



	Esipuhe	3
	Johdanto ja metodologia	4
1	Epävarmuus yhteiskunnallisena haasteena	5
	Standardeilla turvaa teollisuusautomaatioon	7
	Kyberturvallisuuden kilpavarustelu	9
2	Uudenlaisen älykkyyden aikakausi	10
	Digitaalisen luottamuksen merkitys kasvaa	12
	DNA:n potentiaali tiedon varastoinnissa	14
3	Kohti kaiken kiertävyyttä	15
	Uusiutuvat ratkaisut niukkuuden maailmassa	17
	Vettä ilmasta	19
4	Vuorovaikutuksen uudet ulottuvuudet	20
	Metaversumin vaikutus teollisuuteen	22
	Bioresponsiiviset virtuaalimaailmat	24
5	Terveyden transformaatio	25
	Joustava mittaus modernin hoidon kulmakivenä	27
	Teknologia ihmisen jatkeena	29
	Lähteet	30





Navigointia muutoksen myrskyssä

Kiperien haasteiden keskellä on hyvä pysähtyä tarkastelemaan aikaamme muovaavien maailmanlaajuisten tapahtumien monimutkaista ketjua. Tässä trendiraportissa kartoitamme, mitä resilienssi nykymaailmassa tarkoittaa, ja mitä tulevaisuus voisi tuoda tullessaan.

Tavoitteenamme on tarjota yhteenveto tämänhetkisistä merkittävimmistä turvallisuuteen, kestävyyteen, terveyteen, tiedon jakamiseen ja älykkäisiin järjestelmiin liittyvistä kysymyksistä. Tarkastelemme myös, miten pandemian jälkimainingit ja jatkuvat geopoliittiset jännitteet, kuten sota Ukrainassa, eivät vain haasta vaan myös vahvistavat yhteiskunnallista resilienssiä.

Lisäksi pohdimme, millainen keskeinen ja moniulotteinen rooli teknologialla on resilienssin edistämisessä: vaikka globaalit tapahtumat varjostavatkin yhteisiä kokemuksiamme, teknologia säilyy liittolaisena yhteiskunnan rakentamisessa ja sen ylläpidossa. Toivomme, että pysähdyt hetkeksi miettimään, mitä kaikkea se voi merkitä.

Laura Juvonen, VTT:n strategijahtaja

Metodologia

Raportissa esiteltyjen megatrendien valinnassa on hyödynnetty lukuisia erilaisia tietolähteitä, kuten markkinatietoa, patenttirekistereitä, tieteellisiä julkaisuja, uutisartikkeleita ja raportteja viime vuosien ajalta. Aineistoa on lähestytty temaattisen laadullisen analyysin kautta, jonka tuloksena määriteltiin joukko avainteemoja. Teemoja käytiin läpi resilienssin näkökulmasta, minkä jälkeen niitä on validoitu ja uudelleenarvioitu yhteistyössä **GlobalDatan**, **Catapult International Oy:n** ja **Sitran** kanssa. Raportin taustatutkimus toteutettiin syksyllä 2023.

Lukuohje

Raportissa esitellään viisi megatrendiä omissa luvuissaan. Jokainen luku on jaettu kolmeen kappaleeseen:

- 1) **johdanto megatrendin teemoihin,**
- 2) **megatrendiin liittyvä nykyteknologia ja**
- 3) **nouseva teknologia.**

Ensimmäisessä kappaleessa käsitellään kyseisen megatrendin laajamittaisia vaikutuksia yhteiskuntien eri osa-alueisiin. Toisessa kappaleessa käydään läpi teknologioita, joilla on jo nyt laaja-alainen vaikutus yhteiskunnissa. Kolmannessa kappaleessa kerrotaan uusista teknologioista, joiden käyttöönottoon liittyy mahdollisuuksia, mutta mahdollisesti myös riskejä.

Vastaavat kirjoittajat

VTT:n Business Intelligence –tiimin erityisasiantuntijat Tanja Honkala, Krista Kovanen ja Linnea Sinkkilä

Erityiskiitos kanssakirjoittajille

Laura Juvonen, strategiajohtaja, VTT
Sonja Martikainen, johtaja, Business Intelligence, VTT
Eveliina Jutila, tiiminvetäjä, Market and Patent Analysis
Anssi Neuvonen, tiiminvetäjä, Intelligence Projects

ja VTT:n muille asiantuntijoille

1 Epävarmuus yhteiskunnallisena haasteena



Epävarmuus yhteiskunnallisena haasteena

1.1 JOHDANTO MEGATRENDIIN

Viime vuosia ovat leimanneet ympäristö- ja yhteiskunnalliset kriisit, joiden vaikutuksia geopolitiikan ja talouden muutokset ovat vain vahvistaneet. Turvallisuus ja vakaus heikkenevät maailmanlaajuisesti valtioiden keskittyessä enenevissä määrin kansallisiin teemoihin kansainvälisen yhteistyön sijaan. Samalla yhteiskunnallisen yhtenäisyyden rapautuminen ja polarisaation kasvu lisäävät levottomuuksia sekä heikentävät hallitusten kykyä toimia kriisien edessä¹. Pahimmillaan uhattuna on yhteiskunnallinen vakaus, kun polarisoituneet ryhmittymät keskittyvät kiistelemään keskenään ongelmien ratkaisemisen sijaan.

Ilmastonmuutos on tuonut mukanaan yhä voimakkaampia ja tiheämmin esiintyviä luonnonkatastrofeja.¹ Hurrikaanit, tulvat, metsäpalot ja kuivuus aiheuttavat osaltaan niin välittömiä kuin pitkäaikaisia yhteiskunnallisia uhkia. Lisäksi luonnonkatastrofien lisääntyminen rasittaa pelastustoiminnan järjestelmiä ja hankaloittaa toipumista muista kriiseistä, tehden yhteiskunnista entistä haavoittuvampia tulevien kriisien suhteen.

