nämä kehityksen mahdolliset käänköpuolet Linturi on otsikoinut ”keskeisiksi jännitteiksi”. Siinä missä innostavat Agenda 2030 -vaikutukset näyttäytyvät teknologiakolikon etupuolena, ovat keskeiset jännitteet ja niiden nostattamat eettiset priorisoinnit se väistämätön käänköpuoli, joka myöskin on tutkittava kestäväen kehityksen saavuttamiseksi. Jännitteiden kohtaaminen ja lievittäminen lainsäädäntöä ja politiikkatoimia uudistamalla on päättäjien työn keskiössä. Tämä raportti piirtää jännitekarttaa, johon perehtymällä ongelmiin ei tarvitse vain reagoida sitä mukaa kuin ne käyvät ilmeisiksi. Ennakoiminen ja varautuminen muuttavat ongelmat haasteiksi ja suuntaavat kehitystä ohi uhkien, kohti mahdollisuuksia.

Kohti parempaa tulevaisuutta -raportti on myös tutkimuksellisesti uudenlainen avaus teknologian kestävyysvaikutusten arvioinnissa. Se arvioi teknologioiden kehityspotentiaalia osana sosiaalis-taloudellis-ekologisesti hahmotettua yhteiskuntaa. Usein teknologioita arvioidaan tätä kapeammin, esimerkiksi elinkaari- tai hiilijalanjälkianalyysien avulla, tai kestävyyttä pohditaan pikemminkin organisaatiotasolla yritysten vastuullisuus- ja kestävyysraporteissa, joissa toiminnan kestävyys perustuu siihen, paljonko esimerkiksi päästöjä aiheutuu tai millä tavalla työntekijöiden oikeuksista huolehditaan. Näiden lähestymistapojen ero RTI-menetelmään on, että perinteisissä menetelmissä arviointi suhteutetaan nykyhetkeen eikä siihen, millainen olisi tavoiteltu, parempi tulevaisuus, joita raportin teknologiamurrosvisiot edustavat. Tietoa nykyisten ratkaisuiden ominaisuuksista ja niiden hiomista paremmaksi tietysti tarvitaan. Mutta vähittäiset parannukset saattavat myös johtaa umpikujaan, kuten vaikkapa hiilineutraaliuden tavoittelu ainoastaan energiaa säästämällä. Päätöksentekijät sekä innovaattorit tarvitsevat myös välineitä sen arvioimiseen, mitä vaihtoehtoja nykytrendien vähittäiselle jatkumiselle voisi olla ja mitkä voisivat olla ne tarvittavat kestävät toimintamallit. RTI-pohjainen menetelmä iskee tähän tarpeeseen.

Mutta miten jotain niin monitahoista kuin teknologian kestävyysvaikutuksia koko yhteiskuntaan voi arvioida? Tämä edellyttää kahta asiaa. Ensinnäkin, teknologioita ei arvioida erillisinä, vaan ne on tässä raportissa niputettu edellä mainituiksi systeemisiksi teknologiamurrosvisioiksi. Toiseksi, koska kestävyys on arvosidonnainen käsite, on välttämätöntä tehdä arvioinnin taustaoletukset näkyviksi. Linturi näyttää kunkin kestäväen kehityksen tavoitteen kohdalla kysymyspatteriston, joilla teknologiamurrosten vaikutuksia on arvioitu. Esimerkiksi Agenda 2030-tavoite ”taata terveellinen elämä ja hyvinvointi kaikenikäisille” (UN SDG 3) on purettu seuraaviksi analyysissä käytetyiksi teknologiamittareiksi: ”Helpottaako teknologiamurros yleisen terveystiedon saatavuutta tai edistääkö se terveystiedon vaikuttavuutta? Auttaako se laajentamaan diagnostista kyvykkyyttä tai lääkkeiden saatavuutta väestöryhmille, jotka nyt jäävät terveydenhuollon palveluiden ulkopuolelle? Tehostaako teknologiamurros vakavien sairauksien hoitomenetelmiä laajasti saavutettavalla tavalla? Vähentääkö se syrjäytymisestä tai muista syistä aiheutuvia henkisiä ongelmia? Vähentääkö se onnettomuusriskejä tai tartuntatautien riskejä? Vähentääkö teknologiamurros ihmiselle vaarallisia ympäristöhaittoja? Edistääkö se terveitä elintapoja mm. ravinnon ja liikkumisen osalta?”

Nämä kysymyspatterit ovat itse asiassa poikkeuksellinen innovaatio. Tulevaisuusvaliokunnan tiedossa ei ole toista yhtä systemaattista yritystä operationalisoida teknologioiden ja kestäväen kehityksen keskinäistä yhteyttä koko yhteiskunnan tasolla. Kysymyssarjojen kattavuus on tämän raportin julkaisun myötä kenen tahansa läpinäkyvästi arvioitavissa, mikä avaa mahdollisuuden myös mallin vapaaseen käyttöönottoon ja paranteluun.

Luvun 3 alussa Linturi avaa tarkemmin sitä ajattelua, jolla YK:n 17 luonteeltaan hyvin erilaisen tavoitteen keskeiset piirteet on mallinnettu teknologiavaikutusten arvioinnin mahdollistamiseksi. Kaaviokuvan keskellä olevat ”pullonkaulat ja mittakaavaedut” sekä niiden rinnalla esitetyt ”potentiaalierot” ovat mallin ydinkäsitteitä. Yhteiskunta ymmärretään järjestelmäksi, jonka tietyt piirteet synnyttävät resurssien, mahdollisuuksien, energian tai vaikka terveyden potentiaalieroja, eli epätasaista jakautumista. Kehityksen kestävyys puolestaan on tulkittu kahdesta kulmasta: Ensinnäkin se on potentiaalierojen pienentämistä eli arvokkaiden asioiden tasaisempaa saatavuutta. Toisaalta se on välinpitämättömyydestä ja tietämättömyydestä johtuvien ulkoishaittojen vähenemistä, jota esimerkiksi toiminnan ja informaation läpinäkyvyys tukevat.

Esimerkiksi osaamisen tasaisempi saatavuus siis edistää kestävää kehitystä. Laadukkaan opetuksen ja oppimateriaalien saanti on aiemmin ollut ”pullonkaula”, joka on teknologisen kehityksen myötä poistumassa. Tekoälypohjainen kielenkääntäminen alentaa kielimuureja ja digitalisaatio ja jakamistalous tuovat laadukkaat oppimateriaalit kaikkien tietoverkkoon pääsyn omaavien motivoituneiden oppijoiden ulottuville. Tämä vähentää osaamiseroja alueiden ja ihmisten välillä. Lisäksi digitaalisten oppimateriaalien, tekoälyn ja halpojen mittalaitteiden avulla osaaminen kehittyy uusimmissa asioissa nopeammin kuin jos oppi jaettaisiin vain perinteisin tavoin ensin kaikille opettajille ja sitten näiden välityksellä oppilaille. Tämäntyyppisellä erojen pienemisellä on suurin merkitys kehittyvillä alueilla—minkä merkitystä saattaa olla haastavaa hahmottaa valmiiksi pienten potentiaalierojen Suomesta käsin. Juuri osaamisen ja tietämisen teknologioihin sisältyykin valtavat mahdollisuudet, joissa Suomen olisi mahdollista profiloitua kestäväen kehityksen osaajana kansainvälisillä kentillä. Tähän ei kuitenkaan riitä pelkkä teknologinen ja markkinointiosaaminen. Nykyiset oppimisteknologiat ovat vielä kömpelöitä ja niihin liittyvä teknologiamurroksen nousu on vasta alkamassa. Oppimisteknologian maailman edelläkävijyys tulee kuitenkin olemaan sen, joka yhdistää teknologiaosaamiseen, pelillisen osaamisen ja parhaan pedagogisen ymmärryksen etäoppimiselle ominaisista keinoista.

Tulevaisuusvaliokunta kiittää Risto Linturia valtavasta työstä kestäväen kehityksen ja teknologian yhteyden avaamiseksi tässä raportissa. On rohkaisevaa, että teknologiat voidaan perustellusti liittää ihmisten globaalin hyvinvoinnin kannalta positiiviseen kehitykseen. Niitä voidaan ja tulee käyttää vähentämään ihmistoiminnan luonnolle aiheuttamaa painetta samalla kun etsitään ei-teknologisin keinoin tasapainoa ekologisen kestävyys ja ihmiskunnan koon välille. Olkaamme positiivisia ja eteenpäin katsovia - meillä on monia mahdollisuuksia kestäväen tulevaisuuden luomiseen.

Helsingissä, 4.11.2020,

Tulevaisuusvaliokunta

Joakim Strand, puheenjohtaja (r.)

Pirkka-Pekka Petelius, varapuheenjohtaja (vihr.)

Jäsenet

Marko Asell (sd.)

Harry Harkimo (liik.)

Hannakaisa Heikkinen (kesk.)

Mari Holopainen (vihr.)

Katja Hänninen (vas.)

Ville Kaunisto (kok.)

Pasi Kivisaari (kesk.)

Ari Koponen (ps.)

Antti Lindtman (sd.)

Merja Mäkisalo-Ropponen (sd.)

Arto Pirttilahti (kesk.)

Kristiina Salonen (sd.)

Sari Tanus (kd.)

Sinuhe Wallinheimo (kok.)

Jussi Wihonen (ps.)

1. Johdanto

Tämä raportti esittelee kattavan teknologialähtöisen maailmanparannusohjelman ja arvioi sen YK:n kestävän kehityksen kriteerien avulla. Raportin kuvaamat 20 visiota uudistavat yhteiskunnan kaikki organisoidun arvonluonnin verkostot ja muodostavat yhteensopivan kokonaisuuden. Kokonaisuus osoittaa, miten eri aloilla kehittyvien radikaalien teknologioiden yhteisvaikutus voi muuttaa maailmaa. Samat visiot on aiemmassa työssä esitetty ja osoitettu sekä mahdolliseksi että ennakkointinäkökulmasta uskottaviksi. Tässä raportissa ne on kiteytetty helpommin luettavaan muotoon ja arvioitu niiden toteutumisen vaikutus kestävän kehityksen tavoitteiden näkökulmasta.

Teknologiakehityksen merkityksestä kestävän kehityksen edistämiseksi vallitsee laaja yhteisymmärrys. Systemaattisia vaikutusanalyyskejä yhteiskuntien kaikki osa-alueet kattaville toimintatapavisioille ei kuitenkaan tätä ennen ole tiedossa. Erillisten teknologioiden mahdollisia hyötyjä on toisaalta arvioitu laajasti. ([WIPO 30.8.2020](#), [World Economic Forum 24.9.2019](#), [UNCTAD 6.5.2019](#), [Institute for Transformative Technologies 2019](#), [IISD 27.9.2019](#), [PWC 17.1.2020](#), [WSJ/Deloitte 23.9.2019](#))

YK:n kestävän kehityksen toimintaohjelma, Agenda2030, on kunnianhimoinen valtioiden laajasti hyväksymä ja poliittisesti sitova asiakirja. Toimintaohjelman keskeisimpänä sisältönä on 17 tavoitetta, jotka jakautuvat 169 alatavoitteeseen. Näihin liittyvän kansallisen toimenpideohjelman seuranta on eduskunnan tulevaisuusvaliokunnan tehtävä. Tähän tehtävään liittyen tulevaisuusvaliokunta on päättänyt selvittää tarkemmin teknologian roolia ja mahdollisuuksia erityisesti kestävän kehityksen edistämässä.

Tulevaisuusvaliokunta on tehnyt systemaattista teknologian ennakkointia, jonka seurauksena on julkaistu seitsemän radikaalit teknologiat -raporttia. Näistä tuorein on kokonaisvaltainen ennakkointiraportti, Suomen sata uutta mahdollisuutta 2018-2037 -Yhteiskunnan toimintamallit uudistava radikaali teknologia ([Linturi&Kuusi 2018](#)). Siinä analysoidaan ja kuvataan radikaalien teknologioiden mahdollistama transformatio yhteiskunnan kaikilla osa-alueilla. Visioiden aikajänne on 10 vuotta varhaiseen toiminnalliseen toteutumiseen ja 20 vuotta laajaan yhteiskunnalliseen vaikutukseen.

Tässä raportissa esitellään ensimmäinen versio menetelmästä, jolla ennakoidaan teknologiamurrosten vaikutuksia kestäväan kehitykseen ja Agenda 2030 -tavoitteisiin. Yksittäisten teknologioiden vaikutuksia ei tässä arvioida, sillä ne riippuvat teknologioiden käyttötavoista. Perustellumpaa on arvioida teknologioiden mahdollisia systeemisiä yhteisvaikutuksia. Tässä arvioinnin kohteeksi on valittu 20 teknologiamurroksen uskottavasti mahdollistamaa uutta toimintatapaa. Ne on ensin muotoiltu systeemisiksi visioiksi. Varsinainen arviointi nojautuu tavoitteisiin ja yleisiin kausaaliisiin oletuksiin mm. tuotannon tekijöiden, valtarakenteiden ja tiedon vaikutuksista esimerkiksi tavoitteina esiintyviin eriarvoisuuden, tuottavuuden ja ulkoishaittojen mittareihin.

Menetelmää testataan kahdessa vaiheessa: Ensin siis kiteytetään Suomen sata uutta mahdollisuutta 2018-2037 -raportissa tunnistetut 20 transformaatiota tiiviiksi visioiksi. Tämän jälkeen arvioidaan kunkin vision ennakoidut vaikutukset Agenda 2030 tavoitteisiin visioiden aikajänteellä.

Tarkastelunäkökulma on globaali ja aikajänteeltään pitkä. Radikaalit teknologiat harvoin kypsyvät laajaan vaikuttavuuteen yhdessä vuosikymmenessä. Toimintamallit on kuitenkin valittu siten, että ponnistelu kestävä kehityksen hyötyjen saavuttamiseksi niiden avulla voi alkaa heti. Transformaatiot voivat toteutua 2030-luvun kuluessa.

2. luvussa kuvataan teknologiamurrosten visiot. Teknologioiden sijaan keskitytään kehityksen mahdollistamiin uusiin yhteiskunnallisiin toimintatapoihin eli sosioteknisiin systeemeihin. Visiokohtaisesti esitetään myös transformaatioiden teknologiset oletukset, vision vaikutukset Agenda 2030 -tavoitteisiin ja murroksen keskeiset jännitteet.

3. luvussa esitellään ensin arviointimenetelmän laadinnan perusteet ja tämän jälkeen menetelmän keskeiset mittarit kunkin Agenda 2030 -tavoitteen osalta. Samalla esitetään tavoitekohtaisesti ne teknologiamurrosvisiot, joiden vaikutus kunkin tavoitteen edistämiseen arvioidaan suurimmaksi.

4. luvussa tarkastellaan sekä menetelmää että tuloksia kokonaisuutena. Menetelmä on toimiva, mutta sitä voi tarkentaa monin tavoin. Jokainen esitetyistä teknologiamurrosvisioista arvioidaan kokonaisuuden kannalta myönteiseksi.

Visiot on tarkoituksella kirjoitettu tavoittelemisen arvoisiksi, rohkeiksi, mutta mahdollisiksi rakenteiksi, askelmerkeiksi ja keinoiksi kohti nykyistä parempaa maailmaa. Visiot eivät ole ongelmattomia, niiden toteutumiseen sisältyy riskejä ja uhrauksia. Visiot eivät ole deterministisiä ennusteita eivätkä toteudu ponnistuksista. Nyt tunnistetut ja tunnistamattomatkin jännitteet voivat estää vision toteutumisen ja kääntää teknologian hyödyt haittoiksi. Visiot ovat siis mahdollisia tulevaisuuksia, kunnes ne tehdään todeksi. Maailma voi muuttua nykyistä paremmaksi ja radikaalien teknologioiden visioitu rooli globaalien haasteiden ratkaisussa on suuri, jos niin yhdessä tahdomme.

Tekijä kiittää valiokuntaa ennakointimenetelmää kehittävästä ja sisällöltään tärkeästä toimeksiannosta sekä valiokuntaneuvos Olli Hietasta sekä valiokunnan pysyvää asiantuntijaa Maria Höyssää monista tärkeistä neuvoista ja kannustuksesta. Kiitos myös visioiden alkuperäisten versioiden työstämiseen osallistuneelle Osmo Kuuselle ja Suomen sata uutta mahdollisuutta 2018-2037 -teoksen käsikirjoitusvaiheessa visioita kommentoineille kansallisen innovaatiojärjestelmän kymmenille asiantuntijoille. Suuri kiitos kuuluu myös niille sadoille Tulevaisuusvaliokunnan Radikaalit innovaatiot -joukkoistutus-ryhmän jäsenille, joiden keräämään aineistoon tämäkin raportti pohjautuu. Erityinen kiitos seuraaville henkilöille, jotka ovat kommentoineet tämän käsillä olevan raportin luonnoksia: Arto Aalto, Kari Alanne, Kate Alhola, Timo Ali-Vehmas, Nea Barmann, Juha Ekberg, Veikko Hintsanen, Grändi Hytönen, Mika Järvenpää, Kari Kaakko, Jari Kaivo-oja, Arno Karatmaa, Pekka Ketola, Antti Kiikka, Antti Kolari, Juha Krapinoja, Osmo Kuusi, Mikael Lakso, Jarkko Lammi, Kaija Linturi, Tatu Lund, Jukka Matikainen, Leena Merisaari, Marko Miinin, Tatu Mäkilä, Janne Nevalainen, Ville Nokipii, Tarja Ollas, Janne Ollenberg, Merja Penttilä, Jarmo Perttula, Matti Pyykkönen, Tapio Rinne, Auvo Rouvinen, Janne Saarikko, Tuomas Santakallio, Jouni Särkijärvi, Markku Tahkokorpi, Minna Takala, Laura Tiilikainen, Mikko Unkuri, Timo Vakkilainen.

2. Teknologiamurrokset arvonluontiverkostoittain

Teknologiakehitys mahdollistaa arvonluonnin uudennlaisin keinoin. [Suomen sata uutta mahdollisuutta 2018-2037 -raportissa](#) sekä sen jälkeisessä aktiivisessa seurantatyössä on joukkoistetusti koottu ja arvioitu yli 2.000 tiede- ja teknologiauutista radikaalien teknologioiden kehityksestä. Havaintojen potentiaalinen merkitys on analysoitu jakamalla yhteiskunnan organisoitu toiminta ensisijaisen päämääränsä perusteella 20 eri arvonluontiverkostoon. Kuhunkin arvonluontiverkostoon on kehitetty nykyiselle toimintatavalle vaihtoehto, jonka uusi teknologia näyttäisi mahdollistavan. Toimintatavan määrittelyssä on otettu huomioon erilaisten sidosryhmien intressit, arvot ja normit sekä mm. uudet ammatit ja toimintatapaan liittyvät riskit ja ristiriidat. Vaihtoehtoiset toimintatavat on otsikoitu seuraavasti:

Henkilöliikenne: kohti autonomista sähköistä henkilöliikennettä palveluna

Tavaraliikenne: kohti robotisoitua yksilöllistä kuljetusta ja kuormausta

Tavaroiden valmistus: kohti joustavaa ja yksilöllistä lähituotantoa

Ravinto: kohti elintarvikeomavaraisia kaupunkeja ja yksilöllistä ruokaa

Energia: kohti halpaa aurinkoenergiaa ja hajautettuja energiavarastoja

Materiaalit: kohti uusiutuvia materiaaleja ja kiertotaloutta

Rakennettu ympäristö: kohti kaupunkia autonomisena asumiskoneena

Vaihdanta: kohti etäkauppaa ja digitalisoituja transaktioalustoja

Etävaikuttaminen: kohti etäläsnäoloa ja virtuaalisia kohtaamispaikkoja

Työn korvaus koneilla: kohti työn robotisointia ja palvelevaa tekoälyä

Työ ja ansainta: kohti omavaraisuutta, jakamista ja mikroyrittäjyyttä

Terveys: kohti ennakoivaa terveyttä ja pelillistä itsediagnostiikkaa

Toimintakyvyn avusteet: kohti vajavaisen ihmisen teknisiä avusteita

Havainnot ja tietäminen: kohti itse mitattua ja joukkoistettua AI-tietoa

Osaaminen ja sen näyttö: kohti AI:n varmentamaa itsenäistä oppimista

Elämykset: kohti robotisoituja ja virtuaalisia, osallistavia elämyksiä

Turvallisuus: kohti yksilöllistä ja joukkoistettua turvallisuutta

Yhteistyökyky: kohti talkoita ja kansainvälisiä luottamusalustoja

Tarkoituksellisuus: kohti tekojen ja yhteistyön suoraa palkitsevuutta

Valtarakenteet: kohti vaikutusten mukaan osallistavaa päätöksentekoa

Tässä luvussa nämä uudet toimintatavat kuvataan kiteytettyinä visioina. Ne eivät toteudu automaattisesti. Kyse on mahdollisista tavoitteista, joiden saavuttaminen edellyttää teknologisen kehityksen lisäksi yhteiskunnan toimia esimerkiksi osaamisen kehittämisen, investointien ja lainsäädännön tasolla. Teknologiat itsessään mahdollistavat monenlaisia toimintatapoja, joista toimijat ja yhteiskunta yhdessä muovaavat haluamansa sosiotekniset valtavirrat. Tähän valitut visiot ovat tarkoituksellisen positiivisia ja olettavat yhteiskuntien kykenevän laajasti yhteistyöhakuisen toimintaan. Utopioista ei kuitenkaan ole kyse. Visiot ovat arvioiden mukaan selkeästi saavutettavissa.

Kuvaukset ovat optimistisia. Ei syvennyttä vaihtoehtoihin, joissa ihmiset aiheuttavat teknologisen katastrofin vaikkapa ydinsodan tapaan. Monet uudet teknologiat avaavat

tällaisia dystooppisiakin vaihtoehtoja. Vaikka epäonnisia tulevaisuuksia ei kuvata, pyritään visioiden toteutumisen oletukset ja kehityksen vastavoimat kuitenkin mainitsemaan. Samaten huomautetaan visioiden myötä syntyvistä haitoista ja riskeistä.

Tulevaisuus on ihmisten käsissä. Tavoitteet ovat hyvin moninaisia, eikä teknologinen kehityskään ole täysin yllätyksetöntä. Siksi tässä raportissa kuvatut uhkat, mahdollisuudet ja vastakkainasettelut tarjoavat parhaimmillaankin vain osittaisen näkymän.

Kunkin vision kuvaus on globaali ja mahdolliseksi arvioitu tavoitetilä esimerkkien havainnollistamana. Visioiden hyödyt Agenda 2030 -tavoitteiden näkökulmasta on kuvattu omina kappaleinaan. Vision toteutumiseen vaadittu teknologinen ja teknologia-politiittinen taso on esitetty tämän jälkeen. Vision arvioidut haitat ja toteutumista estävät jännitteet kuvataan omassa kappaleessaan. Metodi, jolla hyödyt ja haitat arvioidaan, kuvataan luvussa 3. Yhteenvedo havainnoista esitetään luvussa 4.

2.1. Henkilöliikenne – kohti autonomista sähköistä henkilöliikennettä palveluna

Nykytila: Ihmisillä on jatkuva tarve siirtyä paikasta toiseen. Kuljettajalliset henkilöautot, kevytliikennevälineet ja joukkoliikennevälineet ovat muodostaneet arvonluonnin valtavirran. Viimeaikainen teknologiamurros on jo tehnyt yleisiä digitaalisesti vuokratavista kaupunkipyöristä ja sähköavusteisista potkulaudoista.

Teknologiamurroksen visio on robotisoitu sähköinen palveluliikenne. Robotti-auto noutaa kuljetuksen tarvitsijan hänen toivomastaan paikasta tai pysäkiltä ja jatkaa automaattisesti seuraavan kuljetettavan luokse vapauduttuaan. Kuljetusmuodon vaihto on helppoa, koska parkkipaikkaa ei tarvitse etsiä eikä autoa noutaa tai palauttaa. Haja-asutusalueilla käytetään pieniä sukkuloita, runkoreiteillä siirrytään joukkoliikennevälineisiin, keskustoissa sekä muutoin haluttaessa käytetään kevytliikennevälineitä ja katettuja kävelyreittejä. Kaupunkitunnelit ja sähköiset robotisoidut ilmataksit ratkaisevat osan ruuhkien ongelmista kiireisimmille matkaajille.

Palvelukäytössä liikennevälineiden käyttöaste kasvaa moninkertaisesti ja esimerkiksi henkilöautojen kokonaismäärä vähenee radikaalisti jakamistalouden mekanismein. Parkkialueiden tarve romahtaa kaupunkitilaa vapauttaen sekä asuinalueiden, työpaikkojen että palveluiden lähellä. Autojen sähköistyminen kasvattaa autojen käyttöikää ja vähentää sekä huolto- että käyttökustannuksia. Näiden lisäksi niin joukkoliikenne kuin henkilöautoliikennekin muuttuvat tuotantokustannuksiltaan nykyistä halvemmiksi kuljettajakustannuksen poistuessa ja kaluston käytön tehostuessa.

Murroksen reunaehdot: Visiossa oletetaan akkuteknologian kehittyvän nykyistä paremmiksi siten, että akkujen valmistus tai kierrätys ei aiheuta merkittävää haittaa luonnolle. Oletetaan myös, että akkujen hinta laskee ja akut kestävät miljoonan kilometrin ajon niin, että akkujen osuus kilometrikohtaisesta kustannuksesta henkilöautossa laskee alle yhteen senttiin ajokilometriä kohden. Tekoälyn oletetaan kehittyvän sellaiseksi, että auto selviää omalla toiminta-alueellaan vakioiteistä ja auton joutuessa outoon tilanteeseen palvelukeskuksen kauko-ohjaus voi opastaa auton eteenpäin.

Tekoälyn ei siis edellytetä selviävän kaikissa paikoissa ja olosuhteissa itsenäisesti, mutta oletetaan, että esimerkiksi yksi kauko-ohjaaja sataa autoa kohden riittää. Lisätietoja Tulevaisuuspankissa [akkukehityksestä](#), [robottiautoista](#) ja [ilmatakseista](#).

Agenda 2030 -vaikutukset: Teknologiamurros tarjoaa köyhyiden poistamiseen monia eväitä. Liikkumisen vapaus voidaan autonomisen palvelun avulla saavuttaa aiempaa pienemmin kustannuksin ja omistamatta ajoneuvoa. Terveyttä murros edistää vähentämällä tartunta- ja onnettomuusriskejä sekä ihmiselle haitallisia ympäristövaikutuksia. Naisten asemaa murros edistää sivuuttamalla ajokorttitarpeen ja auton omistamisen, jotka joissakin yhteiskunnissa ovat keskittyneet miehille. Liikenteen sähköistämisen irrottaa sen öljyriippuvuudesta ja kasvattaa energiatehokkuutta. Samalla paikallisesti tuotettu aurinkoenergia saa lisää varastointikapasiteettia. Yksilöllisen liikkumisen helpottuminen tuottaa merkittävää ja laajaa lisäarvoa, joka edistää kestäväää talouskasvua. Eriarvoisuuden vähentämistä murros auttaa vähentämällä liikkumisen muuttuvia ja kiinteitä kustannuksia sekä rajallisten resurssien käyttöä. Kaupunkeja ja asuinalueita murros parantaa laajentamalla työssäkäynnin mahdollisuuksia, kasvattamalla liikkumisen turvallisuutta sekä vähentämällä kaupunkien ympäristökuormaa. Henkilöliikennettä edellyttävä turismi, kulutus ja tuotanto muuttuvat vähemmän ympäristöä kuormittaviksi. Kansainvälisten ilmastotoimien näkökulmasta systeemiset liikkumisen muutokset synnyttävät yhteistyömotiivin, joka vauhdittaa globaalia kehitystä. Palveluna tarjottu henkilöliikenne kehittyy tehokkaimmin globaalin tekoälyn avustamana. Tämä synnyttää laajan yhteistyön. Oikeudellisesta näkökulmasta autonomiset järjestelmät estävät suuren osan tyypillisestä väkivallan uhasta ja tarjoavat luotettavan näytön rikostapauksissa rikosten ja vastuukysymysten selvittämiseksi.

Keskeiset jännitteet: Autonominen liikenne ei kykene ilman ihmisen apua vastamaan kaikkiin tilanteisiin ja vaatii vielä ainakin 2030-luvulla alueellisen, liikennevälineitä tukevan palvelukeskuksen toimiakseen luotettavasti. Uhkana on, että palveluihin syntyy oligopolisia rakenteita. On myös mahdollista, että taloudellisesti heikommille tai harvaanasutuille alueille autonomisen liikenteen palveluiden tarjonta on rajallista. Palveluiden perustaminen on myös teknisesti vaativaa ja nojautuu joidenkin harvojen yhtiöiden kehittämiin teknologioihin. Palveluiden markkinahinta riippuukin siksi kilpailutilanteesta ja liiketoimintamalleista, mutta myös valtioiden säätelytoimista ja osallisuudesta kehitykseen. Aineettomien oikeuksien keskittymisen vuoksi ei ole täysin kiistatonta, että murros vähentäisi kehittyneiden ja kehittyvien maiden tuottavuuseroja, vaikka näin muutoin olisikin. Todennäköisimmät robottiliikenteen liiketoimintamallit ovat kaupallisia ja toimijoidensa hallitsemia, joten ei ole todennäköistä, että kaupunkilaisten tai kaupunkien ympäristön vaikutus tähän kaupunkiliikenteen suunnitteluun toteutuisi laajasti muutoin kuin kaavoituksen ja asiakkuuden kautta.

2.2. [Tavaraliikenne](#) – kohti robotisoitua yksilöllistä kuljetusta ja kuormausta

Nykytila: Fyysisten tuotteiden siirto tuotantoketjussa valmistajalta tarvitsijalle tai käyttäjältä toiselle on globaali tarve. Logistiikan arvonaluonnin valtavirroista merkittävimmät ovat nykyisellään suurten homogeenisten raaka-aine-erien siirto tuotantoketjussa ja valmiiden tuotteiden siirto valmistajalta jakelijoiden kautta vähittäisliikkeisiin,

joista asiakkaat nämä noutavat. Verkkokauppa on viime aikoina nopeasti kasvattanut yksilöllisten posti- ja kuriiritoimitusten osuutta hankintaketjussa.