Yhä digitaalisemmaksi muuttuvassa maailmassa kyberrikollisuus ja tietoturva-uhat ovat myös kasvussa. Nämä uhat kohdistuvat usein kriittiseen infrastruktuuriin, kuten sähköverkkoihin, vesihuoltoon ja terveydenhuoltojärjestelmiin.¹

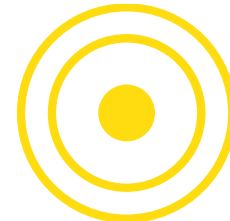
Infrastruktuurin ja datan suojelemisen tarve korostuu hätätilanteissa entisestään, ja tarvitaankin niin sanottua digitaalista resilienssiä, jotta teknologiaa voidaan hyödyntää tehokkaasti ennaltaehkäisemään kriisejä ja turvaamaan yhteiskunnallista vakautta.²

Epävarmuuden ja uhkien keskellä yhteiskunnat luottavat teknologiaan enemmän kuin koskaan aikaisemmin. Teknologiaa, kuten erilaisia sensoreita ja drooneja, voidaan käyttää esimerkiksi luonnonkatastrofien havaitsemisessa ja ehkäisyssä, ja niiden avulla voidaan suojella sekä ympäristöä että ihmisiä. Satelliittiviestinnän ansiosta jopa syrjäisimmät ja muutoin vaikeasti tavoitettavat seudut ovat nykyään nopeiden yhteyksien piirissä, antaen siten kansalaisille paremmat mahdollisuudet osallistua yhteiskunnalliseen keskusteluun ja päätöksentekoon.

Vaikka teknologiset innovaatiot auttavat yhteiskuntia sopeutumaan paremmin nykyhetken haasteisiin, tarvitaan suurempaa yhteiskunnallista muutosta epävarmuuksien hallitsemiseksi. Resilientin yhteiskunnan on kyettävä ennakoimaan häiriötiloja eikä vain reagoitava niihin. Vielä tärkeämpää on, että otamme yhteiskuntana oppia menneistä kriisitilanteista ja disruptioista tulevien haasteiden ratkaisemiseksi.³

Keskeiset teknologiatrendit

- **Esineiden internet ja sensorit luonnonkatastrofeja estämässä**
- **Droonit ihmisiä ja ympäristöä suojelemassa**
- **Kvanttialaus arkaluontoisen datan suojaamisessa**
- **Verkkoalustat yhteiskunnallisen osallistumisen helpottajina**
- **AI-järjestelmät kyberturvallisuutta parantamassa**
- **Satelliitit syrjäseutujen yhteyksien rakentajina**



Standardeilla turvaa teollisuusautomaatioon

● ● ○ 1.2 NYKYTEKNOLOGIA

Tietoturva on kriittinen osa yhteiskunnan resilienssiä, sillä ohjelmistoja ja robotiikkaa käytetään kaikkialla teollisuudessa. Niitä tarvitaan muun muassa hissien, laivojen, autonomisten ajoneuvojen ja erilaisten automatisoitujen prosessien toiminnassa. Digitaalinen rikollisuus on lisääntynyt merkittävästi viime vuosina, mutta etenkin operatiivisen teknologian järjestelmät ovat koetuksella, kun joka neljäs kyberhyökkäys kohdistuu teollisuusjärjestelmiin.⁴

Operatiiviseen teknologiaan (OT) kohdistuvat kyberhyökkäykset aiheuttavat suurempia ja haitallisempia tuhoja kuin informaatioteknologiaan (IT) kohdistuvat hyökkäykset. Ne voivat aiheuttaa esimerkiksi tuotantolinjojen sulkemisia, katkoksia tuotannossa sekä vaarallisia vuotoja ja jopa räjähdyksiä.⁵ Kun eri teollisuudenalat tukeutuvat yhä enemmän toisiinsa kytkettyihin tietojärjestelmiin, kasvaa myös kyberturvallisuuden merkitys entisestään.

Teollisuusautomaation kyberturvallisuuden tuotekehityksen tarkoitus on varmistaa tuotannon ja logistiikan sujuva toiminta. Tietoturvaluoto arvoketjun yhdessä osassa voi aiheuttaa kerrannaisvaikutuksia keskeyttäen toimitusketjujen ja valmistusprosessien sujuvan toiminnan. Pahimmillaan tästä voi aiheutua merkittäviä taloudellisia tappioita, logistista sekasortoa tai jopa yhteiskunnallisten toimintojen täydellinen halvaantuminen.

Digitaalisesti linkittyneessä maailmassa tehokas tietoturva on ratkaisevan tärkeää tietojen suojaamisen lisäksi myös elintärkeiden palvelujen toiminnan turvaamisessa ja fyysisen turvallisuuden varmistamisessa. IEC 62443-standardisto⁶ on kehitetty nimenomaan teollisuuden automaatio- ja ohjausjärjestelmien turvaamiseksi, ja EU:n uusi konedirektiivi ohjaa yrityksiä noudattamaan näitä standardeja.

Myös VTT osallistuu yhdessä kumppaneidensa kanssa tietoturvakäytäntöjen innovaatiotyöhön edistääkseen IEC 62443 -standardipohjaisten ympäristöjen kehitystä. Tavoitteena on parantaa näiden ympäristöjen koko elinkaaren kustannustehokasta, kestävästä ja turvallista kehitystä. Lisäksi VTT pyrkii luomaan kehitysprosessin aikana alalle yhtenäisen kielen tiedon jakamiseksi eri sidosryhmien kesken. Näillä toimilla on tarkoitus edistää teollisuuden kyberresilienssiä ja luoda turvallisempaa teollisuusautomaatiota digitaalisten uhkien keskellä.

”

Digitaalisesti linkittyneessä maailmassa tehokas tietoturva on ratkaisevan tärkeää tietojen suojaamisen lisäksi myös elintärkeiden palvelujen toiminnan turvaamisessa ja fyysisen turvallisuuden varmistamisessa.

”

Standardeilla turvaa teollisuusautomaatioon

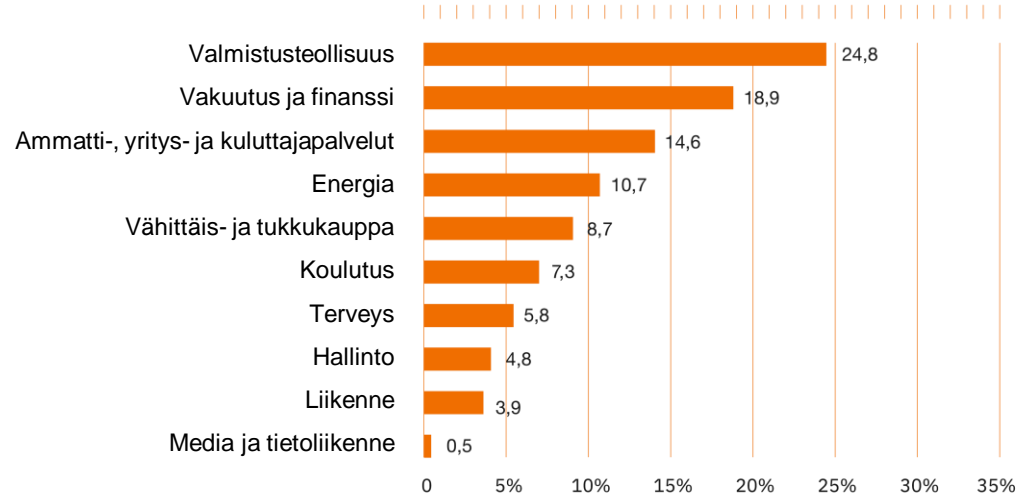
● ● ○ 1.2 NYKYTEKNOLOGIA

”

Digitaalinen rikollisuus on lisääntynyt merkittävästi viime vuosina, mutta etenkin operatiivisen teknologian järjestelmät ovat koetuksella, kun joka neljäs kyberhyökkäys kohdistuu teollisuusjärjestelmiin.

”

Kyberhyökkäykset toimialoittain 2022



Muokattu lähteestä: IBM (2023), X-Force Threat Intelligence Index 2023

Kyberturvallisuuden kilpavarustelu

● ● ● 1.3 NOUSEVA TEKNOLOGIA



- **Ennakoiva kyberriskien hallinta**
- **Tehokas uhkien tunnistus**
- **Automatisoitu kyberhäiriöihin reagointi**



- **Haittaohjelmien kehityksen kiihtyminen**
- **Entistä edistyneemmät kyberhyökkäykset**
- **Regulaation asettamat haasteet**

Tekoäly kyberturvallisuudessa

Tekoälyn kehitys muuttaa suhtautumistamme kyberturvallisuuteen. Kyberturvallisuuden osana tekoäly (AI) mahdollistaa entistä tehokkaampien puolustusmekanismien kehittämisen erilaisia kyberuhkia vastaan.⁸ AI-pohjaisten järjestelmien automaatio- ja analysointikyvyt mahdollistavat myös erilaisten uhkien ja poikkeamien havaitsemisen ihmisanalyttikkoja tehokkaammin. Tehokas havainnointikyky onkin ratkaisevan tärkeää ympäristössä, jossa kyberuhat kehittyvät ja muuttuvat yhä monimutkaisemmiksi.⁷

Toisaalta myös rikolliset tahot voivat hyödyntää tekoälyteknologiaa kehittääkseen edistyneempiä hakkerointitekniikoita, kuten itseoppivia haittaohjelmistoja, jolloin kyberhyökkäykset ovat entistä vaikeammin havaittavissa ja estettävissä.⁹ Tekoälyn käyttö johtaa jatkuvaan kilpavarusteluun kyberturvallisuuden puolustajien ja kyberrikollisten välillä, kun kumpikin osapuoli pyrkii hyödyntämään tekoälyä vastustajan kukistamiseksi.⁷ AI-tietoturvajärjestelmät edellyttävät myös usein pääsyä valtaisiin tietomääriin ja arkaluonteisiin tietoihin, jolloin tarvitaan nykyistä vahvempia käytäntöjä varmistamaan näiden järjestelmien eettinen ja vastuullinen käyttö.¹⁰

Mahdolliset vaikutukset

Pitkällä aikavälillä tekoälyn käyttöä kyberturvallisuudessa leimaa jatkuva innovaation ja sopeutumisen kierre. Kehittyneiden AI-työkalujen ollessa yhä helpommin jokaisen saatavilla, kyberrikolliset hyödyntävät tekoälyä enenevässä määrin pahansuopiin tarkoituksiin, kuten edistyneiden haittaohjelmien luomiseen, tiedonkalasteluun ja turvallisuusjärjestelmien ohittamiseen.

Tämä johtaa ennen pitkää yhä haastavampaan toimintaympäristöön, jossa kyberturvallisuus joutuu toistuvasti koetukselle ja muuntautumaan uudenlaisten uhkien edessä.^{9,7} Kun kyberturvallisuuteen yhdistetään tekoälyn lisäksi muita nousevia teknologioita, kuten kvanttilaskentaa, lohkoketjuja ja esineiden internetiä, on mahdollista saada aikaan entistä vahvempia ja kattavampia tietoturvaratkaisuja, mutta myös uusia ja monimutkaisempia haasteita.

2 Uudenlaisen älykkyyden aikakausi



Uudenlaisen älykkyyden aikakausi

● ○ ○ 2.1 JOHDANTO MEGATRENDIIN

Uudenlaisen älykkyyden aikakausi on teknologisen kehityksen murrosvaihe, jota kuvaa edistyskellisen teknologioiden, kuten tekoälyn, kvanttitekniikan, koneoppimisen ja laajojen dataverkkojen integraatio. Niiden kyky simuloida ja tehostaa ihmisen kognitiivisia toimintoja tuo mukanaan merkittäviä muutoksia maailmanlaajuiseen teknologiseen kehitykseen.

Tämän aikakauden aikana tekoälyn merkitys sekä työkaluna että poikkeuksellisen innovaation ajurina korostuu, vaikuttaen kaikkeen liiketoimintamalleista poliittisiin strategioihin. Tekoälyn integrointi eri aloille muuttaa vakiintuneita käytäntöjä esimerkiksi päätöksenteossa, parantaen samalla tehokkuutta ja tarjoten uusia näkökulmia ongelmanratkaisuun. Kvanttitietokoneiden ennennäkemätön laskentateho taas tehostaa esimerkiksi kryptografian sovelluksia, materiaalitieteitä sekä monimutkaisten järjestelmien mallinnusta – samalla myös turvallisuuden ja tieteellisen tutkimuksen perusteet tulevat mullistumaan perustavanlaatuisesti. Myös algoritmit ja mikropiirit kehittyvät yhä monimutkaisemmiksi, jolloin tekoälyjärjestelmät kykenevät oppimaan ja mukauttamaan toimintaansa tavalla, johon vain ihmisäivot ovat kyenneet aiemmin.

Uudenlaisen älykkyyden mukana tulee myös uudenlaisia haasteita. Älykkäiden ja oppivien teknologioiden laajempi käyttöönotto herättää kriittisiä kysymyksiä esimerkiksi

tietosuojaan ja eettisyyteen liittyen. Kuten Maailman talousfoorumi (2023)¹¹ on todennut, on ratkaisevan tärkeää, että päättäjät kiinnittävät huomiota yhtälailla teknologisten edistysaskelten mahdollistamiseen kuin niiden mukana tulevien riskien ennakointiin ja hallintaan. Tarvitaan lainsäädäntöä, joka toisaalta kannustaa innovaatioon ja teknologiseen kehitykseen, mutta samalla suojaa dataa ja sen käyttäjiä¹². Uudet, älykkäät teknologiat tulevat vaikuttamaan laajasti myös työmarkkinoihin. McKinseyn raportin (2023)¹³ mukaan generatiivinen tekoäly ja muut älykkäät teknologiat voivat automatisoida työtehtäviä, jotka tällä hetkellä vievät 60–70 % työntekijöiden ajasta. Tämän muutoksen myötä on arvioitava uudelleen niin tarvittavia taitoja kuin koulutusjärjestelmiäkin, jotta uudenlaisten työtehtävien tuomiin haasteisiin sekä mahdollisuuksiin osataan varautua yhteiskunnallisella tasolla.