Teknologiamurroksen visiona on tavaroiden robotisoitu ja yksilöllinen kuljettaminen tuottajalta tai haltijalta tarvitsijalle. Vision mukaan älykkäät robotit kuormaavat tai purkavat tavarat yksilöllisesti heterogeenisiin kuljetus- tai varastotiloihin. Autonomiset rekat, jakeluautot, vesi- tai ilmaliiikennedroonit, kevytliikennekuljettimet sekä alustatalouden joukkoistamat ihmiset siirtävät tavaroita lajitteluasemien välillä ja suoraan käyttäjilleen tai esimerkiksi korttelikohtaisiin lokerikkoihin. Tavaroiden asiakirjat, eräänlaiset digitaaliset kaksoset löytyvät tavarann tunnistamisen avulla verkosta. Digitaalisen kaksosensa avulla tavara suorittaa huolintansa ja luovuttaa esimerkiksi lokerikkojen avaimet tai kuljetusasiakirjat monipolvisen kuljetusreitille kullekin toimijalle.

Robotisoitu toiminta vähentää suurten tukkuerien ja välivarastojen tarvetta. Tuote kulkee käsityöläiseltä suoraan kuluttajalle lähes yhtä edullisesti kuin massatuote kulkee nykyään suuresta tehtaasta jättimarkettiin. Digitaalisten kaksosten avulla tietoturva, anonymiteetti ja joustavuus paranevat, kun asiakirjat ovat digitaalisesti suojattu, kukin kuljetusketjun osa tietää vain seuraavan toimituspisteen ja etenemistä voidaan seurata sekä lopullista osoitetta muuttaa kuljetuksen aikana. Tavaroiden noutoon perustuva vähittäiskauppa muuttuu pääosin tarpeettomaksi. Myös kestokulutustavaroiden yhteiskäyttö, jakamistalous ja kierrätys helpottuvat digitaalisten kaksosten avulla.

Murroksen reunaehdot: Visio toteutuu vaiheittain. Monet kuormauksen ja lajittelun vaiheet ovat jo robotisoituneet. Laajempi automaatio edellyttää tavarann ominaisuudet ja kuormattavuuden tunnistavia ja autonomiseen kuljettamiseen soveltuvia robotteja, joiden prototyyppinä on jo laajasti kokeilussa. Robottien ei tarvitse selvitä autonomisesti kaikista tilanteista, mikäli operoija kauko-ohjaa niitä vaativissa tilanteissa. Hajautettu jakelu edellyttää kotitalouksien läheisyyteen jakelurobottien käytettävissä olevia lokerikkoja. Kuljetustoimen hajautuminen eri toimijoille ja joukkoistetuksi vaatii tavaroiden yksilöllisten tunnistajien ja niihin liittyvien asiakirjojen standardointia oikeudenhaltijoiden tavoitettavissa oleviksi digitaalisiksi kaksosiksi. Tulevaisuuspankissa [kevyet tavarannkuljettimet](#), [dronet](#) ja [tavaroiden internet](#).

Agenda 2030 -vaikutukset: Logistiikan visioitu murros kasvattaa hyvinvointia ja parantaa sen jakautumista, sillä visio vähentää yksilöllistä lisäarvoa tuottavien erikoistavaroiden kuljetuskustannuksia. Samalla visio kasvattaa pienten ja keskisuurten tuotannollisten toimijoiden mahdollisuuksien tasa-arvoa ja pääsyä edulliseen jakelukanavaan sekä haja-asutusalueiden tavaroiden saantia. Yksilöllisen logistiikan tehostuminen edistää taajamien lähialueilla sijaitsevien tilojen ja suoramyynnin kilpailukykyä suhteessa elintarviketukkureiden jakelukanaviin.

Robotisoitu logistiikka mahdollistaa terveydenhuollon diagnostiikkavälineiden toimitamisen telelääketieteen tarpeisiin sekä yksilölliset lääketoimitukset alueille, joilla terveydenhuollon kattavuus on heikko. Robotisoitu logistiikka edistää naisten tasa-arvoa vähentäen sekä riippuvuutta tavaroiden noutoon käytetyistä henkilöautoista että fyysisestä voimasta. Tuotannollisten työntekijöiden tuottavuus kasvaa yksilöllisesti tehtyjen ja muiden erikoistavaroiden jakelun helpottuessa. Innovatiivisuus lisääntyy, kun pääsy tehokkaaseen logistiikkakanavaan ei ole suurten tukkukaupan toimijoiden kontrolloima tai suurista toimitusmääristä riippuva.

Keskeisillä verkkokaupan globaaleilla toimijoilla on erittäin laaja tuotevalikoima ja sen kautta selkeä motiivi edistää robotisoitua yksilöllistä jakelua. Avoimena logistiikkakanavana vision mukaisesti toteutuessaan tämä saattaa myös kehitysmaat tehokkaan logistiikan piiriin, avaa tehokkaita toimituskanavia kehitysmaiden tuotteille ja vähentää tuottavuuseroja sekä arvonluonnin riippuvuutta kaupan suurista toimijoista. Kaupunkien ja niitä ympäröivien alueiden yhteistyömahdollisuudet myös paranevat logistiikan suosiessa aiempaa pienempiä toimijoita ja toimituseriä. Kierrätys tehostuu tavaroiden yksilöllisen tunnistamisen, lajittelun ja kuljetuksen robotisoinnin avulla.

Keskeiset jännitteet: Visio ei täysin tyydytä niiden tarpeita, joille kaupassa käynti on sosiaalinen kokemus. Visio saattaa myös aiheuttaa työttömyyttä vähentäessään logistiikan henkilösidonaisuutta ja korvaamalla sitä pääomavaltaisella robotisaatiolla. Mikäli automatisoidut logistiikan rakenteet syntyvät suurten kaupan toimijoiden suljetuina järjestelminä, saattavat tuotannollisia työpaikkoja hajauttavat edut jäädä saavuttamatta. Lisätessään yksilöllistä ja heterogeenista tavaraliikennettä, kasvattaa visio myös helposti pakkausmateriaalien kulutusta. Anonymisoitu ja joukkoistettu robottijakelu mahdollistaa myös vaarallisten räjähteiden ja kemikaalien kuljetuksen rikollisissa tarkoituksissa. Autonomisesti liikkuvat logistiikkarobotit ovat lisäksi helposti valjastettavissa terroristisiin tarkoituksiin, ellei niiden valvonta ole riittävän huolellista.

2.3. Tavaroiden valmistus – kohti joustavaa ja yksilöllistä lähituotantoa

Nykytila: Elämäntapamme on tavaroiden täyttämä. Olipa kyse asusteista, laitteista tai kalusteista, ne valmistetaan nykyään sarjoina keskitetysti, suurissa automatisoiduissa tehtaissa. Sieltä laaja jakeluketju toimittaa ne käyttäjille. Massaräätälöintiä on kehitetty ja monet tuotantolinjat kykenevät jonkin asteiseen joustavuuteen, mutta arvonluonnin valtavirta on keskitetyssä ja vakioidussa teollisuustuotannossa.

Teknologiamurroksen visio on joustava lähituotanto siten, että asiointialueiden paikalliset tuotantolinjat valmistavat yksilöllisesti suuren osan kunkin alueen tavaroista ja niiden osista. Esimerkkinä toimii kädellinen, älykäs robotti, joka tekee tuotteet asiakkaansa mittoihin taitavan käsityöläisen tavoin. Toinen esimerkki on 3D-tulostus. Kaupan takahuoneen 3D-tulostin tuottaa esimerkiksi silmälasikehykset, lampunvarjostimet tai työkalujen kahvat käyttäjän fysiologian ja mieltymysten mukaan. Yksilöllisyyden lisäarvo on ilmeinen. Pääosa visioidusta tuotannon ja palvelun työstä on paikallista. Materiaalivalinnoissa voidaan suosia paikallisuutta. Paikallisen kyvykkyyksien yhdistelyyn syntyy alustaosuuskuntien tukemia verkostoja. Varastointi- ja logistiikkakustannukset sekä hävikki vähenevät. Paikalliselle suunnittelulle ja kulttuurille avautuu kilpailukykyinen kanava suhteessa suurten tuotantolaitosten kanaviin. Visiossa suuri osa tavaroiden ja komponenttien tekemiseen tarvittavista digitaalisista malleista on saatavilla joko hyvin edullisesti tai avoimen joukkoistuksen piirissä maksuttomasti.

Kaikkea ei valmisteta paikallisesti. Monimutkaisesti valmistettavat osat, kuten digitaaliset muisti- tai prosessoripiirit valmistetaan edelleen keskitetysti. Yksilöllisyydestä, kulttuurisidoksista tai vähäisistä toimituskustannuksista hyötyvät tuotteet tai tuotteiden osat ja kokoonpano viimeistelytoineen suoritetaan paikallisesti. Myös yksilöllinen

osa asiakastarpeen selvittämisestä ja huomioimisesta tapahtuu paikallisesti. Merkittävä osa tuotannosta saattaa visiossa siirtyä paikallisten tai globaalisti ketjuuntuneiden palveluiden osaksi esimerkiksi tuotannollisten alustaosuuskuntien muodossa.

Murroksen reunaehdot: Paikallisen tuotannon kilpailukyky globaalin massatuotannon kanssa on teknologisesti sidoksissa tuotantotyökalujen joustavuuteen, eli siihen, miten lyhyitä ja monipuolisia sarjoja voidaan tehokkaasti tuottaa. Tuotantokustannus voi ylittää massatuotannon kustannuksen, jos yksilöllisyys, paikallisuus tai logistiikka-kustannus tuottavat riittävästi lisäarvoa. 3D-tulostimet kehittyvät nopeasti ja ovat jo joiltakin osin saavuttamassa vision edellyttämän tason erityisesti muovi- ja komposiittimateriaaleista tehdyissä tuotteissa. Maksuttomia ja edullisia mallikirjastoja on myös kasvavassa määrin saatavilla ja avoimen yhteiskehityksen piirissä. Sama koskee hybridituotteita rajapintoineen, joissa jokin ydinosa on sarjavalmistettu, mutta yksilöllinen osa on tulostettavissa. Robotteihin, jotka vastaavat ihmisen kätevyyttä käsityöläisenä, on edelleen matkaa, mutta kehitys etenee nopeasti. Tulevaisuuspankissa [3D-tulostimet](#) ja [kädelliset robotit](#) sekä [robottiräätäli](#).

Agenda 2030 -vaikutukset: Joustavan paikallisen tuotantokyvyn kasvu vähentää riippuvuutta erityisesti kriisitilanteissa helposti häiriintyvistä kansainvälisestä kaupasta. Monipuolisen paikallisen tuotannon lisääntyminen kasvattaa inklusiivisuutta ja mahdollisuuksien tasa-arvoa samalla vähentäen syrjäytymisriskiä ja henkisiä ongelmia. Paikallinen joustava tuotanto on työnä pääosin monipuolista ja laaja-alaista nojautumatta kapeaan teoreettiseen osaamiseen ja sopii laajemmalle joukolle ihmisiä kuin teoreettispainotteinen korkeasti automatisoitu teollisuustyö. Murros edistää itseoppimista, opetusta ja osaamisen näyttöä, kun oppimisen myötä suunnitellut tavarat ja laitteet voidaan helposti valmistaa. Tämä myös tekee opetuksesta ja oppimisesta aiempaa houkuttelevampaa. Talouskasvua murros edistää helpottaessaan suunnittelijoiden ja pienyritysten uusien tuotteiden ja yksilöllisen lisäarvon pääsyä markkinoille. Arvonluonti ei enää ole niin suurelta osin riippuvaista suurten teollisten toimijoiden hallitsemista rakenteista, kuten kapea-alaisesta insinööriosaaamisesta tai tuotanto- ja jakeluneistosta. Tämä vähentää sekä eriarvoisuutta alueiden välillä että alueiden sisällä. Kehittyvien maiden paikallinen innovaatio-osaaminen kehittyä, osallistumismahdollisuudet tuotannolliseen toimintaan ja suunnitteluun lisääntyvät.

Keskeiset jännitteet: Joustava tuotanto helpottaa rikollista toimintaa. Tuotevääräntösten ja valvottujen tuotteiden, kuten aseiden valmistus helpottuu. Aineettomien oikeuksien loukkaaminen helpottuu ja organisoidun toiminnan valvonta saattaa vaikeutua. Tuotannon paikallistuesssa myös verotus voidaan ohittaa helpommin. Joustavan tuotannon ketjuuntuminen globaaleiksi järjestelmiksi, joissa paikalliset verkoston osat tulostavat ketjun hallitsemia 3D-malleja, saattaa ohjata arvonluonnin hyötyjä keskittymään suuntaan. Teknologia itsessään tarjoaa selkeät rajapinnat ja tällaisen keskittymisen voi sopivin säädöksin estää.

2.4. [Ravinto](#) – kohti elintarvikeomavaraisia kaupunkoja ja yksilöllistä ruokaa

Nykytila: Elintarviketuotanto perustuu pääosin teollisen mittakaavan viljelyyn ja karjatalouteen, joista syntyvä elintarvikeraaka-aine kausivarastoidaan, käsitellään teollisesti ja jaellaan keskitetysti. Jakelusta kuluttajille vastaavat vähittäiskauppa, laitos- ja työpaikkaruokalat, torikauppa sekä ravintolat. Lihaa imitoivat valmisteet ja kaupunkiviljely ovat vähitellen asettumassa kilpailemaan perinteisen tuotannon kanssa.

Teknologiamurroksen visiona on elintarvikeraaka-aineiden lähituotanto päivittäisenä paikallisena prosessina sekä ruoan yksilöllinen valmistus tuoreista raaka-aineksista robottikeittiöissä tai ihmisvoimin. Kasvit kasvatetaan vesiviljelynä kerroksittain ja tarvittaessa LED-valojen avulla. Ravintokasveissa pinta-alatarve on vain 1-5% pelto-tilajellyn tarvitsemasta, joten kasvatusta voi tapahtua kaupunkien tunneleissa, kellaritiloissa ja katoilla tai parvekkeilla. Rehukasvien viljely ei vision mukaan ole tarpeen, koska liha tuotetaan bioteknisin menetelmin sammioissa tai lihan makuisia ja ravinnepitoisuudeltaan vastaavia elintarvikkeita tuotetaan sisäviljelyistä kasveista. Elintarviketuotannon ollessa paikallista ja jatkuvaa, tarvitaan varastointia, säilöntää ja kuljetusta vain poikkeustapauksissa. Keittiörobotit valmistavat ruoka-annokset kullekin ruokailijalle henkilökohtaisten mieltymysten, metabolian ja allergioiden mukaan.

Visio vähentää maatalousmaan tarvetta radikaalisti, vaikka osa peltoalasta tarvittaisiinkin aurinkoenergian tuotantoon. Elintarviketeollisuuden kemikaalien käyttö ja elintarvikkeiden hävikki vähenevät. Tuore, prosessoimaton ruoka on elintarviketeollisuuden tuotteita tai kausiviljelyn satona varastoituja elintarvikkeita ravinnepitoisempaa. Metaboliaan ja mieltymyksiin sovitettu ravinto on selkeä lisäarvo. Sisäviljelyssä GMO-tuotteet eivät muodosta riskiä luonnolle eivätkä ympäristöhaitat ja kasvi- tai eläintaudit leviä.

Murroksen reunaehdot: Aurinko- ja tuulienergian sekä kasvivalojen tehokkuuden tulee parantua ja kustannusten edelleen laskea, jotta visio voi toteutua laajasti. Aurinkoenergian tuotannon tulee olla riittävää ja perustua ympäristöhaitoiltaan vähäisiin ohutkalvoihin. Kerrosviljelyyn soveltuvia lajikkeita tulee kehittää eri tuoteryhmiin. Vision oletus on, että ravintokasvien tuotanto jatkuvana prosessina vaatii 70-90% nykyistä vähemmän maatalousmaata ja proteiinituotanto 90-95% vähemmän maatalousmaata suhteessa tuotantomääriin. Näissä luvuissa on mukana energiatuotannon vaatima pinta-ala. Luvuissa on oletettu jalostettujen ravintokasvien energiahyötysuhteeksi 10%, kun valaistus tapahtuu optimaalisessa rytmissä. Valoa tuotetaan tarkasti suunnattuna kasvin pinnoille ja vain tarvittavalla aallonpituudella. Robottikeittiöiden odotetaan yleistyvän ensin ravintoloissa ja laitospaikoissa kalliin palkkakustannuksen maista alkaen. Maaperän ja teknologian sekä työvoiman hinnasta riippuu, onko vision mukainen prosessi enemmän tai vähemmän pääomavaltainen ja muuttuvilta kustannuksiltaan korkeampi kuin nykyinen, mutta kilpailukyky paranee aikaa myöten. Tulevaisuuspankissa [geenimanipuloidut kasvit](#), [keinoliha](#), [sisäviljely](#) ja [robottikädet](#).

Agenda 2030 -vaikutukset: Visiolla ei ole suoraa vaikutusta köyhyyteen, mutta se poistaa kytkennän elintarviketuotannon ja viljelykelpoisen maaperän välillä. Visio hel-

pottaa erityisesti edullisen proteiinipitoisen ravinnon saantia ja laskee sen tuotanto-kustannuksia. Ravintotuotannon rajoitteet ja ympäristöhaitat vähenevät. Kriisitilan-teissa ongelmallinen riippuvuus muilla alueilla tuotetusta ravinnosta tai keskitetysti hallituista ravintovaroista vähenee.

Karjatalouden loppuminen vähentää eläimistä ihmiseen leviävien tartuntatautien ris-kiä ja yksilöllisesti valmistettu tuore ravinto parantaa terveen elämän edellytyksiä. Si-säviljelyn ja bioteknisen lihan tuotannon vaatiessa vain murto-osan peltoviljelyn ja karjatalouden vesimäärästä ja viljelyn lisäksi toimiessa suljetun kierron perusteella, kaikenlaiset maatalouden haitat ympäristölle vähenevät. Pääosa maatalousmaasta voi-daan palauttaa luonnontilaan. Näillä seikoilla on merkittävä vaikutus niin CO2-päästöjen vähentämiseen kuin luonnontilaisten ekosysteemien palauttamiseen ja ke-mikalisoitumisen vähentämiseen.

Ravinnon jatkuva pientuotanto nopeuttaa elintarviketuotannon opiskelua, koska ope-tuksen ja kokeilujen ei tarvitse noudattaa luonnollisten satokausien rytmiä. Vapaampi rytmi tekee opiskelusta houkuttelevampaa lisäten myös innovaatiomahdollisuuksia. Kasvaviin tiloihin ja keskitettyyn elintarviketeollisuuteen sekä laajasti automatisoituu-jakelujärjestelmään verrattuna vision mukainen paikallinen kaupunkiviljely yksilöllii-sine robottikeittiöineenkin voi olla huomattavan työvoimavaltaista. Hajautettu paikal-linen tuotanto on omiaan vähentämään tuottavuuseroja sekä alueiden että valtioiden välillä. Ilmastonmuutos vaikeuttaa maataloutta, mutta vision mukainen tuotanto voi toimia tehokkaasti myös muuttuvissa ilmasto-olosuhteissa.

Keskeiset jännitteet: Sisäviljely kasvattaa elintarviketuotannon energiatarvetta ja vi-sion onnistumisen edellytyksenä on yhä edullisemmaksi muuttuva ja nopeasti mää-räänsä lisäävä uusiutuva energia. Yhtenäinen sähkömarkkina saattaa vaikeuttaa sisä-viljelyn edellytyksiä. Ruokakulttuurin muuttaminen vision suuntaan saattaa olla haas-teellista. Nykyisten proteiinilähteiden käyttöön liittyy huomattavan monia arvoihin, osaamiseen, tottumuksiin, normeihin ja sopimuksiin liittyviä sidoksia. Maatalousmaan palauttaminen luonnontilaan vaikuttaa viljelysmaan arvoon ja synnyttää jännitteitä. Maataloustöistä, elintarvikekaupasta ja ravintola- sekä laitosruokailun piiristä vapau-tuu visiossa laajasti työvoimaa, jonka tulisi ohjautua uusiin tehtäviin. Tässä on huomata-tava, että myös maatalous, elintarviketeollisuus ja kauppa kasvattavat automaatiotaan ja kilpailukykyään jatkuvasti.

2.5. [Energia](#) – kohti halpaa aurinkoenergiaa ja hajautettuja ener-giavarastoja

Nykytila: Globaali energiatuotanto perustuu pääosin hiilen, luonnonkaasun ja öljyn polttamiseen. Hiilineutraalien tuotantomuotojen osuus oli vuonna 2019 maailmanlaa-juisesta vain 15 %, josta vesivoiman osuus on suurin. Energiavarastojen osuus tuotan-non ja kulutuksen tasaajana on vähäinen lukuun ottamatta energiaraaka-aineiden va-rastoja. Kysynnän vaihteluihin reagoidaan säätämällä tuotantoa. Aurinko- ja tuulivoi-man osuus kasvaa nopeasti ja se kasvattaa energiavarastojen tarvetta. Merkittävä osa energiantuotannosta on keskitettyä ja massiiviseen jakeluinfrastruktuuriin perustuvaa sekä energiaraaka-aineiden, jalostuksen että sähkön- ja lämmöntuotannon osalta.

Teknologiamurroksen visio perustuu fossiilisen energian korvaamiseen ja hajaute-
tun hiilivapaan energiatuotannon ja varastoinnin merkittävään kasvuun. Kehitteillä
olevat joustavat ja tehokkaat aurinkoenergiakalvot integroidaan tulevaisuudessa val-
mistusvaiheessa kaikkiin pintarakenteisiin. Suuri osa rakennetuista pinnoista on val-
jastettu aurinkoenergian tuotantoon. Leijaenergia laskee tuulivoiman kustannuksia ja
lisää käyttökohteita. Paikallisesti tuotetusta ja varastoidusta uusiutuvasta energiasta
tulee laajoilla alueilla sekä fossiilista energiaa että muuta keskitetysti tuotettua ja jael-
tua energiaa edullisempaa. Synteettiset polttoaineet valmistetaan tehokkaasti ja edulli-
sesti katalyyttien avulla vedestä ja hiilidioksidista. Prosessit ovat nopeasti käynnisty-
viä, pääomia vain vähän sitovia ja sen vuoksi energialähteenä käytetään aurinko- ja
tuulienergian halpaa tuotantohuippujen aikaista ylikapasiteettia.

Pohjoisilla alueilla lämpökaivot yleistyvät energian pitkäaikaisvarastoina synteettisen
polttoaineen rinnalla. Sähkön ja erityisesti paikallisesti tuotetun sähkön osuus ener-
gian kulutuksessa lisääntyy, mikä näkyy mm. liikenteen sähköistymisenä. Pohjoisten
alueiden toimitusvarman sähkön keskimääräinen tuotantokustannus laskee hitaam-
min kuin kustannus aurinkoenergialle ympärivuotisesti suotuisammilla alueilla. Pro-
sessien sähköistyminen ja energiatuotannon hajautuminen vähentävät teollisen tuo-
tannon mittakaavaetujen merkitystä. Kehitys suosii haja-asutusalueita, jotka kykene-
vät vastaamaan paikallisen aurinkoenergian tuotannon pinta-alatarpeisiin kaupunkeja
paremmin. Koska energiansaanti ei enää riipu keskitetyistä jakeluinfrastruktuureista
laskee modernisoinnin kustannus kehittymättömillä haja-asutusalueilla.

Murroksen reunaehdot: Aurinko- ja tuulienergian sekä energiavarastojen teknologi-
oiden tulee kehittyä nykyistä tehokkaammiksi ja edullisemmiksi, jotta visio voi toteu-
tua. Kalvomaisten aurinkokennojen hyötysuhteen oletetaan visiossa nousevan 30%-
40% tasolle kustannuksen laskiessa siten, että uudisrakennusten aurinkopaneelin si-
sältävä katto- tai seinäpinta ei juurikaan nosta rakennuskustannuksia. Synteettisen
polttonesteen pientuotannon pääomakustannuksen tulee laskea murto-osaan vuosi-
tuotannon arvosta, jotta visio voisi toteutua pohjoisilla, talvella lähes auringottomilla
leveyspiireillä. Synteettisistä polttonesteistä tehokkaasti lämpöä ja sähköä tuottavien
polttokennojen ja mikroturbiinien hinnan oletetaan laskevan radikaalisti. Akkujen hin-
nan oletetaan puoliintuvan 10 vuoden välein samalla, kun kapasiteetti kaksinkertais-
tuu ja käyttöikä moninkertaistuu, mutta akkujen ei visiossa odoteta soveltuvan ener-
gian pitkäaikaisvarastointiin. Tulevaisuuspankissa [aurinkoenergian kehitys](#), [lämpökai-
vot](#), [synteettiset polttoaineet](#), [sähkövarastot](#) ja [akut](#) sekä [polttokennot](#).

Agenda 2030 -vaikutukset: Visio vähentää köyhyyttä tarjoamalla edullisen keinon
energiatuotantoon. Samalla riippuvuus keskitetystä energiainfrastruktuurista ja fossii-
lisisista polttoaineista vähenee. Ravintokasvien viljelypinta-alasta kilpailevia biopoltto-
aineita ei visiossa tarvita. Pääosan energian tuotantoon ja kulutukseen liittyvistä muut-
tuvista kustannuksista sekä fossiilisen ja bioenergian haitoista poistuu. Paikallisen tuo-
tannon riippumattomuus rakenteista kasvattaa kriisinsietokykyä ja mahdollisuuksien
tasa-arvoa sekä kykyä selvitä muuttuvissa ilmasto-olosuhteissa. Visio vähentää ener-
giatuotannon hiilidioksidipäästöjä radikaalisti, mutta kasvattaa elektroniikkaromun
kierrätystarvetta. Toisaalta sähköverkkojen ja kaukolämpöverkkojen tarve vähenee
samalla, kun luotettavan ja kestävä energian saanti helpottuu.

Edullinen kiintein kustannuksin tuotettu sähkö helpottaa mm. puhtaan veden tuotantoa suolaisen veden alueilla. Tuotantohuippujen ylijäämä sähköllä voidaan tuottaa puhtaan veden ohella muitakin helposti varastoitavia raaka-aineita ja materiaaleja. Sähkön käyttö polttoaineiden sijaan kasvattaa tyypillisesti prosessien hyötysuhdetta. Paikallinen tehokas sähkön tuotanto tekee edullisen sähkönsaannin mahdolliseksi infrastruktuuriltaan kehittymättömillä seuduilla. Vision mukainen toiminta on nykyistä valtavirtaa hajautetumpaa ja työvaltaisempaa. Osaamisvaatimus hajautettujen järjestelmien asentamisessa, käyttöön otossa ja ylläpidossa on vähäinen ja tuo lisäarvoa laajoille markkinoille, joten teknologia edistää selkeästi talouskasvua ja työllisyyttä. Sähkön helppo paikallinen saatavuus edistää muun tuotannon kehittymistä kestäväan suuntaan paikallisesti ja globaalisti eriarvoisuutta vähentävällä tavalla. Samalla syrjäseutujen sähköistyminen saattaa niiden alueiden väestön digitalisaation piiriin.

Keskeiset jännitteet: Vision mukainen toiminta kasvattaa asuntojen lämmityksen pääomasidonnaisuutta haja-asutusalueilla verrattaessa sitä lämmitykseen energia- raaka-aineita polttamalla. Köyhimpien alueiden auttamistapana tämä vastaa kaivojen tekoa, joka vaatii vauraampien apua. Ympäristöhaittojen väheneminen on riippuvainen siitä, miten haitattomista materiaaleista vision mukaiset laitteistot tehdään ja, miten energiaromun kierrätys järjestetään. Energian hinnan lasku ei näy kuluttajille, jos edullinen tuotanto ei vastaa kysyntää ja markkinahinta määräytyy kalleimman tuotantomuodon mukaan. Jännitteitä syntyy myös sähkönsiirtoverkon kustannusjaossa monien käyttäjien irtautuessa verkosta ja fossiilisesta energiasta riippuvan liiketoiminnan edellytysten heiketessä syntyvistä eturyhmien välisistä kiistoista.

2.6. Materiaalit – kohti uusiutuvia materiaaleja ja kiertotaloutta

Nykytila: Globaalisti tavaroiden tuotannossa käytettyjen raaka-aineiden ensisijainen lähde on kaivannaisteollisuus ja toissijaisesti biotalous. Sekä kaivannaiset että biotekniset raaka-aineet käsitellään tavallisimmin laajasti kemikaaleja käyttävillä, energiain tensiivisillä prosesseilla. Nämä synnyttävät laajoja ympäristöhaittoja. Raaka-aineiden käyttöä on ryhdytty vähentämään kierrätyksen avulla. Materiaalitekniikan piirissä kehitetään jatkuvasti prosesseja biotekniseen ja kestäväan suuntaan, jonka lisäksi kaivannaiset pyritään tuottamaan ympäristöystävällisemmin keinoin.

Teknologiamurroksen visiossa materiaalit tuotetaan ja kierrätetään kestävin tavoin. Rakennusbetoni on korvattu hiilineutraaleilla vastineilla, esimerkiksi niin kutsutulla vihreällä betonilla, bioteknisesti auringonvalossa kivettyvillä tiilillä sekä lujilla luonnonkuituihin perustuvilla komposiiteilla. Hiilidioksidia on ryhdytty käyttämään teollisena raaka-aineena mm. hiilivetyjen, muovien ja nanohiilten valmistuksessa. Teräs valmistetaan hiilidioksidineutraalisti aurinkoenergian ja vedyn avulla. Uusiutuvista raaka-aineista kehitetyt nanomateriaalit korvaavat pääosan kaivannaisista. Hiivojen, sienten sekä bakteerien huoneenlämmössä tuottamat raaka-aineet ja materiaalit korvaavat monet kemianteollisuuden tuotteet.

Tuotteiden, komponenttien ja pakkausten merkinnät sekä materiaaleja tunnistavat sensorit mahdollistavat yhdessä tekoälyn kanssa tehokkaan robotisoidun kierrätyksen

ja kierrätysmateriaalien käytön raaka-aineena. Materiaalit kehitetään yhä määrätietoisemmin joko biohajoaviksi tai helposti kierrätettäviksi. Kiertotalouden kehitys synnyttää teolliskaupallisia symbiooseja, joissa tuotteiden koko elinkaari on suunniteltu.