Uudenlaisen älykkyyden aikakausi tarjoaa ennennäkemättömiä mahdollisuuksia hyödyntää koneälyä ja lisääntynyttä laskentatahoa. Viisaasti käytettynä uusi teknologia voi auttaa vahvistamaan ihmiskunnan omaa potentiaalia ja ratkaisemaan monia aikamme kriittisimpiä haasteita. Uudenlainen älykkyys voi myös pahimmillaan lisätä yhteiskunnallisia jännitteitä, vähentää luottamusta digitaalisissa ympäristöissä ja heikentää päätöksenteon läpinäkyvyyttä.¹¹

Keskeiset teknologiatrendit

- **Pilviteknologia etälaskennan palveluksessa**
- **Generatiivinen AI luomassa sisältöjä**
- **Kvanttilaskenta moninkertaistamassa laskentatehoja**
- **Edge-laskenta hajautetussa datan prosessoinnissa**
- **Edistyneet puolijohteet eri teknologioiden käytössä**
- **Aivojen toiminnasta inspiroitunut laskentateknologia (neuromorphic computing) informaation käsittelijänä**

Digitaalisen luottamuksen merkitys kasvaa

● ● ○ 2.2 NYKYTEKNOLOGIA

Digitaalisen luottamuksen rooli korostuu maailmassa, joka on täynnä tietoa ja yhä enenevässä määrin riippuvainen digitaalisista teknologioista niin taloudessa, sosiaalisessa vuorovaikutuksessa kuin organisaatioiden toiminnassa. Maailman talousfoorumii (2023)¹⁴ määrittelee digitaalisen luottamuksen yksilöiden odotukseksi siitä, että organisaatiot, jotka vastaavat digitaalisista teknologioista ja palveluista, varmistavat kaikkien sidosryhmien etujen suojelun unohtamatta samalla yhteiskunnallisia arvoja ja odotuksia. Digitaalinen luottamus on olennainen osa digitaalitaloutta ja se vaikuttaa siihen, miten sekä yksilöt että organisaatiot suhtautuvat ja käyttävät digitaalisia palveluita, alustoja ja teknologioita. Digitaalinen luottamus on moniulotteinen käsite, jonka alle katsotaan kuuluvan teemoja, kuten vastuu ja valvonta, turvallisuus ja luotettavuus sekä teknologian inklusiivinen, eettinen ja vastuullinen käyttö.¹⁴

Erityisesti datan käsittelyn asianmukaisuus ja vinoutuneet algoritmit ovat herättäneet paljon keskustelua viime aikoina.¹⁵ Datan luotettavuuden varmistaminen edellyttää toimenpiteitä, kuten tarkkoja validointiprosesseja ja monipuolisten datalähteiden käyttöä, jotta vinoutumia ei pääsisi muodostumaan. Jos vääristyneitä algoritmeja ei syystä tai toisesta huomata ja korjata, ne voivat johtaa epäoikeudenmukaisiin ja virheellisiin tuloksiin sekä heikentää ihmisten luottamusta digitaalisia järjestelmiä kohtaan. Algoritmien kehityksessä on käytettävä jatkuvaa valvontaa

ja eettistä harkintaa. Prosesseja ja tekoälyn tuottamaa sisältöä koskevat avoimuusvaatimukset kasvavat jatkuvasti, mikä ilmenee lisääntyvänä AI-sääntelynä (esim. EU:n tekoälyasetus) ja yritysten pyrkimyksenä luoda vastuullisia viitekehyksiä tekoälyn hyödyntämiselle, jolloin siihen liittyviä riskejä voidaan minimoida.¹⁶

VTT on aktiivisesti mukana parantamassa eettisten ja yhteiskunnallisesti vastuullisten tekoälyteknologioiden kehitykseen liittyviä prosesseja. VTT käy monipuolista dialogia eri osapuolten kanssa, jotta tekoälyteknologioiden tulevaisuutta kehitetään eettisesti kestävämpään suuntaan. Datan tuottamisen ja hyödyntämisen lisääntyessä on yhä tärkeämpää asettaa datan käytön eettisyys ja vastuullisuus etusijalle. Näin varmistamme tulevaisuuden, jossa teknologia palvelee kaikkien etuja vahingoittamatta yksilöiden oikeuksia tai yhteiskunnallisia arvoja.¹⁷

”

Digitaalisen luottamuksen rooli korostuu maailmassa, joka on täynnä tietoa ja yhä enenevässä määrin riippuvainen digitaalisista teknologioista

”

Digitaalisen luottamuksen merkitys kasvaa

● ● ○ 2.2 NYKYTEKNOLOGIA

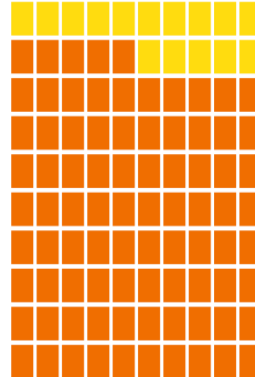
”

Prosesseja ja tekoälyn tuottamaa sisältöä koskevat avoimuusvaatimukset kasvavat jatkuvasti, mikä ilmenee lisääntyvänä AI-sääntelynä ja yritysten pyrkimyksenä luoda vastuullisia viitekehyksiä tekoälyn hyödyntämiselle.

”

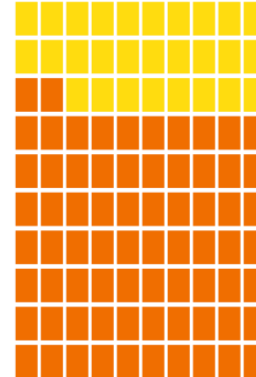
Kuluttajat haluaisivat tietää enemmän yritysten tieto- ja tekoälypolitiikasta ennen ostopäätöstä

” 85%



vastaajista haluaa tietää yrityksen **tietosuojakäytännöistä** ennen ostopäätöstä.”

” 72%



vastaajista haluaa tietää yrityksen **tekoälykäytännöistä** ennen ostopäätöstä.”

Muokattu lähteestä: McKinsey & Company (2022), Why digital trust truly matters

DNA:n potentiaali tiedon varastoinnissa

● ● ● 2.3 NOUSEVA TEKNOLOGIA



- **Kapasiteetti**
- **Kestävyys**
- **Energiätehokkuus**



- **DNA:n syntetisoinnin kustannukset**
- **DNA-tiedostojen haku**
- **Turvallisuuskysymykset ja regulaatio**

DNA datavarastona

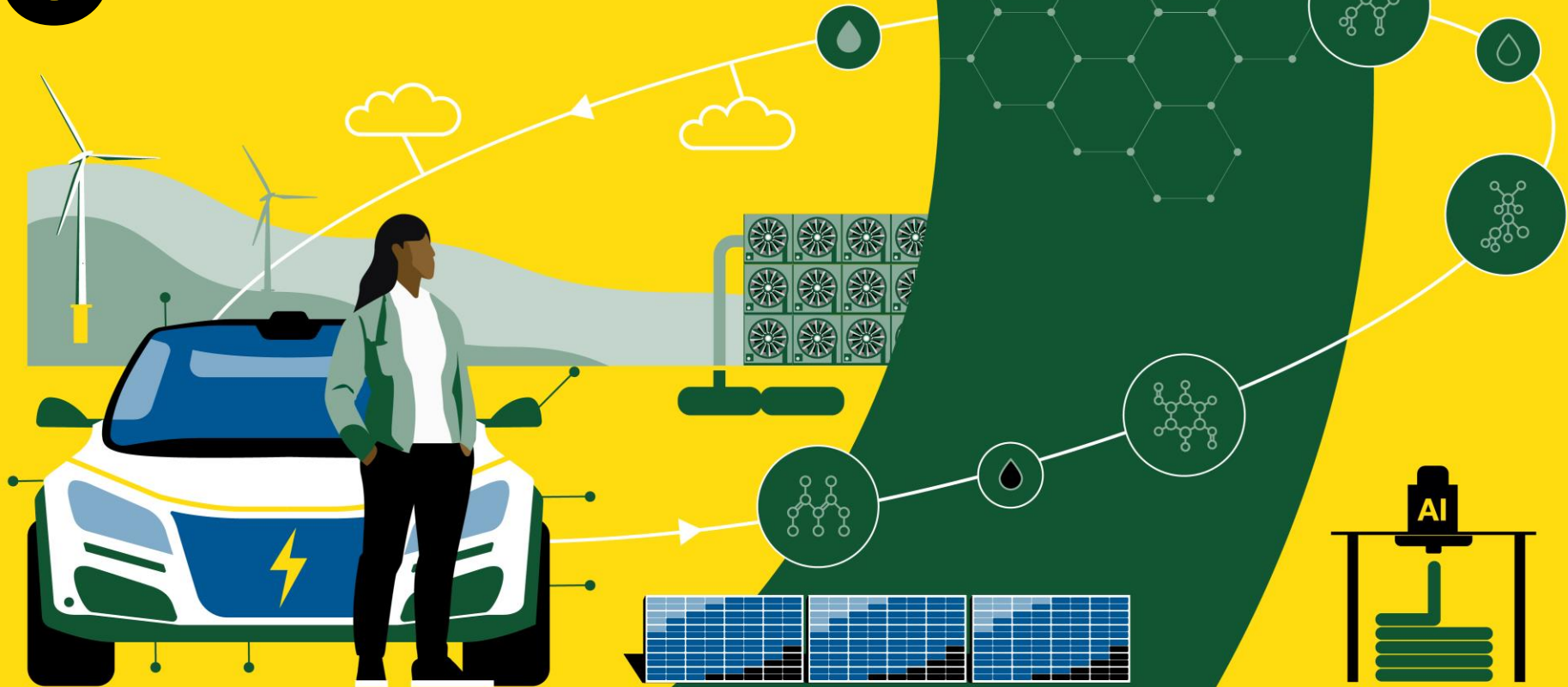
Digitaalisen tiedon määrän kasvaessa perinteiset tallennusratkaisut eivät enää riitä. Eksponentiaalisen datan kasvun aikakaudella tutkijat etsivät ratkaisuja datan käyttöön ja tallentamiseen luonnon omasta koodista, DNA:n emäsparista ja synteettistä DNA-juosteista. DNA, elämän peruskaava, tarjoaa poikkeuksellisen tiheyden ja vakauden tiedon tallentamiseen. Yksi gramma DNA:ta voi tallentaa noin 215 petatavua dataa, ja sen elinikä voi ainakin teoriassa olla jopa tuhansia vuosia. DNA:n kyky tallentaa valtavia määriä tietoa äärimmäisen pieneen tilaan tekeekin siitä varsin potentiaalisen ehdokkaan uuden sukupolven tallennuslujaksi:¹⁸ joidenkin arvioiden mukaan ”kahvikupillinen täynnä DNA:ta voisi teoriassa tallentaa maailman kaiken datan”.¹⁹

DNA-pohjaisen datatallennuksen parissa työskentelee maailmanlaajuisesti useita organisaatioita, kuten esimerkiksi Illuminan, Microsoftin, Twist Biosciencen ja Western Digitalin lokakuussa 2020 perustama DNA Data Storgare Alliance. Sen ensisijaisena tavoitteena on luoda datan varastointiin uusia standardeja, edistää ratkaisujen yhteensopivuutta sekä laatia tulevaisuuden DNA-datavarastoinnin tiekartta toimialalle. Lisäksi organisaatio pyrkii toteuttamaan käytännön esimerkkihankkeita eri markkinoilla ja teollisuudenaloilla.²⁰

Mahdolliset vaikutukset

Datan määrän ja sen tallentamisen valtava kasvu luo kysyntää uusille tallennusteknologioille. Statistan ennusteen mukaan vuoteen 2025 mennessä maailmanlaajuinen datan tuotanto ylittää 180 zettatavua. Se on valtava lisäys vuoden 2020 64,2 zettatavuun verrattuna.²¹ Lisäksi jopa 90 % maailmanlaajuisesta digitaalisesta informaatiosta on tuotettu vain muutaman viimeisen vuoden aikana, ja datan tuotannon vauhti kiihtyy koko ajan.¹⁸ DNA-datavarastoinnilla on lupaavia käyttökohteita monilla eri aloilla, kuten suurten datamäärien pitkäaikainen arkistointi, datan säilyttäminen ääriolosuhteissa sekä tiiviit tallennusratkaisut. Muun muassa genomikan ja terveydenhuollon kaltaisilla aloilla on huomattava tarve suurten datamäärien käytölle ja varastoinnille. Kun DNA-pohjainen datan varastointi kehittyy, voi sillä olla suuria vaikutuksia datan tallennukseen, rinnakkaisprosessointiin ja laskentaan.²²