Murroksen reunaehdot: Hiilidioksidin kaappausteknologioiden ja reaktioissa käytettyjen katalyyttien odotetaan kehittyvän siten, että hiilivetyjen ja nanohiilen tuotanto uusiutuvan energian avulla on kustannustehokasta. Betonin ja teräksen valmistus aiheuttaa nykyhetkellä valtaosan materiaaleihin liittyvistä hiilidioksidipäästöistä kaivosteollisuuden energiankulutuksen ohella. Teräksen jalostus uusiutuvaan energiaan ja vetyyn perustuvilla menetelmillä etenee jo teollisten investointipäätösten tasolla. Sementin korvaaminen hiiltä sitovilla materiaaleilla etenee kehityslaboratorioiden kokeiluissa ja menetelmien odotetaan kypsyvän laajaan käyttöön soveltuviksi. Bioteknisten prosessien ja nanomateriaalien odotetaan kehittyvän ominaisuuksiltaan riittävästi korvatakseen merkittävän osan kaivannaisista ja energiantensiivisistä tai ympäristöhaittoja aiheuttavista prosesseista ja materiaaleista. Kierrätyksen odotetaan tehostuvan olennaisesti nykyisestä ja integroituvan systeemiseksi kiertotaloudeksi. Tulevaisuuspankissa [vihreä betoni](#), [vihreä teräs](#), [CO2 raaka-aineena](#), uudet [lujat ja kevyet materiaalit](#), [nanomateriaalit kuituina](#), [biotekninen valmistus](#) ja [kiertotalous](#).

Agenda 2030 -vaikutukset: Vision vaikutus köyhyyteen on ristiriitainen. Toisaalta riippuvuus kaivannaisista vähenee, mutta uudet materiaalit eivät välttämättä ole aiempia edullisempia. Bioteknologiaan perustuvien materiaalien korvatta kaivannaisia ja prosessien muuttuessa vähemmän energiantensiivisiksi, on kuitenkin järkevää olettaa muuttuvien kustannusten laskevan. Suurteollisuuden korvautuminen pienemmillä prosesseilla kasvattaa joka tapauksessa mahdollisuuksien tasa-arvoa.

Kaivosteollisuuden alasajo ja prosessiteollisuuden kehitys uusiutuvan energian suuntaan vähentävät fossiilisten polttoaineiden käyttöä. Siirtyminen kemianteollisuuden keinoista bioteknologiaan vähentää ihmiselle ja luonnolle vaarallisia ympäristöhaittoja merkittävästi. Tämä edistää puhtaan veden saantia, terveyttä ja vesiekosysteemien kestävyttä. Vision vaikutus kulutus- ja tuotantotapojen kestävyteen on suuri ja ilmeisen myönteinen sekä raaka-aineiden kestävyden että haitallisten päästöjen osalta.

Talousskasvuun visiolla on myönteinen vaikutus tuotannon uudistumisen ja hajauttamisen kautta. Talousskasvu edistää myös irtautuminen rajallisista resursseista uusiutuviin raaka-aineisiin. Kierrätys ja bioteknologia nojautuvat perinteistä teollisuutta enemmän paikallisiin materiaaleihin ja työvoimaan. Lisäksi ne ovat työvoimavaltaisempia ja hajautettuina vähemmän eriarvoistavia kuin kaivannaisiin perustuva teollisuus.

Keskeiset jännitteet: Sekä teräs että betoni ovat edullisia ja tarkoituksiinsa hyvin soveltuvia materiaaleja, joiden tuotanto- ja käyttö osataan hyvin. Niiden korvaaminen ekologisesti kestävämmillä materiaaleilla vaatii merkittäviä yhteiskunnallisia investointeja. Perinteisen materiaaliteknologian investoinnit ovat pitkäkestoisia ja ne tulisi kuolettaa, jos niiden käytöstä luovutaan. Päätöksiin liittyy myös työllisyysvaikutuksia. Uusiutuvia raaka-aineita käyttävät prosessit vaativat omat investointinsa, jotka saattavat olla tuotantoon nähden suurempia kuin perinteisen teknologian investoinnit. Toisaalta prosessien hajautus ja paikallisten raaka-aineiden käyttö kompensoivat korvaavien tuotteiden kustannuksia. Monet uusiutuvia materiaaleja ja kierrätysmateriaaleja

käyttävät prosessit ovat teknisesti vaativia, eikä niitä välttämättä ole helppo saada käyttöön vähiten kehittyneillä alueilla. Uusiin menetelmiin saattaa myös liittyä runsaasti aineettomia oikeuksia. On mahdollista, ettei visio ainakaan aluksi auta vähentämään alueiden välistä eriarvoisuutta, vaikka se vähentäisikin alueiden sisäisiä eroja.

2.7. Rakennettu ympäristö – kohti kaupunkia autonomisena asu- miskoneena

Nykytila: Valtaosa rakentamisesta ja rakennetun ympäristön kunnossapidosta on edelleen henkilövaltaista, vaikka konevoimaa käytetään runsaasti. Katuja ja teitä lu-
kuun ottamatta ympäristö on rakennettu ihmisen kuljettavaksi. Kaupunkien rakenteet on järjestetty suurelta osin erillisiin työ- ja asiointialueisiin sekä asuinalueisiin.

Rakennettu ympäristö uudistuu hitaasti. Tilojen käyttötavat muuttuvat kuitenkin jat-
kuvasti kohti digitalisoituvan yhteiskunnan uusia tarpeita ja mahdollisuuksia.

Teknologiamurroksen visiona on autonomista henkilö- ja tavaraliikennettä suosiva
infrastruktuuri, jossa rakentaminen ja kunnossapito on suurelta osin robotisoitu. Yksi-
tyisomisteisten henkilöautojen vaihtuminen yhteisiin robottikuljettimiin vapauttaa
runsaasti kaupunkitilaa. Kauppakeskusten tilantarve vähenee myös verkkokaupan an-
siosta. Etätyön ja etäasioinnin vuoksi kotien käyttötarkoitukset laajenevat ja asuntojen
tilantarve kasvaakin samalla kun toimitilojen tarve vähenee. Laajeneva osa rakenne-
tuista pinnoista tuottaa aurinkoenergiaa, joka varastoidaan ja käytetään paikallisesti.

Rakentamisen ja kunnossapidon sekä jakelun robotisointi edellyttää rakennetun ym-
päristön muuttumista robottien helposti kuljettavaksi. Asuntojen läheisyyteen tehdään
vakioituja tavaroiden jättölokerikkoja. Jätehuolto sekä sisä- ja ulkotilojen siivous on vi-
siossa robotisoitu. Lisätty todellisuus ja rakennusten digitaaliset kaksoiset poistavat ra-
kentamisen ja kunnossapidon osaamisvajetta. Rakennusvirheet vähenevät kehityksen
myötä sekä ihmisten että robottien tehtävissä. Rakentamisen robotisaatio etenee vähi-
tellen muotittomasta valusta robottimuuraukseen ja pintakäsittelyyn, mutta myös teh-
dastekoisten huone-elementtien valmistukseen. Virtuaalimaailmahuoneet ja sisävilje-
lyhuoneet sekä asuinrakennusten robottiyhteiskeittiöt ovat esimerkkejä uusista vision
mukaisista elementeistä. Haja-asutusalueille toimitettavat ”off grid” -tyyppiset tehdas-
valmisteiset asumismoduulit alkavat yleistyä sisältäen autonomiset energia-, vesi-,
elintarviketuotanto- ja biojätejärjestelmänsä.

Murroksen reunaehdot: Autonomisesti liikkuvat robotit eivät toimi ilman laajaa, jul-
kista latausjärjestelmää. Visiossa odotetaan robotiikan kehittyvän tekoälyn ja kauko-
ohjauksen avulla siten, että robotit ja ihmiset voivat liikkua turvallisesti yhteisillä rei-
teillä. Työkalujen ja muiden tavaroiden manipuloinnin tulee myös onnistua ammatti-
taitoisen ihmisen tavoin, jotta visio voi toteutua. Etätyön ja etäpalveluiden odotetaan
lisääntyvän yksilöllisen tavaroiden jakelun ja robottikeittiöiden sekä yhteiskäyttöisten
virtuaalimaailmojen myötä. Tulevaisuuspankissa [robottiauto henkilö- ja tavaraliiken-
teessä](#), [herkät robottisormet ja kädet](#), [rakennusten ja rakenteiden 3D-tulostus](#), [roboti-
soidut palvelut](#), [makean veden tuottaminen](#), [LED-viljely](#), [”off-grid”-asuminen](#).

Agenda 2030 -vaikutukset: Kaupunkien ja rakennusten toiminnallisuuden kehittämisen parantaa pääomien ja lisäarvon tuoton suhdetta vähentäen myös muuttuvia kustannuksia. Kriisinsieto kasvaa toimintojen hajautuneen rakenteen avulla. Logistiikan tehostuminen vähentää erityisesti elintarvikejakelun kustannuksia. Etätyön suosiminen ja automaatio vähentävät työmatkaliikenteen kustannuksia, tartuntatauteja sekä onnettomuuksia. Kunnossapidon ja rakentamisen robotisaatio puolestaan vähentää fyysisen voiman merkitystä ja ohittaa laajasti miesten hallitsemia työtehtäviä. Rakennusten muuttuminen enemmän energiaomavaraisiksi vähentää energiatuotannon keskittymistä, energiatuotannon haittoja ja sidonnaisuutta fossiilisista energialähteistä sekä edesauttaa energian saatavuutta infrastruktuuriltaan heikoilla alueilla. Toimintojen sähköistyminen ja automatisoituminen parantavat energiatehokkuutta.

Vision mukainen kehitys edistää talouskasvua vähentämällä pullonkaularesurssien käyttöä ja ulkoishaittoja sekä tuottamalla merkittävää uutta asiakaslisäarvoa laajoille markkinoille. Kestävän infrastruktuurin lisäksi innovatiivisuus edistyy hajautuksen ja toiminnallisen sujuvuuden kasvaessa. Älykkääseen hajautettuun robotiikkaan on helppo lisätä ja sovittaa uutta toiminnallisuutta. Eriarvoisuutta visio vähentää robotisaation sarjavalmistamisen luonteen avulla. Robotit ovat luonnostaan samantaitoisia. Tuotekehityksen jälkeinen monistaminen tuottaa vain vähäisen muuttuvan kustannuksen, joten tuotteissa ja palveluissa on kannattavaa pyrkiä mahdollisimman laajoille markkinoille. Kehitys oletettavasti tehostaa laadukasta asuntotuotantoa ja kunnossapitoa vähentäen samalla laadukkaan ja heikkotasaisen asumisen kustannuseroja.

Robotisoitu kunnossapito, tehokas logistiikka ja kasvanut energiaomavaraisuus vähentävät kaupunkien aiheuttamia ulkoishaittoja. Ne myös edesauttavat kestäviä tuotanto- ja kulutustapoja sekä turvallisia kaupunkirakenteita. Robotisoitu toiminta helpottaa sääntelyä ja edistää mahdollisuuksia ilmastonmuutoksen vastaiseen toimintaan, rikollisuuden vähentämiseen, osaamisvaihtoon ja tilastointiin.

Keskeiset jännitteet: Kehittyneet maat pystyisivät omaksumaan vision kehittyviä maita nopeammin, mutta uudisrakentaminen on nopeinta kehittyvissä maissa. Visio korvaa monia rakentamiseen, logistiikkaan ja kunnossapitoon liittyviä työtehtäviä pääosin autonomisilla roboteilla. Tuottavuuskasvu on riippuvainen siitä, syntykö riittävästi lisäarvoa ja osaamista näiden työpaikkojen korvaamiseen. Kaupunki asumiskoneena saattaa aiheuttaa haittaa myös vähentämällä ihmisten arkista liikuntaa. Yhdeksi ongelmaksi voi nousta vision mukaisen toiminnan laaja sidos aineettomiin oikeuksiin ja globaalisti kaupallisin perustein kehitettyjen ohjelmistojen keskeinen vaikutus automaation toimintatapoihin.

2.8. Vaihdanta – kohti etäkauppaa ja digitalisoituja transaktioalustoja

Nykytila: Globaali vähittäiskaupan valtavirta perustuu edelleen myymälöihin ja noutokauppaan. Omistuksen siirto tehdään kassalla; tuotteet valitaan markkinointiviestien ja omien havaintojen perusteella. Yritysten välisessä kaupassa messuesittelyillä, henkilökohtaisilla neuvotteluilla, monimutkaisilla kahdenvälisillä alihankintaverkostoilla ja

pitkäkestoisilla alihankintasopimuksilla on merkittävä rooli. Verkkokauppa muuttaa nopeasti sekä vähittäiskauppaa, tukkuliikkeitä että alihankintaa.

Teknologiamurroksen visiona on verkkokaupan ja alustaliiketoiminnan laajentumisen valtavirraksi. Markkinointiviestit korvautuvat kasvavassa määrin varmennetuilla vertaisarvioilla. Omaehtainen kokeilu korvautuu kuluttajan mitat ja mieltymykset omaavilla digitaalisilla kaksoilla sekä niihin sovitetulla verkkokaupan tuotteiden VR/AR-esittelymateriaalilla. Transaktiot ovat digitaalisia. Kuluttajakaupan ostokset kuljetetaan asiakkaiden lokerikkoihin tai kotiin kierrättäen pakkausmateriaalit. Fyysiset myymälät ovat pääosin keskittyneet yksilölliseen konsultointiin ja palveluun, jossa mm. otetaan mittoja ja valmistetaan esimerkiksi asusteita tai tuotetaan varaosia.

Yritysten välinen kauppa on pääosin siirtynyt alustayritysten välitettäväksi. Alustayritykset vakioivat rajapintoja, esittelyitä ja laadunvalvontaa. Ne huolehtivat myös logistiikasta, maksuliikenteestä ja sopimuksista. Alustat takaavat ja vakioivat nekin sopimukselliset tilanteet, joissa alihankkija valmistaa tuotteet tilaajan spesifikaatioiden ja aineettomien oikeuksien mukaan. Menettely yksinkertaistaa sopimuskäytäntöjä ja luotettavien kumppanien löytämistä lisäten myös alihankinnan joustavuutta. Sopimusrikkomusten ensisijaiseksi ratkaisijaksi tulee valtioiden oikeusistuimen sijaan alustatoimija laadunvalvojiin.

Kasvava osa vaihdannasta siirtyy rahatalouden ulkopuolelle jakamistalouden yleistyessä. Yritysten välisessä toiminnassa resurssien maksuton yhteiskäyttö yleistyy etenkin aineettomien resurssien osalta. Joukkoistuksen keinoin tuotetaan lisäksi yhteisillä alustoilla aineettomia resursseja kaikkien käyttöön. Alustojen välittämä jakamistalous helpottaa myös kuluttajien välistä resurssien yhteiskäyttöä.

Murroksen reunaehdot: Vision laaja toteutuminen kuluttajatoiminnassa edellyttää logistisen infrastruktuurin kehitystä tukemaan robotisoitua kotijakelua. Tämä voi vaatia regulatiivisia toimia. Yritysten välisessä kaupassa digitalisaation, standardoinnin ja riippumattomien testauspalveluiden kehitys edesauttaa vision toteutumista. Alustatoimijat voivat nojautua omaan tai yleiseen logistiikkajärjestelmään. Yleisen logistiikan tehokas käyttö edellyttää tavaroiden yksilöllisen tunnistuksen standardointia ja kaikkien osapuolten yhteisesti käytettäviä digitaalisia kaksoja. Tulevaisuuspankissa [jake-lun robotisaatio](#), [verkkokauppa](#), [kaupalliset alustat](#), [yhteisölliset alustat](#), [tavaroiden digitaaliset kaksoet](#).

Agenda 2030 -vaikutukset: Visio vähentää kaupan kustannuksia ja helpottaa tavaroiden saatavuutta etenkin syrjäisillä seuduilla. Transaktiokustannusten pieneneminen ja nykyistä avoimempi pääsy tehokkaaseen jakelukanavaan kasvattaa pienten ja syrjäisten toimijoiden ansaintamahdollisuuksia. Yhteiskehitettyjen aineettomien materiaalien vapaa saatavuus ja jakamistalous lisäävät mahdollisuuksien tasa-arvoa ja vähentävät riippuvuutta keskitetyistä rakenteista. Tämän voi odottaa vähentävän köyhyyttä ja helpottavan asiantuntijatiedon jakautumista laajasti. Avoimella yhteiskehittämisellä on erityisen suuri vaikutus oppimateriaalien saatavuuteen. Tasa-arvoa alustatalous lisää synnyttämällä sukupuolineutraalin rajapinnan kaupan osapuolten välille.

Talouskasvua visio edistää vertailtavuutta parantamalla. Transaktiokustannusten lasku ja logistiikan pullonkaulojen vähentäminen kasvattavat lisäksi vaihdannan tuomaa lisäarvoa. Asiakaslisäarvon kasvu on ilmeinen esimerkiksi valikoiman laajentumisen, uusien tuotteiden nopean markkinoillepääsyn ja kaupan globalisoitumisen kautta. Lisäarvo kasvaa hajautettuun ja työvaltaiseen suuntaan, mikäli logistiikkarakenteiden hallintaa ei käytetä tukemaan suljettuja liiketoimintaekosysteemejä. Visio on omiaan vähentämään eriarvoisuutta sekä maiden sisällä että maiden välillä avatessaan transaktiorajapintoja ja laskiessaan kaikkia transaktiokustannuksia. Alustat vähentävät korruption mahdollisuuksia ja helpottavat olennaisesti sopimusrikkomusten käsittelyä. Visio helpottaa kansainvälistä yhteistyötä.

Keskeiset jännitteet: Perinteiset jakelukanavat ovat hallinneet verkostojaan ostotoiminnasta ja logistiikasta vähittäisliikkeisiin. Kaavoittajat ovat tukeneet toimintatapaa. Verkkokaupan jäteistä Amazon pyrkii omiin logistiikkarakenteisiinsa. Tehokasta avointa jakelulogistiikkaa ei toistaiseksi ole eikä postitoimijoiden ja kuriirien pakettijakelu sellaiseen yhteistyöhön näytä joustavan ilman regulatiivisia toimia. Jakelun keskittymisen ja sulkeutumisen jatkuminen on siis selkeä riski teknologiamahdollisuuksista huolimatta. Alustatoimijoiden merkittävä asema taloudellisen toiminnan solmu-kohtina johtaa tilanteeseen, jossa yksittäisten valtiollisten toimijoiden valta vähenee ja alustatoimijoiden valitsema toimintatapa muuttuu lakien ja asetusten kaltaiseksi alustatoimijan toimiessa tuomarina. Tämä ulottaa fyysisten tuotteiden jakeluun sen Facebookista tutun käytännön, jossa Facebook määrää amerikkalaisten normien mukaan, mitä kuvia kukin voi jakaa ystävilleen. Jos toimijan asema on riittävän vahva, merkitsee alustan normien rikkominen asiakassuhteiden ja yhteydenpidon katkeamista.

2.9. Etävaikuttaminen – kohti etäläsnäoloa ja virtuaalisia kohtaa-mispaikkoja

Nykytila: Etävaikuttaminen on viime aikoihin saakka tapahtunut pääosin joukkoviestimien, puhelinten ja sähköisten viestien avulla. Videoneuvottelut ovat nopeasti yleistymässä ja yhä useammat laitteet ovat etävalvonnan kautta säädettävissä tai kauko-ohjattavissa. Etätyön ja etäpalveluiden yleistymisen Covid-19 -pandemian liikkumisrajoitusten aikana on vauhdittanut uusien käytäntöjen omaksumista.

Teknologiamurroksen visio muuttaa vuorovaikutteiset etäkohtaamiset olennaiseksi osaksi etävaikuttamisen valtavirtaa. Videoneuvottelut tulevat korvautumaan kohtaa-misilla yhteiskäyttöisissä virtuaalimaailmoissa sekä virtuaalisilla ja fyysisillä etiäisillä. Virtuaaliset etiäiset ovat AR-lasien avulla katsojan fyysiseen ympäristöön projisoituja hahmoja, joiden eleet ja ilmeet vastaavat keskustelukumppanien liikkeitä. Fyysinen etiäinen on robotti, jonka kasvot ja eleet voivat heijastaa ohjaajansa liikkeitä. Fyysinen etiäinen voi myös olla vaikkapa kauko-ohjattu drooni, lumiaura tai harvesteri. Etiäisen ohjaaja näkee etäympäristön tai sen mallin ja kykenee mittaamaan asioita etäympäristössä tai käsittelemään niitä robotin käytettävissä olevin keinoin.

Yhteiskäyttöiset virtuaalimaailmat ovat pelimaailmojen kaltaisia, mutta tarkoitettu pelien lisäksi mm. kokouksiin, suunnittelutyöhön, opetustilanteisiin tai aineettomiin pal-

veluihin. Virtuaalitila voi vastata todellista fyysistä tilaa tai olla täysin kuviteltu. Koh-
taajat näkevät tilan ja toistensa hahmot virtuaalihuoneeseen projisoituna tai VR-lasien
avulla. Virtuaalimaailman objekteja voi käsitellä ja tämä saattaa vaikuttaa myös tapah-
tumiin virtuaalista ympäristöä vastaavassa todellisessa tilassa. Esimerkiksi virtuaali-
sen laboratorion kokeet voidaan robotisoidusti toistaa fyysisessä laboratoriossa.

Etävaikuttamisen visioon kuuluu myös tekoäly. Osa etiäisistä ja jaetussa virtuaaliti-
lassa kohdatuista hahmoista on tekoälyn ohjaamia samalla tavalla kuin osa nykyisistä
sosiaalisen median viestijöistä ja yritysten palveluihin vastaavista roboteista. Tekoälyn
ohjaamana yksilöllisen viestinnän keinot voidaan valjastaa joukkoviestintään. Tekoäly
voi esimerkiksi tekeytyä keskusteluiden osallistujaksi tai etäpalveluiden tarjoajaksi.

Murroksen reunaehdot: Vision toteutuminen edellyttää laajasti saatavilla olevia no-
peita ja alhaisen latenssin omaavia tietoliikenneyhteyksiä, esimerkiksi 5G-verkkoa. VR-
lasien ja AR-lasien tulee kehittyä silmälasien tai aurinkolasien keveyteen ja silmän re-
soluutiota vastaavaan laatuun. Virtualisointitekniikoiden ja animointitekniikoiden tu-
lee automatisoitua ja muuttua arkisiksi. Etiäisrobottien autonominen siirtyminen pai-
kasta toiseen julkisissa tiloissa tulee tehdä mahdolliseksi. Kävelevien ja kätevien kädel-
listen robottien tulee saavuttaa kohtuullinen hintataso.

Agenda 2030 -vaikutukset: Vision mukaisessa toiminnassa riippuvuus ajasta ja pai-
kasta vähenee. Työn voi suorittaa sijaintipaikasta riippumatta, jolloin esimerkiksi edul-
listen asuntojen saatavuus työssäkäyntialueella ei muodostu rajoitukseksi eikä toimiti-
loja tarvitse vuokrata. Tilojen ja matkojen kustannukset jäävät pois. Mahdollisuuksien
tasa-arvo kasvaa olennaisesti samalla, kun riskit vähenevät.

Osaamisen siirto helpottuu etäläsnäolon keinoin suuresti. Etäopetus on jaetussa virtu-
aalitodellisuudessa luonnollisen oloista, mutta luokkatilat ja havaintovälineet on virtu-
alisoitu. Etäneuvonta on AR-tekniikalla helppoa lähes missä tahansa tehtävässä. Teko-
äly voi hoitaa osan opetuksesta; virtuaalinen ympäristö harjoittelumahdollisuuksineen
muuttaa oppimisen houkuttelevaksi ja pelilliseksi. Tasa-arvo lisääntyy paikkasidonnai-
suuden vähetessä; naisten ja tyttöjen valinnanvapaus lisääntyy ja alueellinen vallon-
käyttö muuttuu vaikeammaksi.

Työn tuottavuuden kasvu on ilmeinen matka-aikojen poistuessa ja osaamisen tullessa
helposti kaikkialla saataville. Virtualisaatio kasvattaa asiakaslisäarvon mahdollisuuks-
ia. Laajat markkinat ovat saavutettavissa kaikkialta ja lähes ilman resurssirajoitteita.
Etiäisrobotit auttavat yhdistämään virtuaalimaailman fyysiseen maailmaan. Etiäisten
ohjaus suoritettavissa mistä tahansa. Globaali viestintä standardoituu, tekoäly auttaa
poistamaan globaalin virtuaalitodellisuuden kielimuureja ja monenlaisten tarpeiden
tydyttämisen kustannus laskee etenkin teknologian kypsymisen jälkeen.

Keskeiset jännitteet: Visio saattaa vähentää fyysistä liikkumista ja vieraannuttaa lä-
hiyhteisöistä. Vision mukainen toiminta avaa myönteisen etävaikuttamisen lisäksi pal-
jon mahdollisuuksia tuhoisalle toiminnalle. Esimerkki nykyisestä etävaikuttamisesta
on droneteknologian sotilaskäyttö. Kauko-ohjattavien laitteiden yleistymisen saattaa
tehdä helpoksi niiden käytön siten, että ne ohjataan toimimaan ihmisten kannalta hai-
tallisella tai vaarallisella tavoin. Toisenlainen, esimerkiksi työläinsäädännöllinen on-
gelma on valtorajat ylittävä palvelutyö, joka voi etiäisten avulla korvata paikallista

fyysistäkin työtä. Työn tarjonnan ollessa runsasta, saattaa työstä kilpailu johtaa palkkatason romahtamiseen. Työn ja palveluiden siirtyminen virtuaalitodellisuuteen vaikeuttaa monissa tilanteissa oikeudenkäyttöä ja rikollisen toiminnan valvontaa.

2.10. Työn korvaus koneilla - kohti työn robotisointia ja palvelevaa tekoälyä

Nykytila: Valtaosa työn tuottavuudesta perustuu koneiden ja laitteiden apuun. Koneilla on korvattu fyysistä voimaa ja automatisoitu toistuvia tai vaarallisia työvaiheita. Teknisten laitteiden avulla on myös siirretty, muokattu ja arkistoitu viestejä sekä korvattu aisteja. Koneita on kehitetty kasvavassa määrin korvaamaan työtä myös tilanteissa, joiden on aiemmin ajateltu vaativan inhimillistä harkintaa. Koneellinen kielenkääntö ja robotti-imuri ovat esimerkkejä jo yleistyneistä käytännöistä.

Teknologiamurroksen visiona autonomiset robotit ja tekoälypalvelut ottavat hoitaakseen suuren joukon tehtäviä, joihin aiemmin on kyennyt vain ihminen. Ajoneuvojen kuljetus, yksilöllisten tavaroiden suunnittelu ja valmistus, terveydentilan valvonta, asiantuntijatyyppinen havaintojen tunnistaminen ja luokittelu kuuluvat esimerkkeihin.

Monien tehtävien kustannukset voivat tekoälyn ja robottien suorittamina laskea hyvinkin radikaalisti. Esimerkiksi kielenkääntöpalvelu kuuluu maksuttomana osana sosiaalisen median toimijoiden palveluihin. Suurten kielten välillä konekäännösten laatu on keskimääräistä karkeaa ammattikäännöstä vastaava. Fyysisten robottien suorittaman työn kustannukset saattavat nekin alittaa ihmistyön kustannukset merkittävästi. Työn kustannusten lasku näkyy kilpailtujen palveluiden hinnoissa ja toiminnan tavoissa. Esimerkiksi rikkakasvitorjunnassa voidaan palata kasvimyrskyistä kitkemiseen.

Visio johtaa maailmaan, missä robottien ja tekoälyn palvelut ovat kaikkialla hyvin edullisesti saatavilla ja niitä käytetään rutiininomaisesti. Tavarat valmistetaan yksilöllisiin mittoihin ja kuljetetaan kotiin. Robotit siivoavat, kuljettavat roskat ja valmistavat yksilöllisesti ruoan. Tekoäly kertoo tarinoita ja luo virtuaalisia maailmoja, toimii digitaalisena suojelusenkelinä, kotiopettajana ja perhelääkärinä. Ihmiset keskustelevalt keskenään, mitä roboteilla kannattaisi teettää seuraavaksi ja kuinka ongelmat ratkaistaan. Vaikka robotit lukevan emootioita, puuttuu niiltä visiossa edelleen inhimillisten merkitysten taju ja se yleinen älykkyys, jota monet kutsuvat terveeksi järjeksi

Murroksen reunaehdot: Visio toteutuu väistämättä ainakin osittain. Vision toteutuminen riippuu toteutumisen laajuudesta ja erityisesti halvan palvelurobotiikan yleistymisestä ja niihin liittyvän ohjelmistojen ja laitteistojen välisen rajapinnan selkeästä erottumisesta ja vakiintumisesta. Toteutumisnopeus ja laajuus riippuvat tekoälyn ja ihmisten kykyjä matkivien robottien kehityksen lisäksi regulaatiokehityksestä ja robotiikan rajapintojen standardoitumisesta. Yksityisyyden suoja saattaa erityisesti Euroopassa hidastaa palvelurobotiikan yleistymistä. Standardoituminen tai de facto -rajapintojen vakiintuminen on edellytys kyvykkyyksien nopeasti alenevalle hintakehitykselle ja palvelurobottien massamarkkinoiden kasvulle. Visio ei edellytä vahvan tekoälyn syntyä, vaan ainoastaan tutkimuslaboratorioissa jo toimivien periaatteiden ja kyvyk-

kyyksien yhdistymistä kaupallisiksi teollisiksi tuotteiksi. Tulevaisuuspankissa [puhe-
teknologia](#), [keskustelevat](#) ja [emotionaaliset robotit](#), [tekoäly asiantuntijatehtävissä](#), [ro-
bottiekosysteemien rajapinnat](#), [globaali tekoälytyö](#), [robotisoidut palvelut](#), [robottiauto](#).

Agenda 2030 -vaikutukset: Köyhyyttä vähentää se, että massiivinen teollinen auto-
maatio korvautuu hajautetulla robotiikalla, joka voidaan valjastaa tuotannon käyttöön
paikasta riippumatta. Tuotannon riippuvuus paikallisesta osaamisesta vähenee teko-
älyn toimiessa neuvonantajana tai asiantuntemusta vaativien toimien suorittajana.
Elintarviketuotannossa tekoäly ja robottien apu auttaa kasvattamaan satoja ja vähen-
tämään kasvimyrkkyjen ja lannoitteiden käyttöä. Robotit auttavat tehokkaasti myös
kierrätyksessä, ympäristön haittojen tunnistuksessa ja poistossa sekä ympäristötietoi-
suuden leviämisessä.