3 Kohti kaiken kiertävyyttä



Kohti kaiken kiertävyyttä

3.1 JOHDANTO MEGATRENDIIN

Kestävyyden rajoja koetellaan yhä selvemmin ja syvä muutos materiaalien käytössä on käynnissä. Hallitustenvälisen ilmastomuutospaneelin, IPCC:n viimeisimmissä raporteissa korostetaan uudistavia ratkaisuja ilmastomuutoksen torjumiseksi sekä biologisen monimuotoisuuden suojelemiseksi.²³ Kuluneen 50 vuoden aikana luonnonvarojen käyttömme on yli kolminkertaistunut etenkin korkean tulotason maissa tapahtuvan ylikulutuksen seurauksena.²⁴ Vuoden 2023 Circularity Gap -raportti²⁵ osoittaa materiaalien globaalien kiertävyyden laskeneen kriittisesti 7,2 prosenttiin ja painottaa tarvetta pienentää ihmiskunnan materiaalijalanjälkeä sekä vähentää maapallon resurssien ylikäyttöä. Tällä hetkellä yli 90 % materiaaleista menee hukkaan, katoaa tai on sidottuna pitkäikäisiin infrastruktuureihin, kuten rakennuksiin ja koneisiin.²⁵

Jos aiempi kulutustrendi jatkuu samanlaisena, luonnonvarojen käyttö saattaa kasvaa lähes 60 % vuodesta 2020 vuoteen 2060, kärjistäen resurssien käytön epätasapainoa entisestään.²⁴ Tarve systeemille muutokselle, jossa kiertotalouden ratkaisut ovat sääntö eikä poikkeus, on valtava. Kestävien ja joustavien järjestelmien kehittämiseksi on siirryttävä perinteisistä lineaarisista 'ota-valmista-hävitä'-toimitusketjuista vastuulliseen kiertotalouteen. Tämä tarkoittaa jätteiden ja saasteiden poistamista, materiaalien ja tuotteiden kierrätystä sekä luonnon hyvinvoinnin elvyttämistä.²⁶

Vaikka "kaiken kiertävyys" edellyttää vielä uutta sääntelyä sekä merkittäviä käyttäytymismallien muutoksia, ovat lukuisat yritykset jo ottaneet kiertotalouden vahvasti osaksi strategiaansa, tehostaen yhteistyötä eri toimialojen välillä. Esimerkkinä tästä on PACE-verkosto²⁷, jossa yli 100 organisaatiota on tullut yhteen kehittämään kiertotalouden toimintaohjelmaa²⁸ arvioidakseen kiertävien ratkaisujen potentiaalia ja vaikuttavuutta. Muutoksia tehdään niin ruokajärjestelmissä, energiantuotannossa, tuote- ja rakennusteollisuudessa kuin liikenteessä, joissa materiaalitieteen ja prosessisuunnittelun innovaatiot luovat aivan uusia liiketoimintamalleja.²⁹

Bioinspiroitunut suunnittelu, uudistava maatalous, hidas muoti ja modulaarinen rakentaminen ovat vain muutamia esimerkkejä askeleista kohti kestävämpiä arvoketjuja, parempaa ilmastohallintaa ja tehokkaampaa biodiversiteetin suojelua. Kansainvälisen resurssipaneelin ja YK:n ympäristöohjelman mukaan, muuttamalla toimintaamme kestävästä kehitystä tukevaksi voimme vähentää resurssien käyttöä 30 %, energian kysyntää 27 % ja kasvihuonekaasupäästöjä jopa 83 % vuoteen 2060 mennessä, tukien samalla talouskasvua.²⁴

Keskeiset teknologiatrendit

- **Hiilidioksidin talteenotto, käyttö & varastointi ja kriittisten raaka-aineiden kierrätys resurssien säästämässä**
- **Bioteknologia, edistyneet materiaalit ja vihreä kemia vastuullisina vaihtoehtoina**
- **Tekoälypohjainen materiaali-innovaatio resurssien monipuolistamisessa**
- **Täsmäviljely, 3D-tulostus ja sivuvirtojen hyödyntäminen materiaalitehokkaassa tuotannossa**
- **Älykkäät verkot, jätteiden energiakäyttö, uusiutuvat lähteet ja kestävä energian varastointi vihreässä energiahuollossa**

Uusiutuvat ratkaisut niukkuuden maailmassa

● ● ○ 3.2 NYKYTEKNOLOGIA

Biotalous perustuu maalta ja mereltä peräisin olevien uusiutuvien resurssien käyttöön elintarvikkeiden, materiaalien ja energian tuottamisessa.³⁰ Biomassan raaka-aineet, jalostusprosessit ja biotuotteet ovat toisiinsa kietoutuvia biotalouden osia, jotka tukevat resurssitehokkuutta sekä kestäviä kiertoratkaisuja. Biotalousella on keskeinen rooli fossiilisista materiaaleista irtautumisessa, kemianteollisuuden hiilijalanjäljen pienentämisessä sekä kestävien hiilikiertojen rakentamisessa.³¹

Biologisista tai uusiutuvista materiaaleista valmistetuille ratkaisuille on nopeasti kasvavaa kysyntää, kun etsitään vaihtoehtoja perinteisille, uusiutumattomille ja fossiilipohjaisille resursseille. Maailmanlaajuisten biotuotemarkkinoiden ennustetaan kasvavan vuoden 2022 10,3 biljoonasta 13,7 biljoonaan Yhdysvaltain dollariin vuoteen 2027 mennessä. Yksinomaan biomassan kysynnän odotetaan kasvavan vuoden 2022 25,6 miljardista tonnista 35,5 miljardiin tonniin vuoteen 2027 mennessä.³²

VTT Bioruukki³³ on yksi Euroopan suurimmista innovatiivisten biotuotteiden sekä kierrätettyjen raaka-aineiden open access -pilotointialustoista. Pilottilaitoksen infrastruktuuri mahdollistaa yrityksille termokemiallisiin muunnoksiin, teolliseen kemiaan, hydrometallurgiaan ja biomassan käsittelyyn perustuvien vähähiilisten biotuotteiden kehittämisen ja skaalaamisen.

Bioruukin käyttökohteet vaihtelevat jätteen kierrätyksestä metallien talteenottoon, kestäviin kemikaaleihin, selluloosakuituihin ja pinnoitteisiin, vähähiilisiin energiaratkaisuihin sekä biopohjaisiin pakkausmateriaaleihin. Näin eri pilotointialustat tukevat osaltaan yhteiskuntamme syväluotaavien haasteiden ratkaisemista.

Kun teollisuuden on sopeuduttava resurssien niukkuuteen, sääntelypainisiin, kuluttajien muuttuviin mieltymyksiin ja teknologiseen kehitykseen, kasvaa kysyntä biopohjaisille ratkaisuille. Teknologian kehityksestä ja kasvavasta markkinakysynnästä huolimatta tuotannon skaalautuvuutta, toimitusketjun hallintaa ja sääntelyä on edelleen kehitettävä määrätietoisesti, jotta biopohjaisten ratkaisujen potentiaali todella realisoituu.³⁴

”

Uusiutuvista materiaaleista valmistetuille ratkaisuille on nopeasti kasvavaa kysyntää, kun etsitään vaihtoehtoja perinteisille, uusiutumattomille ja fossiilipohjaisille resursseille.

”

Uusiutuvat ratkaisut niukkuuden maailmassa

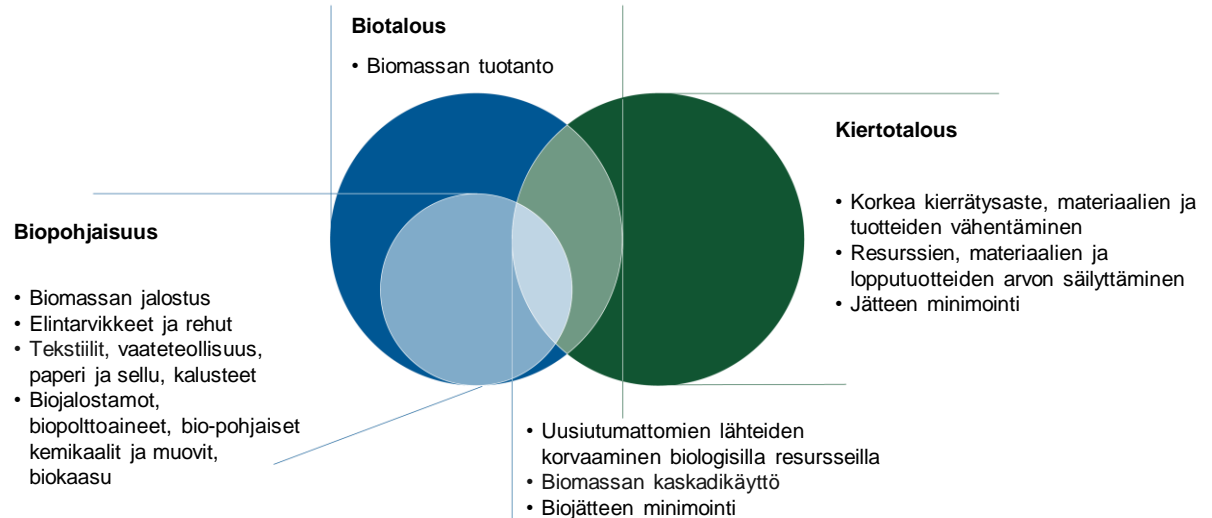
● ● ○ 3.2 NYKYTEKNOLOGIA

”

Tuotannon skaalautuvuutta, toimitusketjun hallintaa ja sääntelyä on edelleen kehitettävä määrätietoisesti, jotta biopohjaisten ratkaisujen potentiaali todella realisoituu.

”

Vihreä talous



Muokattu lähteestä: Kardung et al (2021), Development of the Circular Bioeconomy: Drivers and Indicators

Vettä ilmasta

● ● ● 3.3 NOUSEVA TEKNOLOGIA



- **Veden säästö ja saavutettavuus**
- **Kuivuuden hallinta ja metsäpalojen vähentäminen**
- **Maatalouden resilienssi**



- **Skaalautuvuuden haasteet ja tehottomuus**
- **Veden laatu ja ilmansaasteet**
- **Muut kilpailevat vesilähteet**

Veden talteenotto ilmasta

Veden talteenotto ilmasta (atmospheric water harvesting) on prosessi, jossa vettä kerätään joko jäädyttämällä ilma sen kastepisteen alapuolelle tai käyttämällä materiaalia, joka voi imeä kosteutta ilmasta. Eri menetelmät vaihtelevat veden tiivistämisestä, sorptiosta ja sumunkeruusta sadepilvien kylvämiseen. Jokaisella menetelmällä on omat etunsa ja haittansa, jotka vaihtelevat paikallisesta ilmastosta, kosteudesta, lämpötilasta ja energian saatavuudesta riippuen.³⁷ Esimerkiksi sadepilvien kylväminen, jossa keinotekoisia ytimiä syötetään pilviin, voi tarjota joustavan ja kustannustehokkaan keinon säänmuokkaukseen eri pilvityypeissä ja sääolosuhteissa. Sen tehokkuus riippuu kuitenkin luonnollisesta pilvien vaihtelusta sekä niin sanottujen kylvöaineiden saatavuudesta. Menetelmällä voi myös olla ei-toivottuja seurauksia, kuten säämallien muuttuminen ja vaikutukset kylvetyn alueen vedenkiertoon.³⁸

Mahdolliset vaikutukset

Veden talteenottoa ilmasta voidaan hyödyntää monipuolisesti esimerkiksi asuin- ja liikerakennuksissa, maataloudessa, katastrofiavussa, sotilastoiminnassa sekä alueilla, jotka ovat alttiita kuivuudelle. Sen avulla voidaan myös vähentää riippuvuutta kallista ja epävarmasta veden kuljetuksen ja varastoinnin infrastruktuurista. Veden kerääminen ilmasta tukisi myös ympäristövaikutusten ja kustannusten pienentämistä, kytkeytymällä uusiutuvien energialähteiden, kuten aurinko- ja tuulienergian käyttöön.

Jopa neljä miljardia ihmistä kokee vakavaa vesipulaa vähintään yhden kuukauden ajan vuodessa, ja yli kaksi miljardia ihmistä asuu maissa, joissa vesihuolto on riittämätöntä.³⁹ Vuoteen 2025 mennessä jo puolet maailman väestöstä saattaa elää alueilla, joissa vesipula on ongelma.⁴⁰ Ottamalla vettä talteen ilmasta voidaan saada juomavettä silloinkin, kun muut vesilähteet ovat niukkoja tai saastuneita. Näiden teknologioiden laajempi käyttöönotto vaatii kuitenkin edelleen merkittävää tutkimusta ja kehitystyötä.^{41, 42}