Logistiikan ja kaupan varastointi- ja henkilökustannukset vähenevät ja ymmärrys ter-
veellisestä ravinnosta lisääntyy. Tekoälyn ja robotiikan avulla kielimuurit poistuvat ja
edulliset oppimateriaalit sekä korkeatasoinen opetus voidaan välittää oppijoille tehok-
kaasti paikasta riippumatta. Vaikutus naisten tasa-arvoon on myönteinen robottien vä-
hentäessä fyysisen voiman merkitystä ja digitaalisten järjestelmien suhtautuessa mie-
hiin ja naisiin pääosin yhdenvertaisella tavalla. Robotit voivat myös ehkäistä väkivaltaa
ja hyväksikäyttöä.

Talousskasvu visio edistää osaamisen kehityksen kautta ja kasvattaessaan tuotta-
vuutta. Kasvu syntyy myös hintajouston kautta, kun hyvin monet uutta lisäarvoa syn-
nyttävät toimintatavat ja palvelut muuttuvat kannattaviksi. Kasvu voi tapahtua tavalla,
jonka esteenä ei ole resurssiniukkuuksia eikä osaamispullonkauloja. Kasvu yhdistää
toimintoja globaaleiksi osaamisen verkostoiksi, joissa globaalien yritysten, Wikipedian
tai tiedeyhteisön tavoin osaamista kerrytetään yhteistyönä ja se jakautuu laajalti.

Keskeiset jännitteet: Robotisaatio ja tekoälykehitys korvaavat suuressa määrin ny-
kyisiä työtehtäviä. On epäselvää, kuinka nopeasti ja missä määrin avautuvat mahdolli-
suudet synnyttävät uusia työpaikkoja. Kehitys aiheuttanee syrjäytymistä ja henkisiä
ongelmia. Robotisoidut palvelut saattavat helposti muodostaa suljettuja hierarkkisesti
johdettuja arvoketjuja, joissa valtaosalle jää asiakkaan tai alisteisen franchising-kump-
panin rooli. Paikallisten toimijoiden vaikutusvalta omalla alueellaan harjoitettavaan
toimintaan voi jäädä vähäiseksi. Pahimmillaan robotisaatio mahdollistaa kansalaisten
laajan alistamisen ja despoottisen hallinnon sekä automatisoidun terrorismin.

2.11. [Työ ja ansainta](#) – kohti omavaraisuutta, jakamista ja mik- royrittäjyyttä

Nykytila: Ansainnan valtavirta perustuu nykyään erikoistumiseen ja vaihdantaan. Pää-
osa työstä suoritetaan osana organisaatiohierarkioita. Työ palkitaan rahalla, jolla oste-
taan muiden ihmisten organisaatioidensa puitteissa tuottamia tavaroita ja palveluita.
Kehittymättömissä talouksissa itselle tehtyä työtä kutsutaan omavaraistaloudeksi, kun
teollistuneissa maissa siitä puhutaan kotitaloustyönä tai itsepalveluna. Itsepalvelun,
yhteisesti talkoilla tuotetun lisäarvon ja rahatalouden ulkopuolisen vaihdannan määrä
on teollisuusmaissa viimeisten vuosikymmenten aikana kasvanut.

Teknologiamurroksen visio perustuu yhteiskehittämisen ja joukkoistuksen kasva-
vaan helppouteen, tekoälyyn ja robotisaatioon. Wikipedia ja Youtube sekä monenlaiset
erikoisalojen älypuhelinsovellukset ovat osoittaneet, miten helposti yhteistä osaamista
voi kerryttää ja jakaa. Tekoäly ja kaikkialla saatavilla oleva opetusaineisto vähentävät
osaamiseroja. Joustava robotiikka toisaalta vähentää suuruuden ekonomian merki-
tystä. Tämä on omiaan vähentämään erikoistumisen ja vaihdannan tarvetta.

Erikoistumisen ja vaihdannan väheneminen merkitsee rahatalouden ja palkkatyön vä-
henemistä. Sen sijaan, että ostamme jotakin, teemme sen itse. Monet tuottavat tulevai-
suudessa energiansa itse. Myös ravinnon, lääkkeiden, vaatteiden ja tavaroiden tuotta-
minen itse tai niiden tuottaminen yhteisöllisin jakamistalouden välinein muuttuu tek-
nisesti yhä helpommaksi. Tekoälyn ja kehittyvän mittaustekniikan avulla kykenemme
tuottamaan asiantuntijatasen arvioita itsellemme, olipa kyse terveydestä, ravinnosta
tai työsuoritusten laadusta. Ja, milloin tekoäly ei osaa neuvoa, joukkoistus voi auttaa.

Alustatalous tarjoaa mahdollisuuden ansaita mikroyrittäjänä rahaa. Työ saattaa olla
satunnaista ja sirpaleista, palkintona mainetta ja rahaa onnistumisen mukaan. Rahaa ei
kuitenkaan vision mukaisessa maailmassa enää tarvita aiempaa määrää, koska suuri
osa arvosta tuotetaan itselle ja rahatalouden ulkopuolella.

Murroksen reunaehdot: Visio edellyttää tekoälyn ja robotiikan kehittymistä ja toteu-
tuu vähitellen. Teknologian lisäksi itsepalvelun kehitys lähelle omavaraisuuden tasoa
edellyttää regulaatioiden liudentumista siltä osin, kun ne nyt tukevat keinoitekoisesti
hierarkkisia toimintamalleja. Tämä tarkoittaa esimerkiksi aineettomia monopoleja, yh-
teisöllisen toiminnan byrokraattisia rakenteita ja henkilötason erikoistumista ylläpitä-
viä pätevyysvaatimuksia. Tulevaisuuspankissa [henkilökohtaiset analysaattorit](#), [teko-
älyasiantuntijat](#), [3D-tulostus](#), [biomateriaalien 3D-tulostus](#), [talkootyön alustat](#).

Agenda 2030 -vaikutukset: Visio vähentää hyvinvoinnin riippuvuutta rahataloudesta
ja mahdollistaa tarpeiden paremman tyydytyksen niille, jotka eivät pääse osallisiksi
erikoistumisen ja vaihdannan tuottavuushyödyistä. Visio vähentää henkilökohtaisia
tuottavuuseroja ja riippuvuutta kontrolloiduista resursseista. Mahdollisuus tuottaa it-
elleen ja läheisilleen tarpeiden mukaisia asioita lisää elämän merkityksellisyyttä, vä-
hentää syrjäytymistä ja siitä johtuvia henkisiä ongelmia. Visio hajauttaa tuotantoa, laa-
jentaa sen joustavuutta ja kasvattaa siten resilienssiä. Tarpeiden tyydytyksen riippu-
essa suoraan omista taidoista, kasvaa oppimisen motivaatio ja palkitsevuus.

Moderni omavaraistalous edellyttää hajautetun uusiutuvan energian laajaa yleisty-
mistä ja johtaa energiatehokkaisiin käytäntöihin. Talouskasvusta puhuminen on ongel-
mallista rahan merkityksen vähentyessä, mutta hyvinvoinnin kasvua visio voi edistää
vähentämällä transaktiokustannuksia ja kasvattamalla välittömien tarpeeseen kohdis-
tuvien lisäarvojen tyydyttämisen osuutta kaikesta tekemisestä. Aineettoman suunnit-
teluosaamisen joukkoistus ja hajautettujen robotisoitujen työvälineiden helppo saata-
vuus jakamistalouden kautta kasvattaa tuottavuutta erityisesti heikosti teollistuneilla
alueilla. Tuottavuuserojen osittainen irtoaminen keskitetyistä teollisista hierarkioista
ja aiemmista osaamisjärjestelmistä näyttää ilmeiseltä. Tämä helpottaa paikallisen
osaamisen hankintaa ja käyttöä sekä muiden paikallisten resurssien käyttöä. Kansa-
laisvapauksien lisääntyminen näyttää myös vision myötä ilmeiseltä.

Keskeiset jännitteet: Rahatalouden mahdollinen väheneminen vähentää julkisen talouden mahdollisuutta tulonsiirtoihin. Vision toteutuminen voi siis heikentää omavaraistalouteen kykenemättömien ihmisten toimeentuloa nykyisissä hyvinvointivaltioissa. Kasvava paikallistalous myös lisää hyväksikäytön ja väkivallan mahdollisuuksia sekä heikentää naisten asemaa. Eristäytyvä, paikallinen toiminta kasvattaa kulttuurieroja. Fyysisen vaihdannan väheneminen hidastaa yhdenvertaisten lakien ja käytäntöjen globaalia harmonisointia huolimatta vision mukaisesta globaalista osaamisvaihdosta. Valtioiden roolin ja globalisaation heikkeneminen saattaa myös vaarantaa ilmastomuutoksen vastaiset regulatiiviset ja rahoitukselliset toimet. Omavaraistalouden laajeneminen kasvattaa helposti viljelyalaa ja muuta maankäyttöä sekä aiheuttaa muita vaikeasti kontrolloitavia ulkoishaittoja.

2.12. Terveys – kohti ennakoivaa terveyttä ja pelillistä itsediagnostiikkaa

Nykytila: Lääketieteellisiin toimiin ryhdytään nykyisin ihmisen loukkaannuttua tai koikiessa itsensä sairaaksi. Tarpeen ilmettyä hakeudutaan terveydenhuollon palveluiden pariin. Ongelman syy selvitetään laboratoriotestein ja lääkärin diagnostisin keinoin. Elämäntapaan ja lääkintään liittyvät hoito-ohjeet perustuvat väestötason malleihin, kuten käypähoitoihin ja ravitsemussuosituksiin. DNA-tutkimukset ja kansalaisten käytössä yleistyvät elintoimintoja jatkuvasti seuraavat laitteet ovat vähitellen siirtämässä huomiota yksilölliseen ennakointiin.

Teknologiamurroksen visio perustuu ihmisten digitaalisiin kaksosiin ja elintoimintojen jatkuvaan seurantaan. Digitaalinen kaksonen on ihmisen soluista elimistöön ulottuva tietokonemalli, joka perustuu yksilön perimään ja toteutetaan kulloinkin mahdollisella tarkkuudella. Malli kalibroidaan terveysrannekkeiden tai muiden henkilökohtaisten sensorien sekä laboratoriodien ja lääkäreiden tutkimustietojen avulla. Se auttaa ennakoimaan ongelmia, hälyttää poikkeamia havaitessaan ja ohjaa terveisiin elämäntapoihin pelillisin keinoin. Malli voi esimerkiksi näyttää kehon kunnon tulevaisuudessa, jos nykyisiä tai vaihtoehtoisia elämäntapoja jatketaan. Digitaalinen kaksonen voi myös ilmaista edeltä käsin, miten kudokset reagoivat ehdotettuun lääkitykseen.

Digitaalisen kaksosen, henkilökohtaisten mittalaitteiden ja tekoälyn avulla oireet ja muut potentiaaliset ongelmat tunnistetaan varhain eivätkä ne ehdi kehittyä vakaviksi ennen toimenpiteitä. Huoli terveydestä vähenee, kun jatkuvaan seurantaan voi luottaa. Elintapaohjeiden ja lääkinnän muuttuminen yksilölliseksi johtaa käypähoitoja ja väestöllisiä elintapasuosituksia parempiin hoitotuloksiin. Merkittävä osa lääkinnästä voidaan antaa tekoälyn ja digitaalisen kaksosen määrättäväksi apteekkien valvonnassa.

Lääketieteellisen tiedon jatkuva lisääntyminen, digitalisaatio ja yksityiskohtainen solubiologinen mallinnus johtavat kykyyn havaita erilaiset syövät tai tartuntataudit hyvin vähäisistä pitoisuuksista ja jopa jätevesistä. Tuloksista voidaan usein yksilöidä sairastuneet. Solubiologian kehitys näyttää myös johtavan keinoihin, joilla vanhenemista voidaan hidastaa ja tervettä elinikää pidentää jopa kymmenillä vuosilla.

Murroksen reunaehdot: Laboratoriotekniikka ja itsediagnostiset välineet kehittyvät nopeasti. Vision toteutuminen perustuu oletukseen siitä, että biosirut kehittyvät halvoiksi. Robotiikan ja fotonikan menetelmät tekevät kuluttajalaitteet pienoislaboratorioiksi, joiden käyttö itsediagnostisiin testeihin ei vaadi erityistä laboratorio-osaamista. Visio toteutuu vähitellen eikä se edellytä molekyylitason digitaalisten kaksosten kokonaisvaltaista toimintaa. Teknisten reunaehtojen lisäksi on huomattava lääketieteen luonne voimakkaasti reguloituna toimintana. Vision toteutuminen edellyttää säädösten muuttamista itsediagnostiikkaa suosivaksi terveydenhuollon välineiden suurimmilla markkinoilla. Tulevaisuuspankissa [DNA-lukijat](#), [solun metabolia](#), [solubiologinen malli](#), [itsediagnostiikkalaitteet](#), [biosirut](#), [eliniän pidentäminen](#).

Agenda 2030 -vaikutukset: Terveysongelmat ovat merkittävä köyhyyden aiheuttaja, mutta myös osa köyhyyden seurauksia. Perinteiseen terveydenhuoltoon verrattuna visio tarjoaa hyvin edulliset keinot terveystiedon ja yksilöllisen diagnostiikan saatavuuden parantamiseen sekä kehittyneissä että kehittyvissä maissa. Yksilöllinen ja tarkka tieto pelillisessä ennakoivassa muodossa kasvattaa sekä terveystiedon että elintapoihin liittyvän tiedon vaikuttavuutta. Halvat mittalaitteet ja tekoälyn avulla tuotettu palvelu ovat helposti saatavilla niilläkin alueilla, joilla lääkärinhoitoon pääsy on vaikeaa.

Visio edistää talouskasvua parantamalla väestön terveyttä ja kasvattamalla terveystiedon lisäarvoa ennakoivaan ja yksilöllisesti terveitä elintapoja suosivaan suuntaan. Samalla helpotetaan merkittävästi lääketieteellisen tutkimusaineiston kertymistä. Eriarvoisuuden vähentämisessä itsediagnostiset välineet ja tekoäly ovat keskeisellä sijalla. Parhaita asiantuntijoita ei koskaan ole riittävästi jokaista ihmistä hoitamaan, mutta paras tekoäly on se, jolla on laajin kokemus. Parhaan tekoälyn ja itsediagnostiikkalaitteiden avustama terveydenhuolto voikin olla laajasti tarjolla. Visio auttaa saavuttamaan hyvän kansanterveyden tason ilman kalliita sairaaloita ja harvinaisia huippuosaajia.

Rauhanomaisia yhteiskuntia visio edistää tarjoamalla lupauksen pitkäikäisestä terveydestä. Samalla vision mukaiset käytännöt auttavat paljastamaan väärinkäytöksiä ja helpottavat kansalaisten pääsyä omaan terveyteensä vaikuttavaan tietoon.

Keskeiset jännitteet: Elintoimintojen jatkuva seuranta ja tietojen siirto tekoälyn vertailtavaksi saattaa vaarantaa yksityisyyden suojan. Erityisesti geenitieto ja elämäntapatiedot voivat väärissä käsissä altistaa riskeille. Elintapojen vision mukainen mittarointi saattaa johtaa elämän medikalisaatioon. Itsediagnostiikkavälineiden keräämien tietojen käyttö terveydenhuollon päätöksissä herättää kysymyksen vastuurajoista eikä sovellu tämän hetken käytäntöihin, joiden mukaan terveydenhuollon toimijat ovat vastuussa diagnoosiin käytetyistä tiedoista. Vastuita tulee jakaa enemmän laitteiden valmistajille ja käyttäjille, jotta terveydenhuolto voisi vision mukaan toimia. Terveen eliniän radikaali pidentyminen voisi jäykistää valtarakenteita ja kasvattaa eriarvoisuutta. Laajassa mitassa sillä olisi myös merkittävä elinympäristöä kuormittava vaikutus.

2.13. Toimintakyvyn avusteet – kohti vajavaisen ihmisen teknisiä avusteita

Nykytila: Suorituskyvyltään terveistä aikuisista poikkeavia ihmisiä avustetaan pääsääntöisesti muiden ihmisten toimesta. Lapsia ja vanhuksia sekä henkisesti vajavaisia hoidetaan laitoksissa tai avustetaan kotiloissa. Liikuntarajoitteisia avustetaan kulkemaan ja siirtämään tavaroitaan. Elintoimintoja saatetaan avustaa lääkinällisesti ja esimerkiksi näkökyvyn tai kuulon puutteita yksinkertaisin laittein. Teknisten apuvälineiden ja proteesien kehitys on nopeutunut. Monet tutkimukselliset proteesit muistuttavat meitä jo tieteiselokuvien kyborgeista.

Teknologiamurroksen visiona fyysisesti tai henkisesti vajavaisten itsenäistä toimintakykyä tuetaan yhä teknisemmin välinein. Tämä voi tarkoittaa esimerkiksi toiminnallisia proteeseja, keinoelimiä, etäneuvonnan joukkoistusalustoja tai digitaalisia suojelusenkeitä. Kehityksen tavoitteena on vähentää riippuvuutta laitoksista ja palauttaa ihmisten itsenäiset toiminnalliset vapaudet normaalin tasoisiksi. Joukkoistus auttaa tekoälyn kehittämisessä ja sen kyvyt ylittävien ongelmatilanteiden ratkomisessa.

Näkövammaisia auttava konenäkö kuvailee näkökentässä olevia esineitä, eleitä ja ilmeitä. Puheentunnistus kääntää puheen kuulovammaisille viittomiksi. Digitaalinen suojelusenkeli varoittaa kulkureittien tai tilanteiden vaaroista ja opastaa turvalliseen toimintaan tai hälyttää tarvittaessa apua. Joukkoistus neuvoo tilanteissa, joihin tekoäly ei kykene. Jalkaproteesit tai puettavat kävelyavusteet auttavat liikuntarajoitteiset pyörätuoleista jaloilleen. Puettavat tukirangat ja käsien vahvistajat auttavat kantamaan tavaroita. Keinohaima, keinomunuainen, sydänlihaksen vahvistaja tai hermostolliset tahdistajat ovat yksittäisiä esimerkkejä sisäelinten toiminnan avustamisesta.

Toimintakyvyn avusteet voivat parantaa ihmisen kykyä myös normaalin tason yli. Parkinson-potilaan käsissä vapinaa poistava lusikka voi auttaa muitakin. Tavaroiden kuljettimet, lihasten vahvistajat, havaintokyvyn laajentajat ja sisäelinten toiminnan parantajat voivat kasvattaa ihmisten suorituskykyä laajasti luonnollista paremmaksi.

Murroksen reunaehdot: Teknisten avusteiden osalta kehitys on enemmän sidoksissa vajavaisia ihmisiä auttavien organisaatioiden päätöksiin kuin teknologian kehitykseen. Monet halvatkin keinot saattavat jäädä käyttämättä, jos normit eivät niitä edellytä. Muiden avusta riippuvaisilla ihmisillä ei omaehtoisten kykyjen puuttuessa useinkaan ole muuta mahdollisuutta kuin mukautua vanhoihin keinoihin, mikäli heitä hoitavien organisaatioiden rakenteet niihin ohjaavat. Vision toteutuminen ei pääosin edellytä perustavaa laatua olevaa teknologian kehitystä vaan heräämistä uusiin mahdollisuuksiin ja halua vajavaisten ihmisten itsenäisemmän elämän tukemiseen. Käytäntöjen uskotaan kehittyvän teknologisten avusteiden suuntaan. Tämä edesauttaa menetelmien yleistymistä, jatkuvaa parantumista ja halventumista. Tulevaisuuspankissa [robottijalat](#), [kyborgit](#), [keinoelimet](#), [ympäristön tunnistus](#), [puheentunnistus](#), [emootioiden tunnistus](#).

Agenda 2030 -vaikutukset: Visio auttaa vähentämään köyhyyttä ja sen haittoja, koska se vähentää olennaisesti hoitolaitosten tarvetta ja kasvattaa tehokkaasti itsenäisen selviämisen mahdollisuuksia. Itsenäisen elämän ja työkyvyn säilyttämisen tai pa-

rantamisen merkitys köyhyyden poistajana lienee ilmeinen. Vaikkakaan visio ei varsinaisesti paranna sairauksia tai vammoja, auttaa se lieventämään tai poistamaan niiden aiheuttamia haittoja laajasti saavutettavissa olevin tavoin. Samalla vision mukainen toiminta vähentää selkeästi monia terveydellisiä riskejä. Onnettomuusriskien lisäksi syrjäytymisen ja henkisten ongelmien, väkivallan ja hyväksikäytön vaara vähenee itsenäisen toimintakyvyn palautuessa. Myös elinikäiset oppimismahdollisuudet kasvavat. Sukupuolten tasa-arvoa lisää sekä suurempi riippumattomuus fyysisestä voimasta että digitaalisen suojelusenkelin ja joukkoistuksen kautta saatavan avun mahdollisuus.

Visio edistää työllisyyttä lisäämällä työkykyä ja tukemalla itsenäistä liikkumista. Yhteiskunnan resurssien vapauttaminen laitosmaisesta huolenpidosta edesauttaa sekin talouskasvua. Eriarvoisuuden vähentäjänä visio tuottaa itsenäisen elämän ja hyvinvoinnin mahdollisuuden niille, joilta se kehollisen vajavuuden vuoksi puuttuu. Vision toteutuessa monien terveydenhuollon palveluiden kuormitus laskee ja resurssit voidaan ohjata muihin lisäarvoa tuottaviin palveluihin.

Keskeiset jännitteet: Apuvälineiden kehittämiseen ei ole syntynyt lääkekehityksen tyypistä, toimintakykyisten potilaiden, vakuutusyhtiöiden, lääkäreiden ja lääketeollisuuden dynaamista rakennetta, joka vaatii jatkuvasti parhaiden hoitomenetelmien käyttöönottoa. Pysyviä vammoja pidetään rahoittajien näkökulmasta tapahtuneina tosiasioina, joiden kustannusten ei nähdä vähenevän apuvälineiden avulla. Eikä toimintakyvyn teknologinen palauttaminen käytännössä vähentäisikään esimerkiksi vakuutusyhtiön tai yhteiskunnan kustannuksia nykyisten säädösten mukaan. Toimintakyvyllään alentuneet ovat myös usein passivoituneet ja jättäytyneet laitoshoidon varaan. Apuvälineiksi tarjotaan perinteisiä keinoja, mutta varsinaista kehitysvastuuta kantavat vain harvat aktiiviset toimijat, kuten esimerkiksi Suomessa Näkövammaisten keskusliitto. Yhteiskunnan toimiessa epäoptimaalisesti kehittyvät apuvälineet ja niihin liittyvät käytännöt hitaasti ja hyväosaisimpien ehdoilla.

2.14. Havainnot ja tietäminen – kohti itse mitattua ja joukkoistettua AI-tietoa

Nykytila: Useimmat ihmiset hankkivat valtaosan käyttämistään tiedoista lukemalla ja kuuntelemalla selosteita, uutisia tai oppikirjoja. Vaikka tieto yhteiskunnan tasolla syntyy havaintojen ja kokeilujen kautta, enemmistö kaikesta tiedostamme perustuu muiden ihmisten tulkitsemaan ja kertomaan. Digitalisaatio on viime aikoina hieman vähentänyt välikäsien merkitystä ja kasvattanut vertaistiedon osuutta. Saamme verkon kautta suoran yhteyden yhä useampiin mittalaitteisiin ja tiedon alkuperäislähteisiin. Myös henkilökohtaiset mittalaitteet ovat monipuolistumassa.

Teknologiamurroksen visiossa tiedot hankitaan nykyistä suoremmin keinoin. Ihmiset käyttävät selvitystehtävissään kännykkäkameroita ja moninaisia muita älypuheliin liittyviä mittalaitteita. Tekoäly auttaa tunnistamaan hahmoja, materiaaleja ja tilanteita näiden havaintojen avulla. Monimutkaisetkin mittalaitteet, kuten DNA-lukijat ja materiaalitutkat muuttuvat tavallisiksi. Tuoteselosteesta ei tarvitse esimerkiksi lukea, mitä aineita ruoka tai tekstiili sisältää eikä aluehallintoviraston tiedoista lukea, miten puhdasta alueen vesi on. Sen voi selvittää mittaamalla kohteen optisesti tai

biosirun avulla. Konenäkö tulkitsee kanssaihminen ilmeet, sienten myrkyllisyyden tai lintujen ja kukkien nimet. Biotekninen analyysi saattaa kertoa jopa, miltä alueilta ravinto on peräisin tai, mitä kemiallisia yhdisteitä naapurimme hengityksessä esiintyy.

Havainnot kertyvät joukkoistettuina yhteisiin tietokantoihin, joissa tekoäly tekee niistä yhteenvetoja tai kausaalisia päätelmiä. Jokainen voi saada lähes suoria havaintoja haalumistaan paikoista, niiden aiemmasta tilasta ja ennusteita tulevista olosuhteista. Asiantuntijatietoon ja malleihin yhdistettynä tämä johtaa sovelluksiin, joilta voi kysyä tietoja ja neuvoja kuhunkin omakohtaiseen tarpeeseen. Uusi tieto onkin yksilöllisen kiinnostuksen mukaan paikallista ja yhdisteltyä. Tekoäly esimerkiksi yhdistää siihen automaattisesti uudet tutkimusjulkaisut. Vaikka suuri osa ihmisen nykyisin välittämästä tiedosta on tarkoituksetta tai tarkoituksellisesti harhaanjohtavaa, on yksittäisten lähteiden harhaanjohtava vaikutus paljastettavissa. Vision mukaisessa tulevaisuudessa tämä tehdään joukkoistuksen ja tekoälyn avulla käyttäen luottamusrakenteita. Tiedon alkulähteet tunnistetaan ja muista poikkeavia mittaustietoja jakavat jäävät huomiotta. Laajasti heikktasoiset palvelut eivät yleisty, koska niistä ei ole käyttäjilleen hyötyä.

Murroksen reunaehdot: Visio toteutuu vähitellen. Se edellyttää mittalaitteiden kehitystä ja konenäön oppimateriaalien kertymistä laajan käytön yhteydessä. Visio edellyttää myös sitä, että joukkoistuksessa tietolähteiden alkuperä tunnistetaan luotettavasti ja epäluotettavaa tietoa karsitaan. On oletettavaa, että suuri osa mittatiedoista syntyy joukkoistettuna ihmisten omista päätelaitteista, mutta suoraa havaintotietoa kertyy myös robottiliikenteestä, satelliiteista ja ympäristöä valvovista droneista tai muista autonomisesti liikkuvista laitteista ja teollisista prosesseista. Tulevaisuuspankissa [hahmontunnistus](#), [tekoälyn asiantuntijasovellukset](#), [materiaalitutka](#), [DNA-luenta](#), [tiedonkeruun joukkoistus](#), [vertaisluottamus](#).

Agenda 2030 -vaikutukset: Suora ja joukkoistettu tiedonhankinta helpottavat tarpeenmukaisen ja tilanteisiin kohdistetun tiedon saantia. Tämä kasvattaa mahdollisuuksien tasa-arvoa, koska riippuvuus keskitetyistä ja rajoitetuista tiedonhankintakanavista vähenee. Terveystiedon, terveellisen elämäntavan, hyvien viljelykäytäntöjen ja lukuisten muiden tietojen joukkoistaminen sekä omakohtaisten suorien havaintojen vertaaminen parantavat ravitsemusta ja edistävät terveyttä. Oppimismahdollisuuksiin visio avaa täysin uuden ja innostavan näkymän, kun harjaantuminen arjen tehtävien yhteydessä omakohtaisen mittaustiedon, tekoälyn neuvojen ja vertailutiedon avulla muuttuu pääasialliseksi osaamisen kehittämisen tavaksi.

Mittaus ja joukkoistus auttavat vähentämään ja paljastamaan saasteita vesistöissä ja maaperässä ja samalla välttämään näiden haittoja. Parantunut välitön tiedonsaanti tuotannosta ja tarpeista synnyttää merkittävää asiakaslisäarvoa, innovaatioita ja säästöjä tuotannon tekijöissä. Tutkimustiedon jalkautuminen laajaan käyttöön nopeutuu ja vähiten kehittyneiden maiden tiedonsaanti niitä itseään koskevissa asioissa helpottuu suoran havainnoinnin keinoin erityisen paljon. Vision voi nähdä selkeästi vähentävän eriarvoisuutta sekä alueiden sisällä että niiden välillä.

Suorat havainnot, tekoäly ja joukkoistus lisäävät liikkumisen turvallisuutta, vähentävät kaikenlaisen väkivallan ja rikollisuuden uhkaa, kasvattavat niin organisaatioiden kuin ekosysteemien, ilmastotoimien, kulutuksen ja turismin haittojen läpinäkyvyyttä, tehostavat oikeusjärjestelmän toimintaa ja lisäävät osallistumismahdollisuuksia. Välittömät,

joukkoistetut havainnot, tekoälyn tulkitsemina ja tarkoituksellisesta vääristelystä puhdistettuina, tukevat kestävän kehityksen toimeenpanoa kaikilla tasoilla.

Keskeiset jännitteet: Vision haittoja on vaikea nähdä olettaen, että joukkoistettu tieto perustuu todellisiin havaintoihin ja tekoäly ei tulkitse sitä vääristyneesti. Esteitä vision toteutumiselle on kuitenkin paljon. Monet valtarakenteet pyrkivät valjastamaan tiedonjakelua omille pyrkimyksilleen suotuisaksi. Osa ihmisistä ryhmittyy ideologisesti siten, että totuus asioista ei edes kiinnosta, vaan ryhmäkohtaiset havainnot ja mielipiteet ovat ryhmän sisällä menestymiselle paljon tärkeämpi asia. Sosiaalisen median osoitettu kyky vahvistaa virheellistä tietoa saattaa johtaa merkittävään vastavoimaan vision mukaiselle kehitykselle. Toisaalta reaalityodellisuus on aina läsnä siten, että käytännön tasoihin vääriin tietoihin ja havaintoihin luottaminen tuottaa huonon lopputuloksen. Tämän vuoksi suora havainnointi ja sen luotettava joukkoistus sisältävät käyttäjilleen positiivisen palkitsevuuden, ja tämä vaikeuttaa vision vastaista toimintaa ainakin niissä tilanteissa, joissa on kyse omakohtaisista toimista.

2.15. Osaaminen ja sen näyttö – kohti AI:n varmentamaa itseistä oppimista

Nykytila: Valtavirtaisesti me opimme monet perustaitomme oppikirjoista, koulussa opettajien ja kotona vanhempiemme opettamana. Erikoistuneet taidot meille opetetaan oppilaitoksissa, kursseilla ja työpaikoilla. Oppiminen ja osaamisen tai osaamisvaajeiden tunnistus on pääosin opettajajohtoista. Oppimateriaaleja, luentoja ja erilaisten taitojen esittelyjä tuotetaan kasvavassa määrin verkkoihin vapaasti käytettäväksi tilanteen ja tarpeen vaatiessa. Tutkinnot myönnetään oppilaitoskohtaisesti, mutta opetuksesta riippumattomat, osaamisen näyttöön perustuvat mikrotutkinnot ovat vähitellen yleistymässä. Itseoppiminen tietoverkoissa globaalisti tarjolla olevien materiaalien avulla yleistyy myös, mutta siten hankitun osaamisen näyttö on vaikeaa.

Teknologiamurroksen visio perustuu tietokoneavusteiseen ja tarpeen mukaiseen, pelillistettyyn oppimiseen, jossa opettajalla on lähinnä kannustava ja tukeva rooli. Käänteisessä oppimisessa tutustuminen aiheeseen tapahtuu itsenäisesti, verkossa olevien, aihetta ja sen perusteita esittelevien luentojen tai demonstraatioiden johdattamana. Opittujen asioiden merkityksiä punnitaan keskustellen opettajan ja muiden oppilaiden kanssa. Varsinainen harjaantuminen opittuihin taitoihin tapahtuu simulaatioiden ja oppimispelien tarjoamien harjoitusten avulla. Osaaminen osoitetaan suorittamalla tekoälyn asettamia ja tarkastamia pitkiä, monivaiheisiakin tehtäviä sekä selviytymällä simuloiduista virtuaalimaailman tilanteista tai robottien järjestämisestä fyysisistä tehtävistä. Oppiminen on elinikäistä ja jatkuvan muutoksen vaatimaa.

Perustaitojen hankkimisen jälkeen oppiminen tapahtuu suurelta osin työn tai harrasteiden ohessa aina tilanteen vaatiessa. Oppi ei siis varastoida vaan se hankitaan tilanteiden myötä. Perustaidot painottuvat jäsentäviin, hahmottaviin, merkityksiä ja ongelmia sekä viestintää harjaannuttaviin taitoihin. Merkittävä osa pelillisestä oppimisesta ja harjaantumisesta tapahtuu vertaisryhmissä yhteisten ongelmien ratkomisen kautta. Tekoälyn tuottaa tarvittavat oppimistilanteet sekä ohjaa ja valvoo oppimista.

Osaaminen tunnistetaan opetuksen järjestäjistä riippumatta osoittamalla osaaminen tekoälyn valvomassa tilanteessa. Osaamisen näyttö on kulttuurisia asioita lukuun ottamatta globaalisti hyväksyttävää. Nopeasti muuttuvissa aiheissa osaamisen näyttö vanhenee ja se on uudistettava määrävälein. Osaamisen näytön kannalta on merkityksentöntä, missä osaaminen on hankittu, onko se koostunut kursseista, luettu itsenäisesti kirjoista tai hankittu tietokonepeleistä. Epämuodollinen osaamisen näyttö yleistyy muodollisen rinnalle. Se muodostuu esimerkiksi lohkoketjujen varmistamista vertaisarvioista ja asiakaspalautteista sekä normitetuista, arvioiduista työsuoritteista.

Murroksen reunaehdot: Koronapandemia on vastikään osoittanut, ettei vision toteutumiselle ole merkittäviä teknisiä esteitä. Vision mukaisia oppimateriaaleja ja testejä on laajasti jo saatavilla ja kehitystyö on jatkuvaa. Tietoverkkojen palvelukyky on myös yleisesti lähestymässä vision edellyttämää tasoa. Merkittävin este kehitykselle on institutionaalinen ja säädöksiin tai totuttuihin arvoihin liittyvä. Yritykset ja julkishallinto edellyttävät yleisesti oppilaitoksissa suoritettuja, usein kansallisesti varmistettuja tutkintoja. Tutkintojen myöntämisoikeus sekä tutkintoon tähtäävän opiskelun rahoitus on yleisesti sidottu kurssimaiseen perinteisten rakenteiden ja tottumusten mukaan johdettuun opetukseen. Yksilötasolla visio edellyttää neuroplastisuutta, jatkuvaa poisoppimista vanhasta ja sen korvaamista uusilla käsityksillä ja taidoilla. Tulevaisuusspankissa [käänteinen oppiminen](#).

Agenda 2030 -vaikutukset: Parhaita opettajia ei riitä kaikkialle, mutta parhaan opetuksen ja oppimateriaalit voi jakaa kenelle tahansa, joka on tietoverkkojen ulottuvilla. Köyhyys on monella tavoin seurausta koulutuksen puutteista. Siksi visio kaikille helposti saavutettavista oppimismahdollisuuksista on tehokkaimpia köyhyyden poistamisen keinoja. Laaja osaaminen kasvattaa tuottavuutta, vähentää kustannuksia ja lisää mahdollisuuksien tasa-arvoa. Visio vapaasti käytettävistä oppimateriaaleista ja pelillisestä vertaisoppimisesta saattaa motivoituneen syrjäkylän oppilaan parhaimmillaan samalle tasolle eliittikoulun oppilaiden kanssa. Oppiminen ei ole visiossa sidoksissa oppilaan taustaan tai sijaintiin. Vision mukainen oppimisympäristö myös kasvattaa oppimisen motiivia. Tilanteen ja tarpeen mukainen oppiminen elinikäisen oppimisen pääasiallisena keinona edesauttaa jatkuvaa kehittymistä työssä ja sisältää oman välittömän motivaationsa ja palkitsevuutensa parempien työtulosten kautta.

Tyttöjen ja naisten opiskelu helpottuu ja vaikutusmahdollisuudet kasvavat. Käytännön terveyteen, ravitsemukseen, oikeusturvaan sekä taloudelliseen, sosiaaliseen ja ekologiseen toimintaan liittyvät taidot tulevat helpommin saataville. Tilannekohtaiset oppimismahdollisuudet kasvattavat innovatiivisuutta ja helpottavat uusien lisäarvojen leviämistä erityisesti kehitysmaissa. Visio vähentää osaamiseroista johtuvien tuottavuuserojen riippuvuutta julkisen toimijan kyvyistä ja resursseista. Samaten visio vähentää riippuvuutta ns. periytyvistä eriarvoisuuden lähteistä, kun opillisten arvojen myöntäminen erotetaan vain eliitin saavutettavissa olevista oppilaitoksista.

Visio lisää paikallista osaamista ja sen merkitystä kehittyvissä maissa. Se edistää kansalaisvapauksia, pääsyä informaatioon sekä kykyä hankkia uutta teknologiaa, kehittää viestinnän rakenteita ja kestäväen kehityksen yhteistyötä.

Keskeiset jännitteet: Merkittävin visiota uhkaava jännite liittyy nykyisiin rakenteisiin. Päätöksentekijät ovat osallisina perinteisissä pätevyitysrakenteissa ja opetussellisissa instituutioissa. Rakenteet ovat ensisijaisesti kansallisia, mutta maittain toisensa kaltaisia. Niiden olennainen muutos ei tapahdu ilman merkittäviä paineita teollistuneessa maailmassa, koska kehitysmaat yksin eivät muutoksen ajureita kykene tuottamaan. Globaalisti hyväksyttävien tutkintojen erottaminen opetuksen järjestämisestä toteutuu toistaiseksi laajasti vain yritysmaailmassa käytetyissä teknologia-aiheisissa mikrotutkinnoissa. Yliopistojen kansainväliset yhteistyöverkostot saattavat askeleittain johtaa opetuksen ja osaamisen näytön laajempaan erottamiseen toisistaan.

2.16. Elämykset – kohti robotisoituja ja virtuaalisia, osallistavia elämyksiä

Nykytila: Viihteen valtavirta perustuu elämysten tuottamiseen ja kuluttamiseen. Sekä kirjat, lehdet, sarjafilmit, elokuvat, musiikkitalenteet että konsertit erottavat tarkasti elämysten tuottajat niiden kuluttajista. Kilpaurheilu, lukuisat muut tapahtumat, museot ja näyttelyt noudattavat yleisimmin samaa, kuluttajat enemmän tai vähemmän passiivisen yleisön rooliin ohjaamaa mallia. Osallistuvuutta saattaa jossakin vähäisessä määrin olla, mutta osallisuus on syvempää ja aktiivisempaa harrasteissa, tansseissa, sosiaalisessa mediassa, verkkopeleissä ja useimmiten myös turismissa.

Teknologiamurroksen visio perustuu osallistavaan viihteeseen, jossa kokija on aktiivinen toimija, yhteisiä elämyksiä kanssaihmisilleen tuottava osapuoli. Visiossa tuleva viihteen valtavirta nähdään pääosin digitaalisena ja robotisoituna. Tässä huomioidaan luonnon rajalliset resurssit ja yksilöllisten kokemusten tuotantokustannukset. Nykyisestä ruutuajasta poiketen tuotetaan virtuaalitodellisuuden ja robottien avulla fyysisiä liikunnallisia kokemuksia esimerkiksi lentämisestä tai vuoristovaelluksesta. Jaettu virtuaalitodellisuus tekee mahdolliseksi yhteiset seikkailut muiden ihmisten, sekä vanhojen että uusien tuttavuuksien kanssa.

Tekoäly tuottaa kokemukselliset ympäristöt ja virikkeelliset tapahtumat niihin. Voimme nauttia musiikista osallistumalla elämykseen soittajana tai roudarina. Elokuvallisiin tarinoihin osallistumme roolihenkilönä ja vanhan kirjan lukemisen koemme tapahtumapaikoilla iltanuotiolla tai virtuaalisen retkeilyn lomassa kerrottuna tarinana. Pelillisyyden ja seikkailujen yhdistäminen voi ulottua harrasteiden opetteluun, esimerkiksi taiteen kokemiseen taidemaalarien aikalaisena oppilaana tai turismiin seikkailupelien tapaisin kääntein. Luonnon kokeminen virtuaalisten safarien, sukellusten tai avaruusmatkan keinoin ei sulje pois seksirobotteja tai muita fyysisiä kokemuksia virtuaalimaailmaan tuottavia, kokijan emootioita lukevia ja niihin reagoivia apuvälineitä.

Robottien rooli gourmet-kokemusten tuottajana, pelikaverina, tanssiopettajana, kotiviulistina, seiniä koristelevana taidemaalarina tai seuraleikkien järjestäjänä ja hovimestarina auttaa järjestämään osallistavia elämyksiä fyysisesti läsnä olevalle joukolle. AR-lasit ja etäisrobotit mahdollistavat virtuaalisen läsnäolon osana fyysistä todellisuutta. VR-lasien ja droonien avulla voi esimerkiksi kokea lentävänsä kilpaa Ressun ja Punaisen paronin kanssa. Sen jälkeen voi vaikka laskea tynnyrissä Niagaran putoukset.

Murroksen reunaehdot: VR- ja AR-lasien tulee kehittyä nykyisestä tarkemmiksi ja kevyemmiksi. Jaetun virtuaalitodellisuuden ja sen fyysiseen kokemiseen liittyvien välien tulee kehittyä. Viihteen ja muun elämystuotannon tulee jatkaa suuntautumista pelilliseen ja osallistavaan suuntaan. Elämyksellisiä palveluita tarjoavan robotiikan tulee kehittyä. Tulevaisuuspankissa [VR-lasit](#), [AR-lasit](#), [3D-ympäristön mallinnus](#), [palvelu-robotiikka](#), [digitaalisten elämysten alustat](#).

Agenda 2030 -vaikutukset: Etenkin kehittyneissä maissa elämysten teknistyminen ja muuttuminen osallistaviksi kokemuksiksi laskee pääsääntöisesti viihteen kustannuksia. Elektroniikan kustannus on vähäinen tavalliseen fyysiseen viihteen infrastruktuuriin verrattuna. Osallistuvuus virtuaalitodellisuuden keinoin alentaa myös kohtaamisten kynnystä. Verkkopeleissä voi havaita rikkaiden ja köyhien, terveiden ja kuolemansairaiden, vauraiden länsimaisten ja kehitysmaiden kansalaisten kohtaavan toisensa yhteisissä virtuaalimaailmoissa ja tutustuvan toisiinsa samojen elämysten äärellä.

Virtuaalikohtaukset vähentävät tartuntatautien leviämistä ja liikenteeseen liittyviä onnettomuuksia. Oppimiseen osallistavilla elämyksillä on hyvin myönteinen vaikutus sekä harjaantumisen että oivaltamisen kautta. Osaaminen muuttuu taidoksi helpommin omien kokeilujen avulla verrattuna passiiviseen lukemiseen, kuunteluun tai katseluun. Oppiminen ja oivaltaminen itsessään on merkittävä elämys ja siksi suuri osa osallistuvasta elämystarjonnasta johtaa kiinnostavien asioiden oppimiseen. Vision mukaisesti tämä tapahtuu ajasta ja paikasta riippumatta.

Viihdeteollisuuden suunnatessa vision mukaiseen toimintaan, tarjoutuu virtuaalimaailmojen rakentajille, robottien kunnossapitäjille, virtuaaliroolien näyttelijöille ja valvojille paljon työtehtäviä, jotka hajautuvat eksoottisiin ja kiinnostavien tavoin kulttuurisesti. Tämä edistää innovaatioiden leviämistä ja tuottaa uutta lisäarvoa laajoille markkinoille. Naisten tasa-arvoa lisää virtuaalimaailmojen elämyksellisyyden tavoite ja riippumattomuus fyysisestä voimasta. Maiden välinen eriarvoisuus vähenee toiminnan globaalin luonteen vuoksi. Eriarvoisuutta vähentää myös merkittävä riippumattomuus fyysisestä infrastruktuurista ja pullonkaularesursseista. Koska lisäarvo perustuu laajaan monikulttuuriseen osallistuvuuteen, vähentää teknologia riippuvuutta aineettomista oikeuksista ja muista privilegioista samalla, kun se edistää globaalia viestintää.

Keskeiset jännitteet: Elämän ja elämysten siirtyminen virtuaalimaailmoihin saattaa vieraannuttaa ihmiset fyysisestä todellisuudesta ja lähiympäristön ihmisistä. Virtuaalitodellisuus voi myös vähentää fyysistä liikkumista ja toimia riippuvuutta aiheuttavien huumeiden tavoin. Fyysisen maailman merkitysten katoaminen voi vähentää osallistumista päätöksentekoon. Virtuaalimaailmat muodostavat helposti omia suljettuja kupliansa, joissa kulttien synty, rikollisen ajattelun levittäminen ja uhkaava toiminta voivat levitä helposti. Virtuaalimaailmat voivat myös muuttua käyttäjilleen tärkeiksi elämämpiireiksi ystävyys-suhteiden ja tietolähteiden vuoksi. Alustojen tarjoajat saattavat helposti riistää ihmisiltä nämä mahdollisuudet nykyisten oikeusjärjestelmien kykenemättä puuttumaan asiaan. Ihmisillä ei ole virtuaalimaailmoissa tai sosiaalisessa mediassa fyysisestä maailmasta tuttuja, lakien takaamia kansalaisoikeuksia.

2.17. Turvallisuus – kohti yksilöllistä ja joukkoistettua turvallisuutta

Nykytila: Turvallisuus merkitsee yleisesti säännönmukaista ja vaaratonta toimintaympäristöä. Se nojaa valtiollisiin säädöksiin, keskitettyyn valvontaan ja muuhun viranomaistoimintaan. Luotamme keholliseen koskemattomuuteen, omaisuuden suojaan, ravinnon, kemikaalien, sähkölaitteiden ja liikenteen turvallisuuteen, yksityisyyteen ja saamiimme tietoihin sitä enemmän, mitä tehokkaammin ja virheettömämmin viranomaiset ja oikeusjärjestelmä toimivat. Tuotannon ja logistiikan hajautus, etävaikuttaminen ja yhteiskuntien monimutkaistuminen vaikeuttavat kuitenkin valtiollisesti ohjattua valvontaa. Esimerkiksi tietoturvasta huolehtiminen on suurelta osin jo annettu kansalaisten omalle vastuulle ja vertaisarvioihin luotetaan yhä useammissa asioissa.

Teknologiamurroksen visio perustuu arkisen valvonnan laajaan hajauttamiseen ja joukkoistamiseen kansalaistasolle. Tulevaisuuden arkisten älypuhelinien sensorit, kuten materiaalitutkat, keinonenät ja 3D-kamerat tunnistavat tuotteet ja tilanteet sekä arvioivat niiden turvallisuuden. Ymmärrys turvallisuudesta syntyy turvallisuusnormien sijaan yhä useammin omakohtaiseen ja joukkoistettuun kokemustietoon perustuen. Joukkoistettut vertaispalvelut toimivat yhteistyössä viranomaisten kanssa ilmoittaen näille turvallisuuspoikkeamista. Merkittävä osa henkilökohtaisessa käytössä olevista turvapalveluista on globaaleja, koska riskitkin ovat kasvavassa määrin globaaleja.

Turvaohjelmia voi ajatella digitaalisina suojelusenkeleinä. Ne tarkkailevat omia robottejamme hakkereiden suorittamien kaappausten varalta. Ne varoittavat vaarallisista tilanteista liikenteessä, uhkaavista ihmisistä, vaarallisista kemikaaleista, biologisista riskeistä tai tuotevääreännöksistä. Terveydelliset uhat, tautikohtaukset ja väkivalta saattavat tuottaa varoituksen ja avunpyynnön lähistön ihmisille tai pelastusviranomaisille. Autonomiset autot ja muut ympäristössä liikkuvat laitteet voivat valvoa toisiaan ja osallistua vaarojen tunnistukseen. Vaarat pyritään tunnistamaan myös virtuaalitodellisuudessa siten, että virusten ja tietomurtojen lisäksi tunnistetaan uhkaavat tai harhaanjohtavat ja koneiden tuottamat viestit sekä varastetut tai tekaistut identiteetit. Väärinkäytökset voidaan nauhoittaa oikeusturvan toteutumiseksi.

Murroksen reunaehdot: Visio toteutuu vähitellen. Joukkoistettu palveluiden arvoskelu on jo merkittävä askel vision suuntaan. Konenäkö ja ympäristön tilanteiden tunnistus kehittyvät autonomisen liikenteen myötä, keinonenät ja materiaalitutka osana biotekniikkaa, lääketiedettä ja prosessiteollisuutta. Joukkoistus ja viranomaisyhteistyö edellyttävät tuotekehitystä, asenteiden ja säädösten muutosta. Monissa tilanteissa yksityisyyden suojaan liittyvä lainsäädäntö saattaa vaikeuttaa yksilöön kohdistuvien riskien tunnistamista ja turvallisuutta. Tulevaisuuspankissa [materiaalitutka](#), [konenäkö](#), [biosensorit](#), [ympäristön tilan tunnistus](#), [robottiliikenne](#), [lohkoketjut](#), [GDPR](#).

Agenda 2030 -vaikutukset: Turvallisuuden hajauttaminen ja joukkoistaminen laskee olennaisesti valvonnan kustannuksia ja lisää kaiken sen toiminnan turvallisuutta, joka nykyisellään on valvonnan ulkopuolella. Vision mukainen toiminta kasvattaa myös joustavuutta kriisitilanteissa ja kasvattaa mahdollisuuksien tasa-arvoa. Palvelutuotannon luotettavuus on saavutettavissa ilman kankeaa viranomaishyväksyntää. Kuluttajan

ja pk-yrittäjän omavalvonta sekä riskitiedon joukkoistus helpottavat erityisesti elintarvikehuollon hajautusta, verkkokauppaa, tavaratuotannon hajautusta ja henkilöpalveluita. Terveydellisten ongelmien välttäminen, sairauksien havaitseminen ja avun löytäminen helpottavat. Fyysisen voiman merkitys vähenee, kun väkivallan ja alistamisen paljastaminen helpottuu. Tämä lisää naisten tasa-arvoa.

Riskitiedon laaja saatavuus parantaa luottamusta hyviin toimijoihin, tuotteisiin ja toimintatapoihin samalla, kun se karsii huonoja vaihtoehtoja markkinoilta. Hajautettu luottamus helpottaa uusien tuotteiden ja toimijoiden markkinoille pääsyä lisäten myös paikallisten toimijoiden mahdollisuuksia ohi yleisesti tunnettujen ketjujen. Tämä edesauttaa toimijoita erityisesti kehittyvissä maissa. Laaja ja osallistava toiminta riskitiedon ja jaetun luottamustiedon synnyttämiseen lisää vaikutusmahdollisuuksia, vähentää tuottavuuseroja ja parantaa kaikkien turvallisen liikkumisen mahdollisuuksia. Se myös paljastaa haitallista toimintaa ja vähentää ympäristölle koituvia haittoja, väkivaltaa, hyväksikäyttöä, rikollisuutta sekä vapauden rajoituksia. Laaja ja luotettava riskitiedon keruu ja joukkoistettu reagointi siihen helpottaa kaikenlaisten alueellisten ja kansainvälisten yhteistyörakenteiden syntyä ja vähentää korruptiota.

Keskeiset jännitteet: Laajat ja monipuoliset mittausvälineet kansalaisten käsissä helpottavat tiedon keruuta verkkoihin. Tiedot on yhdistettävä, jotta tekoäly voi kehittää niistä riskejä normaalista toiminnasta erottavia hermoverkkoja. Oppiminen ilman monipuolisia havaintoja on hahmontunnistuksen keinoin mahdotonta. Koottuna samoja tietoja voidaan kuitenkin käyttää moneen sellaiseen tarkoitukseen, jotka eivät aina vastaa kerääjiensä kuvitelmaa. Vision vaarana on siis tietojen päätyminen väärin käytötarkoituksiin. Tämän riskin pelossa tai halussa vahvistaa perinteisten kontrolloitujen rakenteiden roolia, valtiolliset toimijat voivat säädellä riskitiedon joukkoistamisen käytännössä niin rajatuksi, ettei siitä ole merkittävää hyötyä käyttäjilleen.

2.18. Yhteistyökyky – kohti talkoita ja kansainvälisiä luottamusalustoja

Nykytila: Yhteistyökyky viivästetyssä vaihdannassa perustuu nykyisin pääsääntöisesti kulttuurisiin normeihin, kansallisiin instituutioihin, oikeusjärjestelmään ja luottamukseen sopimusten pitämisestä. Toistuvissa kohtaamisissa luotamme siihen, että ymmärrämme yhteistyökumppanin oman edun tai kumppanin luonteen. Olemme myös tottuneet luottamaan suurten organisaatioiden ja ketjujen vahvasti markkinoituihin brändeihin. Sosiaalinen media ja kansainvälisen vaihdannan lisääntyminen ovat kasvattaneet mainetalouden merkitystä, luottamuksen joukkoistamista ja alustayhteistyötä.

Teknologiamurroksen visio perustuu yhteistyön kasvavaan kansainvälistymiseen ja transaktioiden jatkuvaan monimutkaistumiseen tavalla, johon sopimusrakenteet ja hierarkkiset luottamusjärjestelmät ovat liian jäykkiä. Viranomaisista riippumattomat alustat välittävät vertaiskokemuksia kustakin yhteistyökumppanista, tuotteesta tai palvelusta. Luottamus näihin, pääosin kansainvälisiin alustoihin, perustuu läpinäkyviin mekanismeihin ja uskoon palautteen aitoudesta. Mikäli alustat osallistuvat transaktioihin, luotetaan myös niiden kykyyn suojata yksityisyyttä, sanktioida ja korvata huono toiminta. Alustojen yhteydessä voidaan puhua mainetaloudesta, jossa vertaisarviot tai

asiakaspalautteet kerryttävät toimijoiden, tuotteiden tai palveluiden hyvää ja huonoa mainetta. Voidaan puhua sosiaalisesta valuutasta, joka kertyy karman tavoin.

Yhteistyökykyä voidaan kasvattaa alustojen lisäksi myös esimerkiksi yksilöllisten varmenteiden avulla. Visiossa transaktiot, tuotteet ja palvelusuoritteet voidaan tunnistaa yksilöllisesti ja niiden ominaisuudet yksilöidä digitaalisiin kaksosiin. Tämä toteutuu esimerkiksi lohkoketjujen avulla. Luotettavan tunnistamisen avulla sanktiointi helpottuu ja epäluulo toimijoiden väitteisiin vaikkapa tuotteiden alkuperästä vähenee.

Digitalisaatio vähentää transaktiokustannuksia. Läpinäkyvyyden kasvu helpottaa yhteistyötä ja lisää maineen merkitystä. Nämä edesauttavat yhteistyötä jakamistalouden keinoin ja osallistumista mm. aineettomaan talkootyöhön, josta Wikipedia ja Linux ovat tuttuja esimerkkejä. Yhteiseen etuun perustuva, rahatalouden ulkopuolinen yhteistyö tulee vision mukaan laajenemaan transaktioiden jatkuvasti automatisoituessa.

Murroksen reunaehdot: Visio toteutuu vähitellen. Laaja toteutuminen edellyttää digitaalisten yhteyksien luotettavaa autentikointia ja korkeatasoista tietoturvaa sekä yksikkökohtaisten transaktiokustannusten jatkuvaa laskua. Vision edellyttämä tuotteiden yksilöllinen tunnistus ja palvelutapahtumien luotettava kirjaaminen edellyttävät siihen tarkoitettujen menetelmien kehitystä ja yleistymistä. Tulevaisuuspankissa [vertaisluottamus](#), [talkootyön alustat](#), [tavaroiden ja palveluiden tunnistus](#).

Agenda 2030 -vaikutukset: Visio alentaa kynnystä osallistua lisäarvoa ja taloudellista hyötyä tuottavaan toimintaan. Joustavuus kriisitilanteissa kasvaa ja monimutkainen byrokratia kansainvälisen kaupan luottamusrakenteissa vähenee. Jakamistalous kasvattaa sekä elintarvikkeiden että muun tuotannon määrää suhteessa sidottuun pääomaan. Talkoilla synnytetty, vapaasti jaettava aineeton omaisuus helpottaa osaamisen kehitystä. Vertaisluottamus auttaa parhaan osaamisen löytymisessä. Mahdollisuuksien tasa-arvon lisääntyminen sekä vertaispalaute lisäävät oppimisen motivaatiota. Lisääntynyt vertaistieto vähentää väkivallan riskiä, korruptiota ja muuta rikollisuutta sekä lisää oikeuden toteutumista kasvattamalla toimintojen läpinäkyvyyttä. Naisten vaikutusmahdollisuudet lisääntyvät.

Visio auttaa erityisesti kehittyvien maiden yrittäjiä, verkostoja ja asiakkaita kasvattamaan luottamuspääomaa. Vision mukaisista luottamusrakenteista on eniten hyötyä maissa, joissa perinteiset luottamusrakenteet ovat heikoimpia ja toimijoille, jotka pyrkivät perinteisten toimijoiden valtaamille markkinoille. Hyödyt ovat ilmeisiä myös paikallisille toimijoille, jotka eivät ole ketjuuntuneet suurten brändien osiksi. Kansainvälisten luottamusverkostojen ulottuminen kehittyviin maihin lisää selkeästi molempien halua ja kykyä yhteistyöhön. Visio siis vähentää eriarvoisuutta sekä maiden sisällä että niiden välillä ja tukee kestävän kehityksen toimeenpanoa.

Keskeiset jännitteet: Vertaistiedon kerääminen on lakien rajoittamaa. Kansalliset viranomaiset haluavat säilyttää roolinsa, suorittaa tarkastuksensa ja vaatia julkisyyhteisöjen alihankkijoilta perinteisten luottamusrakenteiden mukaista hyväksyntää. Monet vision hyödyt saattavat jäädä saavuttamatta päällekkäisissä rakenteissa. Vertaistietoa keräävät alustat voivat väärinkäyttää keräämiään tietoja, jos niiden toiminta ei ole valvottua tai läpinäkyvää.

2.19. Tarkoituksellisuus – kohti tekojen ja yhteisötyön suoraa palkitsevuutta

Nykytila: Elämän merkityksellisyys on mysteeri, mutta nykymaailmassa se koetaan hyvin usein sisäisen palkitsevuuden tai velvollisuuden kautta. Palkitsevalta saattaa tuntua oma sekä läheisen asema tai valta, vauraus, terveys ja maine. Velvollisuudet ovat voimakkaimpia omien ryhmäidentiteettien viitekehyksessä, joihin arvot, normit ja rituaalit kuuluvat. Kyse on usein työ- tai harrasteyhteisöstä, muista vertaisryhmistä ja läheisistä ihmisistä. Teollistuneessa tuottaja/kuluttaja -jakoon tottuneessa yhteiskunnassa tekemisen kohteilla, esimerkiksi asiakkailla, on usein ainoastaan välineellinen merkitys, kuten urheilussa kanssakilpailijoilla, jotka vain tulee voittaa. Verkostotalouden ja jakamistalouden laajentumisen myötä rajat ovat muuttumassa. Yhä useammin asiakkaatkaan eivät tunnu laumalta, vaan kumppaneilta ja olemisen merkitykset ovat palautumassa kilvoittelusta nykyistä yhteisöllisemmiksi.

Teknologiamurroksen visiossa digitalisaatio ja robotit ovat muuttaneet työtä kokonaisvaltaisemmaksi ja merkityskeskisemmäksi. Jatkuva virtuaalinen yhteys läheisiin synnyttää uudentyyppistä ryhmäytymistä. Arvot ovat muuttuneet kollektiivisemmiksi. Yhteiset tekemiset ovat muuttuneet palkitsevaksi jonakin olemisen tai saavuttamisen sijaan. Ryhmäidentiteetti koetaan tämän yhteistyön palkitsevuuden kautta. Lisäarvon pelillistetty tuottaminen ja luottamus pisteiden keruu verkostotalouden yhteistyöosapuolien piirissä alkaa olla palkitsevampaa kuin kilpailu esimiesten suosioista tai vallasta. Osuus suuressa tarinassa on edelleen merkityksellinen, mutta suuret tarinat muuttuvat uskonnollisesta pelastuksesta tai urheilullisista saavutuksista suorittaviksi teoiksi maailman suurten vitsausten voittamiseksi tai niistä selviämiseksi. Merkityksellistä ei ole asema organisaatiossa vaan muiden näkemät teot. Kasvava läpinäkyvyys liittäkin sekä koetun että näytetyn identiteetin yhä kiinteämmin todellisiin tekoihin.

Merkityksellisyyden kokemukseen on liittynyt peili ja ajatus kehosta temppelinä. Uusi peili on sosiaalinen media tai muu yhteisöllinen palautejärjestelmä peukutuksineen. Hedonistiset merkitykset lakkaavat digitalisoituessaan olemasta kilpailua materiaasta ja materiaan tarjoamista eduista. Digitalisaatio johtaa hedonisminkin kohti yhteisöllisiä arvoja. Robotit tuottavat helposti kaiken kanssaihminen arvostusta lukuun ottamatta, ja sitä on vaikea saavuttaa olematta muille avuksi tai iloksi. Yksin omaan käyttöön tuotettu virtuaalilinna ei tuota suurta arvostusta eikä tuota tyydytystä.

Murroksen reunaehdot: Vision toteutuminen edellyttää tuotannon hajautumista. Yksilöllisen tavara- ja palvelutuotannon teknologian tulee kehittyä ja toimintatavan yleistyä. Yhteisöllisen jakamistalouden ja talkoohenkisen tekemisen tulee kasvaa ja alustatalouden sekä yhteiskunnan pelillisyyden lisääntyä yhteistyön ohjauskeinona. Tulevaisuuspankissa [tekoäly esimiehenä](#), [yhteistyön pelillistäminen](#), [yhteisölliset alustat](#).

Agenda 2030 -vaikutukset: Työn merkityksen suuntautuminen asiakas- ja kumppanilisäarvon suuntaan yhteistyöksi, nykyisin tavallisen vastakkainasettelun asemasta, kasvattaa talouden resilienssiä ja mahdollisuuksien tasa-arvoa. Merkitysten sitoutumisen yhteisiin saavutuksiin vallan tai aseman sijaan vähentää syrjäytymisriskiä ja kasvattaa inklusiivisuutta. Yhteisölliset motiivit parantavat oppimateriaalien ja vertais-

tuen saatavuutta sekä oppimisen kiinnostavuutta. Yhteiskunnan pelillistäminen yhdessä yhteisöllisten motiivien kanssa vähentää ympäristöongelmia ja helpottaa mm. puhtaan veden tarkoituksenmukaista käyttöä.

Yhteisölliset ja yhteistyöhakuiset, pelillistetyt merkitykset, edistävät kestäväää talouskasvua. Kasvu ilmenee sekä osaamisvajaiden kompensoinnin että uusien asiakaslisäarvojen ja innovaatioiden kautta. Osallisuus suuriin pelastustarinoihin kasvattaa halua ilmastomuutoksen estämiseen ja suuntautumiseen kohti uusiutuvia resursseja. Tämä edistää paikallisia toimijoita ja hajautettua energiatuotantoa, globaalia viestintää ja talookohtaisesti tuotettuja vapaita, aineettomia tuotannontekijöitä. Nämä vähentävät eriarvoisuutta sekä alueiden välillä että alueiden sisällä ja lisäävät osallistuvuutta.

Yhteisöllisten, pelillisesti yhteistyötä lisäävien merkitysten kasvu vähentää korruption ja rikollisuuden sekä kaikenlaisen väkivallan tilaa yhteisöissä.

Keskeiset jännitteet: Yhteisöt voivat kehittyä kulttuurisesti homogeenisiksi ja sulkea erilaisuuden ulkopuolelleen. Emil Durkheimin kuvaamana jännite syntyy orgaanisen ja mekaanisen solidaarisuuden väliin. Syntyvätkö arvot samankaltaisuudesta vai sallivatko ne erilaisuuden ja nähdäänkö yhteistyön arvo siinä, että jokainen saa siitä halua-mansa vai siinä, että kaikki saavat jotakin päättäjien tärkeänä pitämää. Visio on tietoi-sesti kirjoitettu tarkoituksellisuuden syntyminenä kyvyssä tuottaa asiakkaille, kump-paneille ja kanssaihmisille näiden haluamaa lisäarvoa, koska teknologiakehitys ohjaa enemmän tähän suuntaan kuin tribalismin paluuseen. Identiteettien ja tarkoitukselli-suuden suuntautuminen vision tavoin vaikeuttaa organisaatioiden johtamista. Johta-miskirjallisuudessa tästä puhutaan milleniaaleihin liittyvänä haasteena.

2.20. Valtarakenteet – kohti vaikutusten mukaan osallistavaa päätöksentekoa

Nykytila: Organisatorinen päätöksenteko on useimmiten hierarkkista. Organisaatio kerää päätöksentekoon tarvittavaa informaatiota toiminta-alueeltaan. Päätökset tehdään organisaation päättäjien ja päätöshierarkian määräämin tavoin. Julkisessa päätöksenteossa valta on jaettu kunnittain, valtioittain ja alueittain. Vaaleissa enemmistön kannatuksen saaneet poliitikot ja virkakunta tekevät sekä käytännön päätökset että monet laajemmat sopimukset esimerkiksi kansainvälisellä tasolla. Monissa asioissa ne, joita kukin asia eniten koskee, eivät juurikaan kykene vaikuttamaan päätöksentekoon. Julkishallinnossa kasvaa nyt suuntaus sidosryhmien osallistamiseen. Yrityksissä asiakkaita osallistetaan tuotekehitykseen ja osuuskunnissa muuhunkin päätöksentekoon.

Teknologiamurroksen visio perustuu näkemykseen, jossa digitalisaatio synnyttää yhä suurempaa moninaisuutta, etävaikutuksia ja vähentää yhteistyön paikkasidonnaisuutta. Subsidiariteettiperiaate, jossa päätöksiin osallistuvat ne, joita päätökset koskevat, ei monimutkaistuvassa maailmassa toteudu enää maantieteellisesti jaetun edustuksellisen hallinnon välityksellä.

Vision mukaisesti päätöksentekoon osallistuvat aiheenmukaisesti aiempaa suuremmin ne, joita päätökset koskevat. Alueellista demokratiaa korvaa esimerkiksi aihealueellinen demokratia. Yrityksissä asiakas osallistuu yksilöllisten tuotteiden suunnitteluun tai laajemmassa tuotekehityksessä kohderyhmän edustajat. Toimialakohtaisesti syntyy enenevästi osuuskuntatyyppejä rakenteita, joissa sidosryhmät osallistuvat erikoisalakohdaisesti päätöksiin. Visioidussa hallinnossa viranomaistoiminnot kilpailevat keskenään ja kansalaiset valitsevat niistä mieleisensä fyysisestä sijainnistaan riippumatta.

Sidosryhmät aktivoidaan päätöksentekoon joukkoistuksen avulla. Vaihtoehdot saadaan havainnollisiksi pelillisillä elementeillä ja toiminnallista dynamiikkaa simuloiden. Alustatalouden keinot tehostavat toimialakohtaisia osallistavan hallinnon tehtäviä ja laajentavat demokratiaa yksilöille tärkeisiin asioihin. Aiheenmukaisille, organisoitumattomille sidosryhmille joukkoistetaan valmisteluvastuuta päätöksistä.

Murroksen reunaehdot: Osa yhteiskunnan toimista on perinteisesti hoidettu vision mukaisin keinoin. Näistä mainittakoon hautatoimi ja vakuutustoiminta. Teknistä esitettyä vision toteuttamiselle ei ole. Yhteiskunnan monimutkaistuminen on jo johtanut siihen, että esimerkiksi kunnanvaltuustojen on vaikea tai mahdoton ymmärtää kunta-toimialan erilaisten päätösten vaikutuksia. Päätösvaltaa on siksi jouduttu ohjaamaan valtiollisille toimijoille ja erityisalojen viranomaisille. Sidosryhmien osallistaminen on yksi ratkaisukeinoista. Pelillisyyden laajeneminen, joukkoistuksen synnyttämä joukko-voima, kansainvälisyyden lisääntyminen, alustaosuuskuntien synty ja yhteiskehittämisen teknologiat, tuotannon hajauttaminen sekä tekoäly edistävät kaikki vision mukaisen kehityksen mahdollisuutta. Tulevaisuuspankissa [yhteiskunnan pelillistys](#).

Agenda 2030 -vaikutukset: Osallistava aihealuekohtainen päätösten valmistelu vähentää sidonnaisuutta keskitetysti kontrolloiduista resursseista ja lisää mahdollisuuksien tasa-arvoa. Laaja osallistuminen elintarviketuotannon ja terveydenhuollon palveluiden kehittämiseen kasvattaa tietoisuutta valinnoista ja mahdollisuuksista. Osallistaminen vähentää myös syrjäytymisen riskiä, kasvattaa motivaatiota oppimiseen ja naiseen kohdistuvana tai sukupuolineutraalina lisää naisten vaikutusmahdollisuuksia.

Sidosryhmien osallistaminen vähentää kaikenlaisia elinympäristöön kohdistuvia haittoja. Saattamalla erilaisia intressiryhmiä päätöksenteon piiriin, saadaan tuote- ja palvelukehitykseen innovatiivisia näkemyksiä. Samalla voidaan ottaa huomioon paikallisia tai erityisryhmien tarpeita. Osaamisen leviämisen kautta tämä avaa mahdollisuuksia myös paikalliselle alihankinnalle ja palvelukehitykselle. Laaja kansainvälinen osallistaminen alustatalouden mekanismein parantaa erityisesti kehittyvien maiden tietoliikenneinfrastruktuuria ja logistiikkaa laskien samalla tarpeiden tyydyttämisen ja tuotannon käynnistämisen kustannuksia.

Vision mukainen kehitys edistää lakien ja käytäntöjen globaalia harmonisoitumista, erilaisten ulkoishaittojen tekemistä näkyväksi ja suojelutoimien käynnistämistä. Korruption ja muun rikollisuuden väheneminen on läpinäkyvyyden ja sidosryhmien vaikutusvallan kasvun seurausta. Laaja osallistaminen sekä kansallisesti että kansainvälisillä alustoilla helpottaa kansainvälistä ja kotimaista yhteistyötä.

Keskeiset jännitteet: Valtarakenteista puhuttaessa jännitteet ovat luonnollisia ja suuria. Monien päättäjien identiteetti, osaaminen tai vauraus perustuvat johonkin valtarakenteeseen. Useat julkisen vallan rakenteet ovat perustuslain tasolla. Toisaalta globaali alustatalous, Wikipedia sen yhtenä esimerkkinä, osoittaa uusissa asioissa, miten suuri voima osallistamisella voi olla. Toiminnan sisällöt muotoutuvat lähes täysin sidosryhmien ja käyttäjien päätöksin, alustan ainoastaan mahdollistaessa sen. Kehitys etenee väistämättä vision suuntaan, mutta alueellisesti ja aihealuekohtaisesti hierarkkiset valtarakenteet voivat jatkaa keskusjohtoista toimintaa, kuten globaali maailma päivittäin osoittaa. On myös ilmeistä, että yhteiset asiat voivat monimutkaisuudeltaan olla sellaisia, että niiden olemusta ja vaikutuksia on vaikea ymmärtää. Silti niistä voi helposti puhua vetoavasti. Osallistaminen saattaaakin johtaa myös suuriin virheisiin.

3. Agenda 2030 tavoitteiden kiteytykset ja tavoitekohtainen teknologiakehityksen analyysi

Tässä raportissa edellä kuvatut teknologiamurrosvisiot on arvioitu suhteessa YK:n kestävän kehityksen tavoitteisiin. Agenda 2030 on toinen nimi näille YK:n 2015 päättämille kestävän kehityksen globaaleille tavoitteille, jotka 193 valtiota tuolloin hyväksyi. Tavoitteiden toteutumista seurataan YK-tasolla 169 mittarin avulla, jonka lisäksi valtioilla ja alueilla on omia tavoitteitaan. Tavoitteet ovat kiteytetysti seuraavat ([United Nations Statistical Commission 2017](#)):

- 1) Poistaa köyhyys sen kaikissa muodoissa kaikkialta
- 2) Poistaa nälkä, saavuttaa ruokaturva, parantaa ravitsemusta ja edistää kestävää maataloutta
- 3) Taata terveellinen elämä ja hyvinvointi kaiken ikäisille
- 4) Taata kaikille avoin, tasa-arvoinen ja laadukas koulutus sekä elinikäiset oppimismahdollisuudet
- 5) Saavuttaa sukupuolten välinen tasa-arvo sekä vahvistaa naisten ja tyttöjen oikeuksia ja mahdollisuuksia
- 6) Varmistaa veden saanti ja kestävä käyttö sekä sanitaatio kaikille
- 7) Varmistaa edullinen, luotettava, kestävä ja uudenaikainen energia kaikille
- 8) Edistää kaikkia koskevaa kestävää talouskasvua, täyttää ja tuottavaa työllisyyttä sekä säällisiä työpaikkoja
- 9) Rakentaa kestävää infrastruktuuria sekä edistää kestävää teollisuutta ja innovaatioita
- 10) Vähentää eriarvoisuutta maiden sisällä ja niiden välillä
- 11) Taata turvalliset ja kestävät kaupungit sekä asuinyhdyskunnat
- 12) Varmistaa kulutus- ja tuotantotapojen kestävyys
- 13) Toimia kiireellisesti ilmastonmuutosta ja sen vaikutuksia vastaan
- 14) Säilyttää meret ja merten tarjoamat luonnonvarat sekä edistää niiden kestävää käyttöä
- 15) Suojella maaekosysteemejä, palauttaa niitä ennalleen ja edistää niiden kestävää käyttöä; edistää metsien kestävää käyttöä; taistella aavikoitumista vastaan; pysäyttää maaperän köyhtyminen ja luonnon monimuotoisuuden häviöminen
- 16) Edistää rauhanomaisia yhteiskuntia ja taata kaikille pääsy oikeuspalveluiden pariin; rakentaa tehokkaita ja vastuullisia instituutioita kaikilla tasoilla
- 17) Tukea vahvemmin kestävän kehityksen toimeenpanoa ja globaalia kumppanuutta

Tämän raportin tarkoituksiin eivät mainitut 169 mittaria sellaisenaan sovellu, koska tulevaisuutta ei voi suoraan mitata eikä keinojen vaikutuksia ennakoita oletuksia teke-
mättä. Tämän vuoksi kustakin tavoitteesta on muodostettu laadullinen ja ennakointiin
sopiva teknologiamittari, joka perustellusti edistää tavoitetta. Nämä on johdettu jo ase-
tetuista 169 mittarista. Kukin tähän valittu teknologiamittari sisältää kiteytetyn ole-
tuksen siitä, miten teknologia voi vaikuttaa kestävän kehityksen tavoitteen toteutumi-
seen sekä sarjan tätä vaikutusta täsmentäviä kysymyksiä. Teknologiamittareista on jä-
tetty pois sellainen tulonjakoon tai sosiaaliseen toimintaan liittyvä päätöksenteko seu-
rauksineen, johon teknologiavalinnoilla ei näytä olevan ilmeistä ja merkittävää vaiku-
tusta. Valinta on kirjoittajan näkemys ja pyrittäessä tätä tarkempaan tai teknologiavai-
kutuksia laajempaan analyysiin kannattaa nojautua alkuperäisiin YK:n kuvauksiin.

Teknologiamurrosvisioiden arvioissa on käytetty tässä kuvattuja mittareita vaikutus-
ten arvioinnin perusteena, kuten myös yhteenvedossa, arvioitaessa kunkin visioidun
teknologiamurroksen vaikutuksia kestäväan kehitykseen kokonaisuutena. Teknologi-
oiden vaikutus on arvioitu elinkaarinäkökulmasta ellei toisin ole sanottu.



Kaavio 1: joitakin keskeisiä kausaalisuhteita, joilla visioidut sosiotekniset systeemit
kytkettyvät Agenda2030 tavoitteisiin ja tämän raportin teknologiamittareihin

Analysoitaessa, miten teknologiamurrokset vaikuttavat kestäväan kehitykseen on en-
sin muodostettava käsitys nykyisestä toimintatavasta ja visioidusta uudesta mallista.
Muutoksen ymmärtämiseksi tulee kiinnittää huomio niihin sosioteknisiin rakenteisiin,
jotka erityisesti vaikuttavat kestäväan kehityksen tavoitteisiin. Tulee siis kysyä, minkä
tyyppiset asiat yleisesti vaikuttavat vaikkapa tuotantomääriin, hyvinvointiin, osaami-
seen, eriarvoisuuteen, ulkoishaittoihin ja yhteistyökykyyn. On myös tärkeä ymmärtää
vuorovaikutusten monimutkaisuus. Energiatehokkuuden kasvu esimerkiksi ei välttä-
mättä vähennä energian käyttöä eikä tuotannon lisääminen köyhyyttä. On vielä huo-
mattava, että yhden mittarin kannalta myönteinen muutos saattaa toisen mittarin nä-
kökulmasta olla haitallinen asia ja juuri sen paljastamiseksi laaja mittaristo on tehty.

Tuotantoon vaikuttavat yhtäältä tuotannon tekijät ja toisaalta saavutettavissa olevat mittakaavaedut, jotka kaikki realisoituvat tuotetuksi lisäarvoksi vaihdannan rakenteiden välityksellä. Yllä olevaan kaavioon on merkitty tuotannontekijöiksi esimerkinomaisesti osaajat, informaatio, oikeudet, raaka-aineet ja energia. Tässä tarkastelussa ne ovat huomion arvoisia ainoastaan, mikäli niiden saatavuutta rajoittaa jokin pullonkaula tai mittakaavaetu. Hengitysilma on esimerkki välttämättömästä, mutta yleensä sivuutetusta tuotannontekijästä, koska sen käyttöä mikään ei yleensä rajoita.

Ulkoishaitat syntyvät opportunistista, jota valtarakenne ja läpinäkyvyys kontrolloivat. Opportunismi nähdään tässä laajana käsitteenä, joka kattaa varsinaisten väärinkäytöksen lisäksi sellaiset laillisetkin toimet, jotka ovat omiaan aiheuttamaan ulkoishaittoja. Yleensä tällainen toiminta aiheuttaa paheksuntaa tullessaan näkyväksi ja laaja paheksunta johtaa normien muutoksiin. Opportunistiseksi ajatellaan tässä myös tiedostamaton, yhteisön enemmistön hyväksymä, mutta monille haitallinen toiminta.

Ulkoishaitoilla tarkoitetaan mitä tahansa sopijaosapuolten tai tekemisen ulkopuolisille aiheutuvaa haittaa. Tyypillisesti nämä aiheutuvat saasteina, meluna tai yhteislaitumen loppumisena, mutta myös elinympäristön muuttumisesta vaarallisemmaksi vaikkapa liikenneonnettomuuksina, alttiutena rikollisuudelle, syrjäytymiselle jne. Ydinvoimaloiden (hyötyreaktoreiden) ulkoishaittana voidaan siis esimerkiksi pitää ydinsodan riskin kasvua tai sosiaalisen median ulkoishaittana hybrdivaikuttamista. Haittoja voidaan vähentää hinnoittelemalla ne, kieltämällä ne tai verottamalla niitä. Tässä huomioidaan vain teknologialähtöiset ajurit. Läpinäkyvyyden lisääntymiseen teknologia mm. vaikuttaa. Se paljastaa ulkoishaittoja johtaen niiden sääntelyyn. Sama koskee opportunistia.

Hyvinvointia ei ole ilman tuotantoa, eikä tuotantoa ilman teknologiaa. Teknologia vaikuttaa myös hyvinvoinnin jakautumiseen ja ulkoishaittoihin. Eriarvoisuuteen vaikuttaa tuotannon suuntaaminen ja tuotannon tekijöiden epätasaisesta jakautumisesta kumpuava ero ostovoimassa. Kehittyvissä maissa esimerkiksi ruoan hinta on noussut ja eriarvoisuus lisääntynyt tehomatalouden vallatessa alaa ja keskittyessä vientituotteisiin. Tuloerot syntyvät geneettisten erojen sijaan pääosin rakenteellisista syistä. Potentiaalieroja aiheuttavien rakenteiden suotuisalla puolella tuotannossa tarvittavat resurssit tai mittakaavaedut ovat helpommin saatavilla. Öljylähteet ovat tyypillinen pullonkaularesurssi ja Googlen hakukone moderni esimerkki mittakaavaetujen hyödyistä. Vaihdannan rakenteet muuttavat nämä harvojen hallussa olevat arvokkaat resurssit runsain määrin potentiaalieron laitapuolen vähemmän niukkoihin, halpoihin resursseihin.

Sopeutumiskyky eli resilienssi on sidoksissa tuotannon joustavuuteen, pullonkauloihin ja ulkoishaittoihin. Jokainen näistä voi estää tehokkaan sopeutumisen muutokseen, jos haittoja tai pullonkauloja ei voi kiertää eikä joustavuutta muutokseen ole. Vaihtoehdot tyypillisesti lisäävät resilienssiä. Siksi esimerkiksi viestintäkanavien lisääntyminen, vaikka vikaantumismahdollisuuksia olisi enemmän, kasvattaa kuitenkin häiriöiden sietoa. Joku vaihtoehtoinen kanava yleensä aina toimii.

Valta tarkoittaa kykyä ohjata tuloeroja synnyttävää rakennetta. Michael Mannin (1986) teoksen, *The Sources of Social Power*, mukaan valta jakautuu sotilaalliseen, poliittiseen, ideologiseen ja taloudelliseen, joiden ilmentymiä maailmassa esiintyy run-

saasti. Vallan mekanismit ovat moninaisia ja sosiotekniset rakenteet ovat merkittävässä roolissa. Valta ei kuitenkaan synny sosioteknisistä rakenteista suoraan vaan niiden ympärille muodostuvasta yhteistyöstä. Tämän voi havaita esimerkiksi vallankumousten yhteydessä. Valta kontrolloi vaihdannan rakenteita, tuotannon pullonkauloja ja mittakaavaetuja sekä potentiaallieroja. Yhteistyökyky, läpinäkyvyys ja opportunisti vaikuttavat kaikki valtaan ja valta niihin.

Vuorovaikutukset ovat monimutkaisia. Seuraavat kestävä kehityksen tavoitteiden teknologiakehityksen näkökulmasta relevantit kiteytykset ja teknologiamittareiksi valitut kysymykset on kirjoitettu yllä olevista yleisistä lähtökohdista tarkemman harkinnan perusteella. Niitä laadittaessa on huomioitu kaikki YK:n kirjaamat 169 mittaria, jotka ovat pääosin tulosmittareita. Niissä ei joitakin poikkeuksia lukuun ottamatta ole puhuttu konkreettisista keinoista. Tulevia teknologisia murroksia arvioitaessa kyse on kuitenkin nimenomaisesti keinojen vaikutusten arvioinnista. Tulokset on ennakoitava ja siihen tarvitaan kausaalisia oletuksia, jotka tässä työssä teknologiamittareita laadittaessa on puettu laadullisten kysymysten muotoon. Arviot voivat saada joko positiivisen tai negatiivisen etumerkin riippuen siitä, onko vaikutus kestävyttä lisäävä tai vähentävä. Arvoa ei ole annettu, jos vaikutus on epäselvä tai hyödyt haittojen suuruuksia.

Tavoitteiden etsimiseksi kirjatuista UN SDG -linkeistä avautuvat YK:n omat luonnepinnat kuhunkin tavoitteeseen ja alkuperäiset tavoitteelliset Agenda 2030 -mittarit, joihin näitä teknologiaennakoinnin laadullisia mittareita voidaan verrata.

3.1. Tavoite ([UN SDG 1](#)); poistaa köyhyys sen kaikissa muodoissa kaikkialta:

Arvion keskeinen oletus on, että teknologiamurrokset vaikuttavat tulonjakoon ennen kaikkea sen kautta, miten tuotannontekijöiden saavutettavuus jakautuu. Tuloeroja tasaa se, mitä tasapainoisemmin määräysvalta eri tuotannontekijöihin jakautuu ja mitä vähäisempiä henkilökohtaiset tuottavuuserot sen kautta ovat.

Analyysissä käytetyt teknologiamittarit: Vähentääkö teknologiamurros riippuvuutta niukoista tai keskitetysti kontrolloiduista resursseista? Parantaako se lisäarvon tuoton suhdetta sidottuun pääomaan? Vähentääkö se lisäarvon tuoton muuttuvia kustannuksia? Kasvattaako teknologiamurros talouden resilienssiä kriisitilanteissa? Kasvattaako teknologiamurros taloudellista inklusiivisuutta ja mahdollisuuksien tasa-arvoa?

Olennaisimmat teknologiamurrokset: Kaikki esitettyjen visioiden suuntaiset muutokset vähentävät arvion mukaan köyhyyttä. Suurimmat vaikutukset arvioidaan valittujen mittareiden perusteella olevan joustavan ja yksilöllisen lähituotannon etenemisellä, halvalla aurinkoenergialla yhdistettynä hajautettuihin energiavarastoihin, omavaraisuuden, jakamistalouden ja mikroyrittäjyyden edellytysten paranemisella, itse mitatun sekä joukkoistetun AI-tiedon ja AI:n varmentaman itsenäisen oppimisen etenemisellä. Nämä kaikki edistävät selkeimmin heikosti kehittyneiden alueiden, puutteellisten koulutusmahdollisuuksien ja teollisten investointien katvealueille jääneiden ihmisten mahdollisuuksia elintasonsa parantamiseen.

3.2. Tavoite ([UN SDG 2](#)); poistaa nälkä, saavuttaa ruokaturva, parantaa ravitsemusta ja edistää kestävää maataloutta:

Uudet teknologiat voivat auttaa kasvattamaan ruokatuotannon määrää kokonaisuudessaan tai kasvattamaan sitä alueilla, joilla ruokaturva on uhattuna. Teknologiakehitys voi myös vähentää ruokatuotannon hävikkiä, sen resurssisidonnaisuutta ja maatalouden haittoja. Lisäksi se voi kasvattaa ruokaturvaa ja elintarvikkeiden ravitsevuutta.

Analyysissä käytetyt teknologiamittarit: Kasvattaako teknologiamurros elintarviketuotantoa? Vähentääkö se ruokatuotannon pääomavaltaisuutta tai riippuvuutta niukoista resursseista? Vähentääkö se ravitsevan elintarviketuotannon, -varastoinnin ja -kaupan kustannuksia? Vähentääkö teknologiamurros elintarviketuotannon ympäristöhaittoja? Kasvattaako se ruokatuotannon resilienssiä kriisitilanteissa? Kasvattaako teknologiamurros tietoisuutta yksilöllisestä ravintotarpeesta ja mahdollisuutta tarpeen huomiointiin?

Olellaisimmat teknologiamurrokset: Useat murrosvisiot auttavat tavoitteessa nählän poistamiseksi, ravitsemuksen parantamiseksi ja maatalouden haittojen vähentämiseksi. Suurin merkitys on murroksella kohti elintarvikeomavaraisia kaupunkoja ja yksilöllistä ruokatuotantoa sekä työn robotisoinnilla ja palvelevalla tekoälyllä. Merkityksellisiä ovat myös suuntaus kohti ennakoivaa terveyttä ja pelillistä itsediagnostiikkaa sekä itse mitattua ja joukkoistettua AI-tietoa. Erityisen lupaavaa on suljetussa kierrossa uusiutuvalle energialle toteutetun sisäviljelyn ja bioteknisen lihan kehitys varteenotettavaksi ja laajaksi ravinnon lähteeksi.

3.3. Tavoite ([UN SDG 3](#)); taata terveellinen elämä ja hyvinvointi kaiken ikäisille:

Teknologian avulla voidaan edistää terveystiedon saatavuutta ja terveellisiä elämäntapoja. Teknologiakehitys voi myös helpottaa terveysongelmien havaitsemista sekä edistää palveluiden saatavuutta aiempaa vähemmän resurssein tai resurssirajoittein. Teknologiakehitys voi myös muuttaa työtehtävien ja opiskelun luonnetta henkistä hyvinvointia tukevaksi sekä vähentää elinympäristön terveydelle aiheuttamia haittoja.

Analyysissä käytetyt teknologiamittarit: Helpottaako teknologiamurros yleisen terveystiedon saatavuutta tai edistääkö se terveystiedon vaikuttavuutta? Auttaako se laajentamaan diagnostista kyvykkyyttä tai lääkkeiden saatavuutta väestöryhmille, jotka nyt jäävät terveydenhuollon palveluiden ulkopuolelle? Tehostaako teknologiamurros vakavien sairauksien hoitomenetelmiä laajasti saavutettavalla tavalla? Vähentääkö se syrjäytymisestä tai muista syistä aiheutuvia henkisiä ongelmia? Vähentääkö se onnettomuusriskejä tai tartuntatautien riskejä? Vähentääkö teknologiamurros ihmiselle vaarallisia ympäristöhaittoja? Edistääkö se terveitä elintapoja mm. ravinnon ja liikkumisen osalta?

Olellaisimmat teknologiamurrokset: Kaikki murrosvisiot edistävät ainakin vähäisessä määrin terveellistä elämää ja hyvinvointia lukuun ottamatta työn robotisointia ja

palvelevaa tekoälyä, joiden syrjäyttävä vaikutus etenkin siirtymävaiheessa voi olla suuri. Merkittävin positiivinen vaikutus syntyy arvion mukaan ennakoivasta itsediagnostiikasta ja terveyden pelillistämisestä. Olennaisia vaikutuksia on myös autonomisella sähköistetyllä liikenteellä, elintarvikeomavaraisten kaupunkien yksilöllisellä tuotantoketjulla, omavaraisuudella ja jakamistaloudella, vajavaisten ihmisten teknisillä avusteilla, suoran havainnoinnin ja itseopiskelun lisääntymisellä, joukkoistetulla turvallisuudella sekä tekojen suoran palkitsevuuden lisääntymisellä.

3.4. Tavoite ([UN SDG 4](#)); taata kaikille avoin, tasa-arvoinen ja laadukas koulutus sekä elinikäiset oppimismahdollisuudet:

Uusien teknologioiden avulla oppimateriaaleja voidaan tarjota tehokkaasti saataville ja sopivat neuvot löytyvät entistä helpommin tilanteen ja tarpeen vaatiessa. Teknologiaa voidaan myös helposti monistettavalla ja saavutettavalla tavalla käyttää oppimistapah-tumassa harjaannuttamaan taitoja simulointien ja robotiikan avulla. Teknologia auttaa myös kielimuurien ylittämässä, motivaation kehittämisessä ja osaamisen näytössä.

Analyysissä käytetyt teknologiamittarit: Helpottaako teknologiamurros oppimateri-aalien laajaa saatavuutta ja saavutettavuutta? Helpottaako teknologiamurros itseopis-kelua, omatoimista harjaantumista ja osaamisen näyttöä? Vähentääkö se opetuksen re-surssi- ja paikkasidonnaisuutta? Laajentaako se vertaistuen tai opettajien mahdolli-suutta tukea oppimista? Tekeekö teknologia oppimisesta houkuttelevampaa tai hel-pompaa?

Olennaisimmat teknologiamurrokset: Tärkeimmät tavoitetta edistävät murrosvisiot ovat etäläsnäolon ja virtuaalikohtaamisten, työn robotisoinnin ja palvelevan tekoälyn, suoran mittauksen ja joukkoistetun AI-tiedon sekä AI:n varmentaman itsenäisen oppi-misen edistäminen. Muista olennaisia murroksia ovat mm. yksilöllisen lähituotannon, pelillisen itsediagnostiikan ja virtuaalisten osallistavien elämysten kehitys.

3.5. Tavoite ([UN SDG 5](#)); saavuttaa sukupuolten välinen tasa-arvo sekä vahvistaa naisten ja tyttöjen oikeuksia ja mahdollisuuksia:

Uusi teknologia saattaa olla aiempaa helpommin naisten käytettävissä kulttuurisista, asemallisista tai fyysisiin ominaisuuksiin liittyvistä syistä. Teknologia saattaa vähentää naisiin kohdistuvaa väkivaltaa ja alistamista. Se voi myös vähentää sukupuoliroolien merkitystä tehtävien ja omistuksen jakautumisessa taloudellisesti eriarvoisella tavalla.

Analyysissä käytetyt teknologiamittarit: Vähentääkö teknologiamurros fyysisen voiman merkitystä? Sivuuttaako se sosioekonomisesti miehille keskittyneen teknolo-gian? Vähentääkö teknologiamurros väkivallan ja alistamisen riskiä? Lisääkö teknolo-giamurros tyttöjen ja naisten mahdollisuutta tiedonhankintaan? Lisääkö se tyttöjen ja naisten yhteiskunnallisia vaikutusmahdollisuuksia valtarakenteista huolimatta?

Olenneisimmat teknologiamurrokset: Suurin sukupuolten tasa-arvoa lisäävä vaikutus arvioidaan edelleen olevan fyysistä työtä korvaavilla koneilla. Vaikutukseltaan merkittävänä nähdään myös autonomisen liikenteen kehittyminen, etäläsnäolon, toimintakyvyn avusteiden, itsenäisen oppimisen, joukkoistetun turvallisuuden ja luottamusalustojen kehittyminen. Omavaraistalouden kehitys voi sen sijaan kasvattaa fyysisen voiman merkitystä ja lisätä eristyneisyydestä johtuvaa alistamisen riskiä.

3.6. Tavoite ([UN SDG 6](#)); Varmistaa veden saanti ja kestävä käyttö sekä sanitaatio kaikille:

Teknologia voi helpottaa puhtaan veden saantia erityisesti vesipulasta kärsivillä alueilla ja tehostaa veden kestävää käyttöä. Teknologia voi myös edistää sanitaatiomahdollisuuksia sekä parantaa hygieniää ja auttaa tunnistamaan aihealueen ongelmia.

Analyysissä käytetyt teknologiamittarit: Auttaako teknologiamurros tuottamaan puhdasta vettä puhtaan veden puutteesta kärsivillä alueilla? Auttaako se tunnistamaan tai poistamaan käyttöveden tai jätevesien epäpuhtauksia ja niistä johtuvia ongelmia? Auttaako se käyttämään ja jakelemaan vettä tehokkaammin tai tarpeenmukaisemmin? Parantaako teknologiamurros sanitaatiomahdollisuuksia ja hygieniää puutteista kärsivillä alueilla? Parantaako se vesiekosysteemien kestävyyttä?

Olenneisimmat teknologiamurrokset: Merkittävin veden saantia edistävä murrosvisio on elintarvikeomavaraisten kaupunkien kehitys, koska sisäviljely tarvitsee vain vähän vettä eikä sisäviljelyn suljettu kierto saastuta vesistöjä. Muina olennaisina kehityksinä nähdään itse mitattu ja joukkoistettu AI-tieto, joka mm. auttaa havaitsemaan saastuneen veden. Suuntaus kohti yksilöllistä ja joukkoistettua turvallisuutta näyttäytyy samasta syystä olennaisena visiona mittareiden avulla arvioituna. Myös valtarakenteiden murros kohti vaikutuksen mukaan osallistavaa päätöksentekoa ohjannee myönteisesti veden saantiin, sen kestävään käyttöön ja sanitaatioon kohdistuvia toimia.

3.7. Tavoite ([UN SDG 7](#)); varmistaa edullinen, luotettava, kestävä ja uudenaikainen energia kaikille:

Teknologiakehitys voi mahdollistaa edullisen energiatuotannon paikallisesti, helpottaa ja tehostaa energian jakelua, varastointia ja energian saannin luotettavuutta. Energiateknologia voi olla entistä haitattomampaa ja vähemmän pääomavaltaista. Erityisesti kehitys voi johtaa siihen, että hiilettömän primaarienergia muuttuu yleisesti fossiilisiin perustuvia energiatuotannon tapoja edullisemmiksi ja ajaa ne siten pois markkinoilta.

Analyysissä käytetyt teknologiamittarit: Vähentääkö teknologiamurros energiatuotannon ympäristöhaittoja? Vähentääkö teknologiamurros kestävästä energiatuotannon pääoma-, keskittämisen- ja osaamisvaatimuksia? Vähentääkö se sidonnaisuutta fossiilista energialähteistä? Parantaako se prosessien energiatehokkuutta tai korvaako se ne kestävämmillä prosesseilla? Helpottaako teknologiamurros edullista ja kestävää energian saantia infrastruktuuriltaan puutteellisilla alueilla?

Olenneisimmat teknologiamurrokset: Selkeästi tärkein murrosvisioista on suuntaus kohti halpaa aurinkoenergiaa ja hajautettuja energiavarastoja. Vaikutukset ovat erityäin myönteisiä kaikilla kriteereillä. Myös liikenteen sähköistymisen vaikutus on suuri sekä irrottauduttaessa fossiilisista energialähteistä että energiatehokkuuden vuoksi. Muina olennaisina kehityksinä nähdään uusiutuvat fossiilisista energialähteistä riippumattomat materiaalit, kaupungit autonomisina, kierrätystä suosivina asumiskoneina sekä omavaraisuuden, jakamistalouden ja mikroyrittäjyyden murrosvisio.

3.8. Tavoite ([UN SDG 8](#)); edistää kaikkia koskevaa kestäväää talouskasvua, täyttää ja tuottavaa työllisyyttä sekä säällisiä työpaikkoja:

Teknologia voi edistää talouskasvua tuottamalla enemmän tai parempaa, aiempaa vähemmän rajallisin resurssein ja ulkoishaitoin. Talouskasvu jakautuu laajasti, jos teknologian tuottavuushyöty ohjautuu kotitalouksille tai uudet menetelmät ovat riittävän työvoimavaltaisia. Näin tapahtuu erityisesti, mikäli innovaatiot auttavat hajauttamaan tuotannon tai suuruuden ekonomian synnyttämä keskittymä avautuu muutoin kilpailulle ja saavuttaa ainoastaan rajallisen markkinavoiman. Uudisteen hyöty voi siten hintakilpailun seurauksena jakautua pääosin tasaisesti arvonluonnin hajautettuihin osiin suoraan asiakkaille tai lähelle asiakasrajapintaa ja laajaa työntekijäkuntaa.

Analyysissä käytetyt teknologiamittarit: Auttaako teknologiamurros kasvattamaan laajasti ja hajautetusti työntekijöiden tuottavuutta tai innovaatioiden syntyä ja rahoitusta? Auttaako se kehitysmaita infrastruktuuripuutteistaan ja osaamispuutteistaan huolimatta saavuttamaan kehittyneiden maiden tuottavuustasoa? Tuottaako teknologiamurros merkittävää uutta asiakaslisäarvoa laajoille markkinoille? Säästääkö se muissa kuin työvoimakustannuksissa tai onko sen vaatima investointi hajautettu ja työvaltaisuutta lisäävä esimerkiksi kasvattamalla yksilöllistä lisäarvoa tai säästämällä muita pääomavaltaisia kustannuksia ja pääomavaltaisten palveluiden käyttöä? Vähentääkö teknologiamurros pullonkaularessurssien käyttöä ja ulkoishaittoja?

Olenneisimmat teknologiamurrokset: Murrosvisioista tärkeimpinä näyttäytyvät kehitys kohti yksilöllistä lähituotantoa, etäkauppaa ja digitalisoituja transaktioalustoja, etäläsnäoloa ja virtuaalisia kohtaustapaikoita sekä AI:n varmentamaa itsenäistä oppimista. Nämä kaikki edistävät työn hajautusta ja poistavat pullonkauloja sekä valtarakenteiden merkitystä. Pääosa muista murrosvisioista parantaa merkittäväällä tavalla etenkin kehittyvien talouksien kasvun edellytyksiä. Kaupunki autonomisena asumiskoneena saattaa toisaalta lisätä eriarvoisuutta samaten kuin työn robotisointi ja palvelutekoöly. Näillä kehityskuluilla on teknologiamittareiden mukaan arvioituna paljon myönteisiä vaikutuksia talouskasvuun, mutta myös ihmistyötä laajasti korvaava vaikutus, jota uudet kasvualojen työpaikat eivät välttämättä korvaa.

3.9. Tavoite ([UN SDG 9](#)); rakentaa resilienttiä infrastruktuuria sekä edistää kestäväää teollisuutta ja innovaatioita:

Teknologiakehitys voi vähentää rajallisten resurssien käyttöä infrastruktuurihankkeissa ja infrastruktuurin kunnossapidossa sekä teollisuudessa. Voidaan siirtyä uusiutuviin materiaaleihin, vähemmän materiaalia käyttäviin rakenteisiin ja uusiutuvien raaka-aineiden sekä ulkoishaittoja tuottamattomien prosessien käyttöön teollisuudessa. Aineelliset ja aineettomat infrastruktuurit voidaan toteuttaa ja tarjota kaikkien, erityisesti pienteollisuuden ja innovatiivisten toimijoiden helposti saavutettavaksi.

Analyysissä käytetyt teknologiamittarit: Edistääkö teknologiamurros tuotannon siirtymistä uusiutuvien resurssien käyttöön? Edistääkö se erityisesti vähiten kehittyneiden maiden ja alueiden tuotannon tekijöiden kehitystä? Edistääkö se pienteollisuuden ja innovatiivisten toimijoiden pääsyä infrastruktuuripalveluihin, rahoitus, hankinta- ja jakelukanavat mukaan lukien? Edistääkö teknologiamurros muilla tavoin kestäväää ja inklusiivista teollistumista erityisesti kehitysmaissa? Auttaako se kasvattamaan T&K-toiminnan määrää helpottamalla tutkimustiedon hyväksikäyttöä?

Olennaisimmat teknologiamurrokset: Merkittävä kestäväää teollisuutta edistävä murrosvisio on suuntaus kohti halpaa aurinkoenergiaa, joka edistää erityisesti vähiten kehittyneiden maiden teollistumista ja siirtymistä uusiutuvien resurssien käyttöön. Tämän ohella merkittäviä kehityssuuntia ovat myös mm. robotisoitu yksilöllinen kuljetus, joustava yksilöllinen lähituotanto, uusiutuvat materiaalit, työn robotisointi, AI:n varmentama itsenäinen oppiminen, joukkoistettu turva ja luottamusalustat.

3.10. Tavoite ([UN SDG 10](#)); vähentää eriarvoisuutta maiden sisällä ja niiden välillä:

Teknologia voi kehittyessään auttaa vähentämään osaamis- ja tuottavuuseroja sekä edesauttaa laajaa pääsyä tiedon ja tuotannon tekijöiden ulottuville. Uusi teknologia voi myös ohjata tarpeiden tyydyttämiseen tavalla, jossa rajallisia tuotannon tekijöitä käytetään vain vähän ja tarpeiden tyydytys muuttuu aiempaa edullisemmaksi. Tehokas logistiikka ja viestintä vähentävät arvonaluonnin riippuvuutta paikasta. Tämän kautta ne kasvattavat maiden välistä taloudellisten mahdollisuuksien tasa-arvoa.

Analyysissä käytetyt teknologiamittarit: Tehostaako ja standardoiko teknologiamurros globaalia viestintää ja logistiikkaa osallistavalla tavalla? Vähentääkö se valtiollisista infrastruktuureista riippuvia rahoitus-, osaamis- ja tuottavuuseroja? Vähentääkö se arvonaluonnin riippuvuutta keskittyneistä tuotannontekijöistä? Vähentääkö se rajallisten ja pullonkauloina kontrolloitujen resurssien käyttöä? Laskeeko se tarpeiden tyydyttämisen tai tuotannon käynnistämisen kustannuksia? Vähentääkö se riippuvuutta aineettomista oikeuksista ja muista eriarvoisuutta luovista privilegioista? Edistääkö teknologiamurros yhdenvertaisten lakien ja käytäntöjen globaalia harmonisointia?

Olenneisimmat teknologiamurrokset: Eriarvoisuuden vähentäjänä olennaisimmiksi ennakoitaan halpa aurinkoenergia ja hajautetut energiavarastot sekä etäläsnäolo. Luokuisat muut kehityskulut vaikuttavat myös tärkeiltä, kuten liikenteen, tavaratuotannon ja elintarviketuotannon murrosvisiot. Myös etäkauppa, palveluiden ja opetuksen sekä suoran tiedonhankinnan tekoäly, itsediagnostiikka, luottamusalustat ja vaikutusten mukaan osallistava päätöksenteko näyttäytyvät mittareissa tärkeinä visioina.

3.11. Tavoite ([UN SDG 11](#)); taata turvalliset ja kestävät kaupungit sekä asuinyhdyskunnat:

Uusi teknologia voi edistää edullista asumista, kaikille saavutettavia liikkumismahdollisuuksia, vihreitä alueita ja julkisia tiloja työssäkäynti- ja asointialueilla. Teknologiakehitys voi lisäksi parantaa asuinalueiden resilienssiä kriisitilanteissa esimerkiksi vesipulan, laman tai pandemian tilanteissa. Kaupunkien ja muiden asuinalueiden turvallisuutta voidaan parantaa ja ympäristökuormaa vähentää sekä vahvistaa kaupunkien osallistavia sidoksia ympäröiviin alueisiin.

Analyysissä käytetyt teknologiamittarit: Helpottaako teknologiamurros työssäkäyntialueella saavutettavissa olevien edullisten asuntojen ja infrastruktuurin rakentamista tai kunnossapitoa? Parantaako se turvallisuutta tai helposti kaikkien saavutettavia liikkumismahdollisuuksia? Vähentääkö teknologiamurros kaupunkien ja asuinyhdyskuntien kriisiherkkyyttä tai ympäristökuormaa? Kasvattaako teknologiamurros kaupunkilaisten ja ympäristön sidoksia tai osallisuutta kaupunkisuunnittelussa? Helpottaako se paikallisen osaamisen ja materiaalien käyttöä kehittyvissä maissa?

Olenneisimmat teknologiamurrokset: Turvallisiin ja kestäviin kaupunkeihin johtavat murrosvisioista parhaiten autonominen sähköinen henkilöliikenne, suuntaus kaupunkeihin autonomisina asumiskoneina ja yksilöllinen joukkoistettu turvallisuus. Tärkeitä ovat myös robotisoitu tavaroiden yksilöllinen kuljetus ja kuormaus, etäläsnäolo, työn robotisointi ja tekoälypalvelut, ihmisen tekniset avusteet, itsenäinen tekoälyn avustama mittaaminen ja oppiminen sekä tekojen suora palkitsevuus tarkoituksellisuuden keskeisenä ja yleisenä lähteenä.

3.12. Tavoite ([UN SDG 12](#)); varmistaa kulutus- ja tuotantotapojen kestävyys:

Tuotanto- ja kulutustavat ovat kestäviä, kun ne eivät ylikuormita luontoa. Teknologiakehitys voi auttaa vähentämään hävikiä sekä parantamaan raaka-aineiden käytön tehokkuutta ja kierrätystä. Uusi teknologia voi tämän ohella korvata rajallisia resursseja uusiutuvilla resursseilla, vähentää ympäristölle haitallisten kemikaalien käyttöä ja niiden sekä jätteiden leviämistä luontoon. Teknologiakehityksen avulla voidaan myös lisätä yleistä tietoisuutta kestävästä kehityksestä ja seurata tavoitteiden toteutumista.

Analyysissä käytetyt teknologiamittarit: Lisääkö teknologiamurros tietoisuutta kestävän kehityksen mekanismeista? Parantaako se paikallisesti tai globaalisti uusiutuvien raaka-aineiden tai kierrätyksen kilpailukykyä? Vähentääkö teknologiamurros ympäristöä haittaavia päästöjä tai tehostaako se rajallisten resurssien käyttöä? Helpottaako se ympäristöä kuormittavan kulutuksen, turismin ja tuotannon haittojen tekemistä näkyväksi tavalla, joka ei vähennä työllisyyttä? Tukeeko teknologiamurros paikallista osaamista, kulttuuria ja työllisyyttä kestävästä kehityksestä edistävällä tavalla?

Olennaisimmat teknologiamurrokset: Merkittävimmät murrosvisiot ovat elintarvikeomavaraiset kaupungit eli sisäviljely sekä suuntaus uusiutuviin materiaaleihin ja kiertotalouteen. Tärkeitä ovat mittareiden mukaan myös autonominen sähköinen liikenne palveluna, robotisoitu tavarankuljetus, halpa aurinkoenergia, kaupungit autonomisina asumiskoneina, suora mittaus ja tekoälyn avustama joukkoistus, robotisoidut ja virtualisoidut elämykset, joukkoistettu turvallisuus ja tekojen suora palkitsevuus.

3.13. Tavoite ([UN SDG 13](#)); toimia kiireellisesti ilmastonmuutosta ja sen vaikutuksia vastaan:

Ilmastonmuutos aiheutuu pääosin energiatuotannon, maatalouden, teollisuuden, liikenteen ja kiinteistöjen kasvihuonekaasupäästöistä sekä kasvihuonekaasuja sitovien nielujen vähenemisestä. Teknologiakehityksen avulla voidaan edistää tietoisuuden kasvua ratkaisujen tarpeesta ja hyödyistä. Myös nielujen kasvun ja päästöjen vähentämisen keinoja edistetään rahoitusta ja päätöksentekoa helpottamalla. Teknologiamurros voi edesauttaa sitäkin päätöksentekoa, joka edistää yhteiskuntien tai luonnon sopeutumista muuttuvaan ilmastoon. Keskeisin päätöksentekoa nopeuttava tekijä tietoisuuden lisäämisen ohella on kestävien vaihtoehtojen houkuttavuus tai hyväksyttävyyys.

Analyysissä käytetyt teknologiamittarit: Kasvattaako teknologiamurros yhteiskuntien kestävyyttä ja sopeutumiskykyä ilmastonmuutoksen synnyttämissä olosuhteissa? Helpottaako teknologiamurros yhteisöllisiä ja yhteiskunnallisia regulatiivisia toimia ilmastonmuutoksen hidastamiseksi ja ilmiöiden varhaiseksi havaitsemiseksi? Edistääkö se nopeiden ilmastonmuutoksen vastaisten toimien rahoitusta kehittyvissä maissa? Edistääkö se ilmastotoimien läpinäkyvyyttä, suunnitelmallisuutta ja vaikuttavuutta?

Olennaisimmat teknologiamurrokset: Tärkein murrosvisio tämän tavoitteen näkökulmasta on suuntaus halpaan aurinkoenergiaan ja hajautettuihin energiavarastoihin. Muita merkittäviä tätä tavoitetta tukevia kehityssuuntia näiden visioiden joukossa ovat sähköinen liikenne palveluna, elintarvikeomavaraiset kaupungit, uusiutuvat materiaalit, kaupungit autonomisina asumiskoneina, joukkoistettu AI-tieto ja turvallisuus sekä AI:n varmentama oppiminen. Nämä kaikki edistävät joko keskitettyä tai hajautettua päätöksentekoa tarjoamalla tietoa tai suunnan ja vaikutuskeinot muutokseen. Siirtymä omavaraistalouden suuntaan saattaa vaikuttaa olennaisen haitallisesti ilmastonmuutoksen torjuntaan, ellei suuntaus perustu suljetun kierron sisäviljelyyn sekä uusiutuviin energia- ja materiaaliteknologioihin.

3.14. Tavoite ([UN SDG 14](#)); säilyttää meret ja merten tarjoamat luonnonvarat sekä edistää niiden kestäväää käyttöä:

Merien luonnonvarat kärsivät etenkin CO₂-pitoisuuden nousun aiheuttamasta happamoitumisesta, lämpenemisestä ja harppauskerroksen laajenemisesta aiheuttamasta ravinnepulasta, jätteistä ja kemikaalipäästöistä sekä ylikalastuksesta. Teknologiakehitys voi edistää kestäväää meriliikennettä ja kalastusta. Teknologisin keinoin voidaan myös vähentää CO₂-päästöjä ja laskea sen pitoisuutta CO₂ -kaappauksella ilmakehästä tai vedestä. Lisäksi jätteiden, ravinteiden ja kemikaalipäästöjen joutumista mereen voidaan vähentää ja kerätä niitä merestä kehittämällä ja käyttämällä uutta teknologiaa.

Analyysissä käytetyt teknologiamittarit: Auttaako teknologiamurros vähentämään merien saastumista? Auttaako se vähentämään CO₂-päästöjä ja merien happamoitumista? Auttaako se vähentämään merien ravinnekuormaa? Edistääkö teknologiamurros rannikoiden ekosysteemien kestävyyttä? Auttaako se valvomaan ja vähentämään ylikalastusta? Edistääkö teknologiamurros meriteknologiaan ja meriekosysteemeihin liittyvää tutkimusta tai merien biodiversiteettiä? Edistääkö se pienten kalastusyksiköiden pääsyä markkinoille?

Olennaisimmat teknologiamurrokset: Murrosvisioilla ei ilman yhteiskuntien muita päätöksiä ole ratkaisevaa vaikutusta merien luonnonvarojen suojeluun ja kestävään käyttöön. Useat murrosvisiot tarjoavat kuitenkin selkeitä tavoitetta edistäviä keinoja, jotka yhteiskuntien muiden toimien ohessa voivat olla ratkaisevia. Uusiutuvat energiamuodot, uusiutuvat materiaalit ja liikenteen sähköistyminen vähentävät merien happamoitumista. Työn robotisaatio auttaa vähentämään merien jätekuormaa. Elintarvikemavaraisten kaupunkien sisäviljely edistää merien ja rannikkoekosysteemien kestävyyttä, suora mittaaminen ja joukkoistettu AI-tieto samoin. Itsenäisen oppimisen kehitys ja vaikutuksiin perustuva osallistaminen ovat myös tavoitetta edistäviä keinoja.

3.15. Tavoite ([UN SDG 15](#)); suojella maaekosysteemejä, palauttaa niitä ennalleen ja edistää niiden kestäväää käyttöä; edistää metsien kestäväää käyttöä; taistella aavikoitumista vastaan; pysäyttää maaperän köyhtyminen ja luonnon monimuotoisuuden häviäminen:

Maaekosysteemejä uhkaa viljelypinta-alan laajentaminen, talousmetsien köyhtyminen, vieraslajien leviäminen, salametsästys, saastuminen ja aavikoituminen. Teknologian avulla näitä ongelmia voidaan vähentää ja kääntää kehitys parempaan suuntaan.

Analyysissä käytetyt teknologiamittarit: Auttaako teknologiamurros säilyttämään tai palauttamaan maa- ja sisävesiekosysteemejä? Edistääkö se ekosysteemien kestäväää käyttöä, metsäpinta-alan kasvua tai kestävään käytön sekä suojelutoimien valvontaa? Auttaako teknologiamurros torjumaan aavikoitumista, palauttamaan maaperän elin-

voimaa, kasvattamaan biodiversiteettiä ja vähentämään sukupuuttoja? Auttaako se tekemään ekosysteemien tilasta läpinäkyvän ja kehittämään suunnitteluprosesseja yhdessä köyhyyden vähentämistavoitteiden kanssa?

Olennaisimmat teknologiamurrokset: Tärkein maaekosysteemien suojelua ja palauttamista edistävä murrosvisio on elintarvikeomavarainen kaupunki, koska sen avulla maatalouden päästöt pääosin poistuvat ja suurin osa maatalousmaasta voidaan palauttaa luonnontilaan. Tärkeitä keinoja ovat myös työn robotisoituminen, jonka avulla mm. kierrätys, mekaaninen torjunta ja metsänistutus voidaan toteuttaa tehokkaasti. Tekoälyn varmistama oppiminen ja joukkoistettu mittatieto edistävät nekin samaa tavoitetta. Omavaraisuuteen siirtymisellä saattaa toisaalta olla olennainen haitallinen vaikutus tavoitteelle.

3.16. Tavoite ([UN SDG 16](#)); edistää rauhanomaisia yhteiskuntia ja taata kaikille pääsy oikeuspalveluiden pariin; rakentaa tehokkaita ja vastuullisia instituutioita kaikilla tasoilla:

Rauhanomaisuutta lisää oikeudenmukaisuuden tunne, syrjäytymisen vähäisyys, turvakotit, mahdollisuuksien tasa-arvo, vastakkainasetteluiden vähäisyys ja väärinkäytösten läpinäkyvyys ja vastuun oikeudellinen toteutuminen. Teknologia voi edesauttaa läpinäkyvyyden ja keskeisten instituutioiden tehokkuuden lisäämisessä, syrjäytymisen estämisessä sekä osallisuuden ja elämän merkityksellisyyden lisäämisessä.

Analyysissä käytetyt teknologiamittarit: Auttaako teknologiamurros vähentämään väkivaltaa tai sen uhkaa? Auttaako se vähentämään alistusta, hyväksikäyttöä ja ihmiskauppaa? Helpottaako teknologiamurros pääsyä oikeusjärjestelmän piiriin ja helpottaako se oikeuden toteutumista? Auttaako se organisoidun rikollisuuden vähentämisessä tai rikollisuuden vaikutusten vähentämisessä? Lisääkö teknologiamurros organisoidun toiminnan läpinäkyvyyttä ja vähentääkö se korruption mahdollisuutta? Lisääkö se osallistumismahdollisuuksia päätöksenteon eri tasoilla? Edistääkö teknologiamurros kansalaisvapauksia ja kansalaisten tiedonsaantia?

Olennaisimmat teknologiamurrokset: Tärkeimmät murrosvisiot ovat itse mitattu ja joukkoistettu AI-tieto sekä joukkoistettu turvallisuus, jotka auttavat erityisesti niillä alueilla, joilla ihmisten koskemattomuus ja oikeusturva ovat pahiten uhattuna. Muita tärkeitä tavoitteen edistäjiä ovat autonominen henkilöliikenne, etäkauppa ja transaktioiden digitalisointi, työn robotisointi, ennakoiva itsediagnostiikka, AI:n tukema itsenäinen oppiminen, kansainväliset luottamusalustat, yhteistyön suora palkitsevyys ja vaikutusten mukainen osallistaminen. Yksilöllisen pakettiliikenteen robotisointi ja etävalvottaminen muodostavat selkeän turvallisuusriskin, jos toimet ovat heikosti valvottuja.

3.17. Tavoite ([UN SDG 17](#)); tukea vahvemmin kestävän kehityksen toimeenpanoa ja globaalia kumppanuutta:

Valtioiden välinen yhteistyö vaikuttaa kestävän kehityksen globaaliin toimeenpanoon. Keskeistä edistykselle on, että kehittyneet maat ryhtyisivät kasvavassa määrin tarjoamaan resursseja ja osaamista vähemmän kehittyneiden maiden käyttöön. Osaamiskokonaisuuteen liittyy tieteellinen, teknologinen ja innovaatio-osaaminen, rahoitus-, vienti- ja viestintäosaaminen, kestävän kehityksen tavoitteiden ja keinojen osaaminen, tehokkaat yhteistyöorganisaatiot ja hyvät kansalliset tilastot.

Analyysissä käytetyt teknologiamittarit: Edistääkö teknologiamurros kehittyvien maiden kykyä hankkia teknologista - ja innovaatio-osaamista? Edistääkö se kehittyneiden maiden halua tukea kehittyvien maiden kestävän kehityksen hankkeiden rahoitusmahdollisuuksia? Edistääkö se kehittyvien maiden talouden ja viestinnän rakenteita tai helpottaako se näiden rakenteiden kehittymistä? Edistääkö se kestävän kehityksen kansallisten yhteistyörakenteiden syntyä? Helpottaako teknologiamurros kestävän kehityksen tavoitteiden seuraamista ja siihen liittyvää tilastointia ja kansainvälistä osamismvaihtoa?

Oleennaisimmat teknologiamurrokset: Tavoitteen toteutumista edistävät merkittävimmän murrosvisiot AI:n varmentamasta itsenäisestä oppimisesta ja itse mitatusta, joukkoistetusta AI-tiedosta. Ei liene yllättävää, että osaaminen ja tieto ovat kestävän kehityksen yhteistyön ja toimeenpanon avaimia. Tärkeitä ovat myös taloudellisen kehityksen fyysiset, kollektiiviset mahdollistajat, kuten henkilöliikenteen ja tavaraliikenteen robotisaatio, halpa aurinkoenergia, kaupunki autonomisena asumiskoneena ja työn robotisointi. Myös turvallisuuden joukkoistus ja kansainväliset luottamusalustat sekä etäkauppa luovat edellytyksiä tehokkaalle kestävän kehityksen toimeenpanolle ja globaalille kumppanuudelle. Omavaraisuuden kasvu sen sijaan vaikeuttaa kollektiivisia tavoitteita.

4. Yhteenveto

Raportin tehtävänä on 20 teknologiamurrosvision kuvaaminen ja visioiden yhteiskunnallisen vaikuttavuuden arviointi YK:n kestävän kehityksen Agenda 2030 -tavoitteiden näkökulmasta. Tätä arviointia varten on kehitetty menetelmä, jota käyttäen voidaan ennakoida tavoitteiden saavuttamista kullakin ehdotetulla teknologiapoliittisella suuntauksella tai keinolla. Tuloksista voidaan esittää seuraavalla sivulla olevan taulukon 1 mukainen yhteenveto.

Vasemmalta oikealle: Teknologiamurrokset arvionluontiver- kostoissa	Henkilöikenne	Tavaraliikenne	Tavaroiden valmistus	Ravinto	Energia	Materiaalit	Rakennettu ympäristö	Vaihdanta	Etävaikututtaminen	Työn korvaus koneilla	Työ ja ansainta	Terveys	Toimintakyvyn avusteet	Havainnot ja tietäminen	Osaaminen ja sen näytöt	Elämykset	Turvallisuus	Yhteistyökyky	Tarkoituksellisuus	Väitarkenteet	Teknologiaratkaisuiden laajuus
1. Poistaa köyhyys sen kaikissa muodoissa kaikkialta	3	3	10	3	10	3	1	3	3	3	10	3	3	3	10	1	1	3	1	1	3,9
2. Poistaa nälkä, saavuttaa ruokaturva, parantaa ravitsemusta ja edistää kestävä maataloutta	0	1	0	10	1	1	1	1	0	10	1	3	0	3	1	0	1	1	1	1	1,9
3. Taata terveellinen elämä ja hyvinvointi kaiken ikäisille	3	1	1	3	1	1	1	1	1	-3	3	10	3	3	3	1	3	1	3	1	2,1
4. Taata kaikille avoin, tasa-arvoinen ja laadukas koulutus sekä elinikäiset oppimismahdollisuudet	1	1	3	3	1	0	1	3	10	10	3	3	1	10	10	3	0	3	3	1	3,5
5. Saavuttaa sukupuolten välinen tasa-arvo sekä vahvistaa naisten ja tyttöjen oikeuksia ja mahdollisuuksia	3	1	1	1	1	1	1	1	3	10	-1	1	3	1	3	1	3	3	1	1	2,0
6. Varmistaa veden saanti ja kestävä käyttö sekä sanitaatio kaikille	0	0	0	10	1	1	1	0	0	1	0	1	0	3	1	0	3	1	1	3	1,4
7. Varmistaa edullinen, luotettava, kestävä ja uudenäkinen energia kaikille	10	1	1	-1	10	3	3	1	1	-1	3	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1,9
8. Edistää kaikkia koskevaa kestävää talouskasvua, täyttää ja tuottavaa työllisyyttä sekä säällisi työpaikkoja	3	3	10	3	3	3	-1	10	10	3	1	3	3	3	10	3	1	3	3	1	3,9
9. Rakentaa kestävää infrastruktuuria sekä edistää kestävää teollisuutta ja innovaatioita	1	3	3	1	10	3	1	1	0	3	3	1	1	1	3	1	3	3	3	1	2,3
10. Vähentää eriarvoisuutta maiden sisällä ja niiden välillä	3	3	3	3	10	1	1	3	10	3	3	3	3	3	3	3	1	3	3	3	3,4
11. Taata turvalliset ja kestävät kaupungit sekä asuinhyödykunnat	10	3	1	1	1	1	10	1	3	3	3	1	3	3	3	1	10	1	3	1	3,2
12. Varmistaa kulutus- ja tuotantotapojen kestävyys	3	3	1	10	3	10	3	1	1	1	1	1	1	3	1	3	3	1	3	1	2,7
13. Toimia kiireellisesti ilmastomuutosta ja sen vaikutuksia vastaan	3	1	1	3	10	3	3	1	1	1	-1	1	1	3	3	1	3	1	3	1	2,2
14. Säilyttää meret ja merten tarjoamat luonnonvarat sekä edistää niiden kestävä käyttöä	1	1	0	3	1	1	1	1	0	1	-1	0	0	3	3	0	1	1	1	3	1,1
15. Suojella maaekosysteemejä, palauttaa niitä ennalleen ja edistää niiden kestävä käyttöä; edistää metsien kestävä käyttöä; taistella aavikoitumista vastaan; pysäyttää maaperän köyhtyminen ja luonnon monimuotoisuuden häviäminen	0	-1	0	10	-1	1	1	1	1	3	-3	0	0	3	3	1	1	1	3	1	1,3
16. Edistää rauhanomaisia yhteiskuntia ja taata kaikille pääsy oikeuspalveluiden pariin; rakentaa tehokkaita ja vastuullisia instituutioita kaikilla tasoilla	3	-3	-1	0	1	0	1	3	-3	3	1	3	1	10	3	-1	10	3	3	3	2,0
17. Tukea vahvemmin kestävä kehityksen toimeenpanoa ja globaalia kumppanuutta	3	3	1	1	3	1	3	3	3	3	-3	1	0	10	10	1	3	3	1	1	2,6
Teknologiamurrosten vaikuttavuus Agenda 2030 -tavoitteisiin nähden	2,94	1,41	2,06	3,76	3,88	2,00	1,88	2,06	2,59	3,18	1,35	2,06	1,35	3,88	4,18	1,12	2,82	1,94	2,18	1,47	

Taulukko 1. Kestävän kehityksen tavoitteiden teknologiamittarointi murrosvisioittain. Arviointimerkinnot: (+/-) 1 = selkeä rajattu merkitys; (+/-) 3 = osittainen ratkaiseva tai laaja merkitys; (+/-) 10 = ratkaisevan laaja toteutunut tai potentiaalinen merkitys.

Taulukossa 1 teknologiamurrosvisiot on arvioitu vaikutuksen haitallisuuden tai hyödyllisyyden mukaan kutakin Agenda 2030 -tavoitetta vasten. Tämä on yhteenvetotaulukko, jonka osoittama arvo huomioi harkinnanvaraisesti kuhunkin tavoitteeseen liittyvien mittareiden eli yksityiskohtaisten laadullisten kysymysten arviot.

Laajempi taulukko kutakin tavoitetta selventävine apukysymyksineen on liitteenä 1.

Menetelmän avulla saadut ennakointitulokset osoittavat kaikkien 20 vision edistävän toteutuessaan kestävä kehitystä monin eri tavoin. Osa myös saattaa joiltakin osin haitata tavoitteiden saavuttamista. Köyhyyden poistamisen, oppimismahdollisuuksien, talouskasvun, eriarvoisuuden vähentämisen ja turvallisten kaupunkien kehittämisen ennakoitiin hyötyvän merkittävästi useista esitetyistä visioista. Kapeinta visioiden tarjoama tuki oli veden saannin turvaamisen sekä vesi- ja maaekosysteemien suojelun osalta. Mutta näihinkin oli osoitettavissa merkittäviä positiivisia vaikutuksia, maaekosysteemien ja veden saannin osalta vaikutus nähtiin jopa ratkaisevaksi.

Taulukon riveittäin tai sarakkeittain summattuja kokonaispisteitä ei voi suoraan verrata toisiinsa. Koska yksittäisten solujen pisteytys on aihealueittain suhteutettu, summa ei anna täysin vertailukelpoista absoluuttista arvoa kokonaismerkitykselle. Se osoittaa kokonaismerkituksen sijaan pikemminkin merkittävän tuen laaja-alaisuutta.

Visioista laajimmin merkittäviksi osoittautuivat arvioinnissa suuntaus kohti elintarvikeomavaraisia kaupunkeja, halpaa aurinkoenergiaa ja hajautettuja energiavarastoja, työn robotisointia ja palvelevaa tekoälyä, itse mitattua ja joukkoistettua AI-tietoa sekä suuntaus kohti AI:n varmentamaa itsenäistä oppimista. Kapein vaikutus kestävä kehityksen kokonaisuuteen oli suuntauksella kohti robotisoitua yksilöllistä kuljetusta ja kuormausta, omavaraisuutta, jakamista ja mikroyrittäjyyttä, vajavaisten ihmisten teknisiä avusteita, robotisoituja ja virtuaalisia, osallistavia elämyksiä sekä suuntaus kohti vaikutusten mukaan osallistavaa päätöksentekoa. Näistäkin jokaisen ennakoitiin vaikuttavan merkittäväällä tavalla myönteisesti useisiin kestävä kehityksen tavoitteisiin.

Radikaalien teknologiamurrosvisioiden Agenda 2030 -tavoitteiden mukaisuutta ei ole aiemmin systemaattisesti arvioitu. Agenda 2030 -tavoitteet tai alatavoitteet eivät suoraan radikaalien murrosvisioiden arviointiin edes sovi ilman kausaalista tulkintakehikkoa, joka luo yhteyden keinoista tavoitteisiin. Tätä työtä varten on siksi kehitetty uusi menetelmä. Koska tulokset ovat menetelmästä riippuvaisia ja tällaisella menetelmällä voi olla laajempaakin käyttöä teknologiapolitiikan suuntaamisessa, on olennaista arvioida menetelmää, sen luonnetta ja rajoituksia.

Menetelmää arvioitaessa huomio tulee ensiksi kiinnittää siihen, että kyse on tulevaisuuden visioiden arvioinnista. Tämä menetelmä ei sovellu, eikä ehkä mikään menetelmä sovellu, yksittäisten radikaalien teknologioiden kaikkien vaikutusten ennakointiin. Useimpia teknologioita voidaan käyttää hyvin monin erilaisin tavoin, kuten huomaamme vaikkapa monista Euroopan, USA:n, Venäjän ja Kiinan toisistaan poikkeavista toimintatavoista. Vaikutukset eivät

niinkään ole teknologioiden itsensä ominaisuuksia. Ne ovat useiden erilaisten, samanaikaisesti kehittyvien teknologioiden ja yhteiskunnan vuorovaikutuksessa synnyttämiin käyttötapoihin sidottuja seurauksia. Teknologiat siis mahdollistavat erilaisia käyttötapoja ja yhteiskunnallisia systeemeitä. Nämä yhteiskunnalliset systeemit tulee ensin visioida ja vasta sen jälkeen ne voidaan arvioida.

Ennakoidut visiot ovat joko uskottavia ja mahdollisia kehityssuuntia tai epärealistisia utopioiden ja dystopioiden kaltaisia tulevaisuuskuvia. Epärealististen visioiden vaikutuksia ei kannata vakavalla mielellä objektiivisesti arvioida. Visiot tulee aluksi muodostaa ja analysoida niiden toteutumisen edellytykset. Vaikuttavuusarviot tulee tehdä sellaisille tavoitteellisille tai muutoin ennakoituille visioille, jotka ovat teknologisesti, taloudellisesti ja poliittisesti riittävässä määrin uskottavia ja todennäköisiä. Analyysi teknologioista todennäköisiksi ennakoituihin toimintatapoihin on suoritettu raportissa Suomen sata uutta mahdollisuutta 2018-2037. Tässä arvioidut visiot perustuvat siinä ja aiemmassa työssä koostettuihin, uskottaviksi arvioituihin teknologiamurroksiin.

Tämän työn 20 erillisen arvioinnin perusteella voidaan kehitettyä menetelmää pitää yleisesti soveltuvana sellaisten systeemisten teknologiamurrosvisioiden vaikutusten arviointiin, joiden uskottavuus on ensin validoitu. Kokonaisuudessaan näin suoritettu teknologioiden vaikutuksen arviointi on työläs prosessi, mutta oikotiet altistavat virheille. Suurin virheistä on mahdottoman suunnan asettaminen tavoitteeksi.

Tässä käytetyn menetelmän osalta on tärkeää huomata, että aihe kaikessa monitahoisuudessaan on lähes kirjaimellisesti maailmoja syleilevä. Selvityshanke on suoritettu rajallisin resurssein ja vaikka tulokset ovat rohkaisevia ja osoittavat monia tavoittelemisen arvoisia kehityssuuntia, on tuloksiin suhtauduttava vain alustavina havaintoina. Menetelmä vaatii jatkokehitystä, arvioinnit moniäänisempiä tulkintoja ja tavoitteellisten visioiden ohien myös mainintoja laajempia dystooppisia kuvauksia.

Jotta tämän raportin kaltaiset arviot perustuvat tulevaisuuden mahdollisuuksiin eikä vain ennakkoluuloihin, on huolehdittava siitä, että arvioitsijat ja visioiden laatijat ovat paneutuneet teknologian odotettavissa olevaan kehitykseen ja ymmärtävät sen riittävästi. Kyse on moniarvoisesta ja useiden osaamisalueiden tehtävästä, jota raporttisarjassa on systemaattisesti edistetty. Laajimmin ja systeemisimmin tässä esitettyjen visioiden taustalla olevat teknologiamurroskuvaukset on esitetty ja niiden uskottavuus analysoitu [Suomen sata uutta mahdollisuutta 2018-2037 -raportissa](#). Samaa pohjatyötä voidaan käyttää myös muiden murrosvisioiden teknologisen ja yhteiskunnallisen uskottavuuden arviointiin. Esimerkkinä on sarjassa vastikään julkaistu raportti, joka samaa yhteiskunnallista arvonluontiverkostokehikkoa käyttäen arvioi koronapandemian sosioteknisiä vaikutuksia.

Yhteiskuntien käyttämä teknologia on aiheuttanut monet maailman ongelmista. Mikään uusi teknologia itsessään ei niitä ongelmia ratkaise. Mutta uudenaikaisin tavoin käytetty teknologia tekee visaistenkin ongelmien ratkaisun ja kestäväen kehityksen tavoittelun mahdollisiksi. On todella tärkeää myös havaita, että erilaisten ongelmien ratkaisumalleja voidaan tarkastella kokonaisvaltaisesti ja kattavasti uskottavalla tavalla. Yksittäisiä ongelmia ratkaisemalla ja yksittäisiä tavoitteita ajamalla aiheutetaan liian helposti vain uusia ongelmia tai pahennetaan entisiä.

Mitä laajempia ja visaisempia ongelmat ovat, sitä kokonaisvaltaisempia ja menetelmällisempiä ratkaisuyritysten tarkastelujen on oltava. YK:n asettamat kestävän kehityksen tavoitteet ovat kunnianhimoisia, mutta niiden suuntaan voidaan kulkea, eivätkä tavoitteet näytä olevan ratkaisemattomalla tavalla ristiriidassa keskenään. Tämän raportin visiot poistavat toteutuksessaan valtaosan köyhyydestä, sairauksista, rikollisuudesta, eriarvoisuudesta, osaamisvajasta ja ympäristöongelmista. Maailmasta voi tulla kestävästi nykyistä parempi paikka.

Liite 1.

Tässä liitetaulukossa näkyvät samat Agenda 2030 -päätaavoitteet kuin yhteenvelo-osion taulukossa. Liitetaulu-kossa näkyvät kuitenkin lisäksi kuhunkin päätaavoitteeseen liittyyvät tarkemmat arviointikysymykset. Päätaavoite-rivien lukuarvot on lihavoitu. Nämä lihavoidut arvot eivät ole alakysymyksiin annettujen arvojen laskennallisia summia, vaan apukysymykset ja teknologiamurrosten luonne on lihavoiduilla riveillä huomioitu harkinnanva-raisesti.

	Henkilökenne: kohti autonomaista sähköistä henkilöliikennettä palveluna	Tavaraliikenne: kohti robotioitua yksilöllistä kuljetusta ja luomautsa	Tavaroiden valmistus: kohti justataa ja yksilöllistä lähtuuantoa	Ravinto: kohti elintarvikkomavaraista kaupunkia ja yksilöllistä ruokaa	Energia: kohti alappaa aurinkoenergiaa ja hajautettuja energiarastoja	Materiaalit: kohti uusiuttua materiaaleja ja kiertotalouta	Rakennettu ympäristö: kohti kaupunkia autonimena asumiskoneena	Vaihdanta: kohti esikauppaa ja digitalioitua transaktioalustoja	Etävalikutaminen: kohti etäläsiäloa ja virtuaalisia kohtaanispaikkoja	Työn korvaus konella: kohti työn robotiointia ja palvelevaa tekoläy	Työ ja ansainta: kohti omaaraisutusta, jakanista ja mikroyrittäjyyttä	Terveys: kohti emakolaa terveyttä ja pelillistä itse diagnostiikkaa	Toimintakäynn avustet: kohti vajavaisen ihmisen teknisiä avusteta	Havainnot ja tietäminen: kohti itse mitattua ja joukoistettua Al-tietoa	Osaminen ja sen näkytö: kohti Al:n varmentamaa itenäistä oppimista	Elämäykset: kohti robotioitua ja virtuaalisia, osallistavia elämyksiä	Turvallisuus: kohti yksilöllistä ja joukoistettua turvallisuutta	Yhteisökyky: kohti talioita ja kansainvälisiä luottamusalustoja	Tarvotueläisyyt: kohti tekojen ja yhteistyön suoraan palitettavuutta	Valtarakenteet: kohti vaikutusten mukaan osallistavaa päätöksentekoa	Teknologiaatiasuuden laajuus
SDG-tavoitteet ja teknologiarelevantit mittarit	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1. Poistaa köyhyyden sen kaikissa muodoissa kaikkialta	3	3	10	3	10	3	1	3	3	3	10	3	3	3	10	1	1	3	1	1	3,9
Vähentääkö teknologiamurros riippuvuutta niukoista tai keskitetysti kontrolloiduista resursseista?	-3	1	3	3	10	10		3	10	10	3	3	3	10	10	-1	3	1	1	3	
Parantaako se lisäarvon tuoton suhdetta sidottuun pääomaan?	10	1	1	1	-3	-3	3	10	3	3		10	3	3	3	3		3	1		
Vähentääkö se lisäarvon tuoton muuttuvia kustannuksia?	3	3	1	-3	3	3	3	10	3	10	3	10	3	3	10	1	3	3	1		
Kasvattaako teknologiamurros talouden resilienssiä kriisitilanteissa?	3	3	10	3	3	3	3	3		3	3		1	3	3		3	3	3	3	
Kasvattaako teknologiamurros taloudellista inklusiivisuutta ja mahdollisuuksien tasa-arvoa?	3	10	10	3	3	3		3	3	-3	10	3	10	10	10	3	3	10	3	3	
2. Poistaa nälkä, saavuttaa ruokaturva, parantaa ravitsemusta ja edistää kestäväää maataloutta	0	1	0	10	1	1	1	1	0	10	1	3	0	3	1	0	1	1	1	1	1,9
Kasvattaako teknologiamurros elintarviketuotantoa?				10						10	1			3	1			3	1		
Vähentääkö se ruokatuotannon pääomavaltaisuutta tai riippuvuutta niukoista resursseista?				3	1					-3	1				1				1		
Vähentääkö se ravitsevan elintarviketuotannon, -varastoinnin ja -kaupan kustannuksia?	3		3	1	1	3	3		10	3				1			3	1	1		
Vähentääkö teknologiamurros elintarviketuotannon ympäristöhaittoja?			10	1	1		-1		3					1	1		3	1	1		
Kasvattaako se ruokatuotannon resilienssiä kriisitilanteissa?	1		10	1						3	3			3	1		3	1	3		
Kasvattaako teknologiamurros tietoisuutta yksilöllisestä ravintotarpeesta ja mahdollisuutta tarpeen huomiointiin?		1		3				1		3	1	10		3	1			3	1	3	
3. Taata terveellinen elämä ja hyvinvointi kaiken ikäisille	3	1	1	3	1	1	1	1	1	-3	3	10	3	3	3	1	3	1	3	1	2,1
Helpottaako teknologiamurros yleisen terveystiedon saatavuutta tai edistääkö se terveystiedon vaikuttavuutta?				3				3	1	3	1	10	1	3	3		3		1	3	
Auttaako se laajentamaan diagnostiikkaa kyykykyttä tai lääkkeiden saatavuutta väestöryhmillä, jotka nyt jäävät terveydenhuollon palveluiden ulkopuolelle?	1	3						3	3	3	3	10	1	3	3		1		1		
Tehostaako teknologiamurros vakavien sairauksien hoitomenetelmiä laajasti saavutettavalla tavalla?	1								1	1		3	3				3			1	
Vähentääkö se syrjäytymistä tai muista syistä aiheutuvia henkisiä ongelmia?	1	1	3	1					-1	-10	10	3	3	1	3	1	1	1	10	3	
Vähentääkö se onnettomuusriskejä tai tartuntatautiin riskejä?	3	1		3			3		3	3		3	3	1	1	3	3		3		
Vähentääkö teknologiamurros ihmisen vaarallisia ympäristöhaittoja?	10			3	3	3	1		1					3	1		3		1		
Edistääkö se terveyttä elintapoja mm. ravinnon ja liikunnan osalta?				3			-3	-3	-3	3	10	1	1	1	1	-3	1		1		
4. Taata kaikille avoin, tasa-arvoinen ja laadukas koulutus sekä elinikäiset oppimismahdollisuudet	1	1	3	3	1	0	1	3	10	10	3	3	1	10	10	3	0	3	3	1	3,5
Helpottaako teknologiamurros oppimateriaalien laajaa saatavuutta ja saavutettavuutta?	1	1	1	1	3			10	3	10	3		1	10	10	1		1	3		
Helpottaako teknologiamurros itseopiskelua, omatoimista harjaantumista ja osaamisen näyttöä?	1	1	3	3	1			1	3	10		3	3	10	10	3		3	1	3	
Vähentääkö se opetuksen resurssi- ja paikkasidonnaisuutta?		1	3	1	1		1		10	10		1		3	10	3		3		1	
Laajentaako se vertaistuen tai opettajien mahdollisuutta tukea oppimista?	1		1	1					3	3	3		1	3	10	1		3	3	1	
Tekeekö teknologia oppimisesta houkuttelevampaa tai helpompaa?			3	3	1			1	10	3	10	10	1	10	10	3		3	3	3	
5. Saavuttaa sukupolten välinen tasa-arvo sekä vahvistaa naisten ja tyttöjen oikeuksia ja mahdollisuuksia	3	1	1	1	1	1	1	1	3	10	-1	1	3	1	3	1	3	3	1	1	2,0
Vähentääkö teknologiamurros fyysisen voiman merkitystä?	1	3	1				3		3	10	-3		10			3	3				
Sivuuttaako se sosioekonomisesti miehille keskittyneen teknologian?	3	1				1	3	3	3	3					1						
Vähentääkö teknologiamurros väkivallan ja alistamisen riskiä?	3	1								3	-3	3	3	1	1	1	10	3	1	1	
Lisääkö teknologiamurros tyttöjen ja naisten mahdollisuutta tiedonhankintaan?	1			3	1				3	3	3	1		3	10	1	3	3	1	1	
Lisääkö se tyttöjen ja naisten yhteiskunnallista vaikutusmahdollisuuksia valtarakenteista huolimatta?	3	1	1		1			3	3	3				1	3		3	3	1	3	
6. Varmistaa veden saanti ja kestävä käyttö sekä sanitaatio kaikille	0	0	0	10	1	1	1	0	0	1	0	1	0	3	1	0	3	1	1	3	1,4
Auttaako teknologiamurros tuottamaan puhdasta vettä puhtaan veden puutteesta kärsivillä alueilla?				3	3									1					1		
Auttaako se tunnistamaan tai poistamaan käyttöveden tai jätevesien epäpuhtauksia ja niistä johtuvia ongelmia?				3		3						3		10	1		10	1	3	3	
Auttaako se käyttämään ja jakelemaan vettä tehokkaammin tai tarpeenmukaisesti?				10						3					3			1	3	3	
Parantaako teknologiamurros sanitaatiomahdollisuuksia ja hygieniä puutteista kärsivillä alueilla?							3										1	1		1	
Parantaako se vesiekosysteemin kestävyttä?				10										1					1		
7. Varmistaa edullinen, luotettava, kestävä ja uudenäikainen energia kaikille	10	1	1	-1	10	3	3	1	1	-1	3	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1,9
Vähentääkö teknologiamurros energiatuotannon ympäristöhaittoja?	3				10	1	3				3			1			1	1	1	3	
Vähentääkö teknologiamurros kestävään energiatuotannon pääoma-, keskittämis- ja osamisaatimuksia?	1			-3	3		3				3				1			1	1		
Vähentääkö se sidonnaisuutta fossiilista energialähteistä?	10	1			10	3	3		1		3							1	1	1	
Parantaako se prosessin energiatehokkuutta tai korvaako se ne kestävämmillä prosesseilla?	10	1	1		10	10	3	1	1	-1	3			1					1		
Helpottaako teknologiamurros edullista ja kestäväää energian saantia infrastruktuuriltaan puutteellisia alueilla?	3				10		3				3								1	1	
8. Edistää kaikkia koskevaa kestäväää talouskasvua, täyttää ja tuottavaa työllisyyttä sekä säällisiä työpaikkoja	3	3	10	3	3	3	-1	10	10	3	1	3	3	3	10	3	1	3	3	1	3,9
Auttaako teknologiamurros kasvattamaan laajasti ja hajautettui työntekijöiden tuottavuutta tai innovaatioiden syntyä ja rahoitusta?	1	10	10	1	3	3		10	10	10	3	1	3	3	10	3		1	3	3	
Auttaako se kehitysmaita infrastruktuuripuuhteistaan ja osamisaatimistaan huolimatta saavuttamaan kehittyneiden maiden tuottavuustasoa?	-3	3	10		3	-3	-3	3	3	3		3	1	1	3	3	1	3	3	1	
Tuottaako teknologiamurros merkittävää uutta asiakasläsärvoa laajoille markkinoille?	10	3	10	3	3		3	10	10	10	3	10	3	10	10	10	3	3	10	3	
Säästääkö se muissa kuin työvoimakustannuksissa tai onko sen vaatima investointi hajautettu ja työvaltaisuutta lisäävää esimerkiksi kasvattamalla yksilöllistä lisäarvoa tai säästämällä muita pääomavaltaisia kustannuksia ja pääomavaltaisten palveluiden käyttöä?	3	3	10	10	3	3	-3	10	10	-10	3	3	10	3	3	3	3	3	3	3	
Vähentääkö teknologiamurros pullonkulauserussien käyttöä ja ulkoishaittoja?	3			3	3	3	3	1	3	3		3		1	1	3	1		1	1	
9. Rakentaa kestäväää infrastruktuuria sekä edistää kestäväää teollisuutta ja innovaatioita	1	3	3	1	10	3	1	1	0	3	3	1	1	1	3	1	3	3	3	1	2,3
Edistääkö teknologiamurros tuotannon siirtymistä uusiuttuvien resurssien käyttöön?		1	3	10	10	3				3						3	1	10	3		
Edistääkö se erityisesti vähiten kehittyneiden maiden ja alueiden tuotannon tekijöiden kehitystä?	3	1	1	-1	10	-1	-3	1		3	3	1	1	3	3	1	1	1	1		
Edistääkö se pienteollisuuden ja innovatiivisten toimijöiden pääsyä infrastruktuuripalveluihin rahoitus, hankinta- ja jakelukanavat mukaan lukien?	10	3	1	1	3	3	3			10	3			1	3	1		3	3	1	
Edistääkö teknologiamurros muilla tavoin kestäväää ja inklusiivista teollistumista erityisesti kehitysmaissa?	1	1	3		3	3	1	3		3				1	3		3	3	1	3	
Auttaako se kasvattamaan T&K-toiminnan määrää helpottamalla tutkimustiedon hyväksikäyttöä?			3	3	1					10	3	3	1	3	3		3	3	1	1	
10. Vähentää eriarvoisuutta maiden sisällä ja niiden välillä	3	3	3	3	10	1	1	3	10	3	3	3	3	3	3	3	1	3	3	3	3,4
Tehostaako ja standardioiko teknologiamurros globaalia viestintää ja logistiikkaa osallistavalla tavalla?	1	10	3		1	1	3	3	10	10	3			3	3	3	3	3	3	10	
Vähentääkö se valtiollista infrastruktuurista riippuvia rahoitus-, osamisa- ja tuottavuseroja?	1	3	3	3	3		3	3	3	3	3	3	1	1	10	1	3	3	3	1	
Vähentääkö se arvonluonnin riippuvuutta keskittyneistä tuotannon tekijöistä?	3	3	10	3	10	3	-1	3	3		10	3	3	1	3	3	1		1	1	
Vähentääkö se rajallisten ja pullonkauloina kontrolloitujen resurssien käyttöä?	3	3	1	3	10	3	1	3			3	3	3	1	10			1	1	1	
Laskeeko se tarpeiden tyydyttämisen tai tuotannon käynnistämisen kustannuksia?	3	1	3		1	-3	1	3	10	-3	3	10	3	3	3	3	1	3	3	3	
Vähentääkö se riippuvuutta aineettomista oikeuksista ja muista eriarvoisuutta luovista privilegioista?	-3		3	1		-3	-3	3		-3	3	3	3		3	10	1	3	3	1	
Edistääkö teknologiamurros yhdenvertaisten lakien ja käytäntöjen globaalia harmonisointia?	3	3			1	3		1	3	-3	1			3	3	3	3	3	-3	3	
11. Taata turvalliset ja kestävä kaupungit sekä asuinhydyskunnat	10	3	1	1	1	1	10	1	3	3	3	1	3	3	3	1	10	1	3	1	3,2
Helpottaako teknologiamurros työssäkäyntialueella saavutettavissa olevien edullisten asuntojen ja infrastruktuurin rakentamista tai kunnossapittoa?	3	1	1				10	1	3	3	3		1	1	3	1	1	1	1	1	
Parantaako se turvallisuutta tai helposti kaikkien saavutettavia liikumismahdollisuuksia?	10	1				10		3	3			10	3	1		10	3	1			
Vähentääkö teknologiamurros kaupunkien ja asuinhydyskuntien kriisiherkkyttä tai ympäristökuormaa?	3	1		3	3		10		1	1	3		1	1	1	1	3		3	3	
Kasvattaako teknologiamurros kaupunkilaisten ja ympäristön sidoksia tai osallisuutta kaupunkisuunnittelussa?	-3	3				-3		-1	-3					3	3	-3	10	1	3	3	
Helpottaako se paikallisen osamisen ja materiaalien käyttöä kehittyvissä maissa?	3	3		1	3	-1	3	3	1	10	1			3	10	3	3	3	3	1	
12. Varmistaa kulutus- ja tuotantotapojen kestävyys	3	3	1	10	3	10	3	1	1	1	1	1	1	3	1	3	3	1	3	1	2,7
Lisääkö teknologiamurros tietoisuutta kestävään kehityksen mekanismeista?	1			3	3	1	3	1		3	3	1		3	1		3	1	1	1	
Parantaako se paikallisesti tai globaalisti uusiuttuvien raaka-aineiden tai kierrätyksen kilpailukykyä?	3	3		3	3	10	10			3	1			3	1				3	1	
Vähentääkö teknologiamurros ympäristöä haittaavia päästöjä tai tehostaako se rajallisten resurssien käyttöä?	10	3		10	3	10	3	3	3							10	10	1	3		
Helpottaako se ympäristöä kuormittavan kulutuksen, turismin ja tuotannon haittojen tekemistä näkyväksi?	1																				