4 Vuorovaikutuksen uudet ulottuvuudet



Vuorovaikutuksen uudet ulottuvuudet

4.1 JOHDANTO MEGATRENDIIN

Sosiaalisen eriarvoisuuden, pandemioiden ja ilmastomuutoksen kaltaisten globaalien ja monimutkaisen haasteiden ratkaiseminen vaatii rajat, sektorit ja tieteenalat ylittäviä uusia lähestymistapoja, jotka kehittävät ajattelua, yhteistyötä ja innovointia. Vuorovaikutuksen uusilla ulottuvuuksilla on ratkaiseva rooli tiedon, kokemusten ja resurssien tuottamisessa, käyttöön saamisessa sekä levittämisessä paikasta tai ajasta riippumatta. Digitaalisen ja fyysisen maailman yhdistävät teknologiat, kuten laajennettu todellisuus (extended reality, XR), metaversumi ja digitaaliset kaksoset mullistavat tavan, jolla voimme olla tulevaisuudessa vuorovaikutuksessa digitaalisen sisällön kanssa.⁴³

Yhdistämällä virtuaalisen ja todellisen maailman laajennettu todellisuus tarjoaa immersiiivisiä kokemuksia, jotka vaikuttavat esimerkiksi koulutuksen, viihteen ja oppimisen tulevaisuuteen. XR-tekniikan avulla käyttäjät voivat kehittää taitojaan tilanteissa, joiden kokeminen reaali maailmassa olisi muuten joko mahdotonta tai ainakin hyvin kallista. Laajennetun todellisuuden lisäksi metaversumin kolmiulotteinen ja virtuaalinen maailma, jossa fyysinen ja digitaalinen todellisuus yhdistyvät, luo uusia mahdollisuuksia yhteistyölle, vihteelle ja liiketoiminnalle.

Edellä mainittuja teknologioita täydentävät digitaaliset kaksoset, jotka mahdollistavat virtuaalisten rinnakkaismallien luomisen fyysisistä järjestelmistä. Digitaalisilla kaksosilla voidaan esimerkiksi ennakoivasti parantaa suorituskykyä ja resurssien hallintaa sekä ylläpitää muun muassa teollisen tuotannon, kaupunkisuunnittelun ja terveydenhuollon järjestelmiä. Yhdessä nämä teknologiat edustavat merkittävää harppausta siinä, miten olemme vuorovaikutuksessa digitaalisen ja fyysisen ympäristömme kanssa, ja miten hallitsemme niitä.

Uudet teknologiat mahdollistavat siirtymän kohti integroituneempia ja tehokkaampia digitaalisia ympäristöjä. Samalla ne muuttavat perustavanlaatuisesti sitä, miten olemme vuorovaikutuksessa sekä teknologioiden että toistemme kanssa, ja tarjoavat mahdollisuuksia innovaatioihin ja kasvuun eri aloilla.⁴⁴ Nopea uusien teknologioiden integrointi tuo kuitenkin mukanaan myös haasteita, kuten mahdolliset kielteiset vaikutukset aivojen toimintaan ja vastaanotettavan tietomäärän valtava kasvu.^{44, 45} Tasapainon löytäminen uhkien ja mahdollisuuksien välillä onkin ratkaisevaa myös tämän trendin potentiaalin laajamittaisessa hyödyntämisessä.

Keskeiset teknologiatrendit

- **Metaversumi** virtuaalisille jaetuille tiloille
- **Laajennettu todellisuus (Extended Reality, XR)** immersiiivisille kokemuksille ja vuorovaikutukselle
- **Digitaaliset kaksoset** virtuaalisten rinnakkaismallien luomiseen
- **Web3** seuraavan sukupolven hajautetulle internetille
- **Haptiset teknologiat** kosketusaistimusten simulointiin virtuaaliympäristössä
- **Lohkoketju** turvallisille ja läpinäkyville transaktioille

Metaversumin vaikutus teollisuuteen

● ● ○ 4.2 NYKYTEKNOLOGIA

Metaversumi on immerstiivinen digitaalinen tila, joka yhdistää saumattomasti virtuaalisen ja lisätyn todellisuuden toisiinsa. Se on muuntuva digitaalinen ympäristö, joka ylittää perinteiset verkkokokemukset ja tarjoaa huomattavia mahdollisuuksia monilla eri aloilla. Metaversumia voidaan hyödyntää esimerkiksi kuluttaja-, teollisuus- ja yrityskäytössä, kommunikoinnin ja yhteistyön uudelleenmuotoilussa sekä prosessiteollisuudessa. Lisäksi metaversumi tarjoaa mahdollisuuden kehittää innovatiivisia liiketoimintamalleja sekä luoda uusia tapoja kaupankäyntiin ja maksamiseen. Muun muassa sovellusten määrän voimakkaan kasvun ja yritysten merkittävien investointien vuoksi McKinsey (2022)⁴⁶ ennustaa, että metaversumin potentiaalinen taloudellinen arvo voisi saavuttaa jopa 4–5 biljoonaa Yhdysvaltain dollaria vuoteen 2030 mennessä.

Teollinen metaversumi yhdistää digitaalisen ja fyysisen maailman eri teollisuuden aloilla ja sen avulla pyritään muun muassa tehostamaan reaaliaikaista yhteistyötä, datan analysointia ja tekoälypohjaista ongelmanratkaisua. Teollinen metaversumi integroi reaaliajassa erilaisia teknologioita, työntekijöiden asiantuntemusta, prosesseja, materiaaleja ja dataa. Tehokkuuden parantamisen ja innovaatioiden edistämisen lisäksi se voi myös auttaa lieventämään esimerkiksi teollisuusympäristöihin liittyviä negatiivisia ympäristövaikutuksia ja sosiaalisia haittoja.^{47,48}

VTT on aktiivinen myös tällä alalla. HUMIVERSE⁴⁷ -projektissa VTT on uudistanut yhdessä valitun yritysjoukon kanssa teollista työntekoa työntekijä edellä. Projektin tarkoituksena oli selvittää metaversumin vaikutuksia työvoimaintensivisiin aloihin, kuten valmistukseen, ylläpitoon, rakentamiseen, kuljetukseen ja logistiikkaan. Sen tuloksena kehitettiin skaalautuvia ja innovatiivisia ratkaisuja, jotka vastaavat sekä kotimaisten että globaalien markkinoiden tarpeisiin.⁴⁷

Maailman talousfoorumi (2023)⁴⁸ ennustaa, että seuraavien 5–10 vuoden aikana eri teollisuudenalojen toimijoille tarjoutuu merkittäviä mahdollisuuksia laajentaa ja integroida erilaisia sovelluksia yhtenäiseen teolliseen metaversumiin.

”

Metaversumin potentiaalinen taloudellinen arvo voisi saavuttaa jopa 4–5 biljoonaa Yhdysvaltain dollaria vuoteen 2030 mennessä.

”

Metaversumin vaikutus teollisuuteen

● ● ○ 4.2 NYKYTEKNOLOGIA

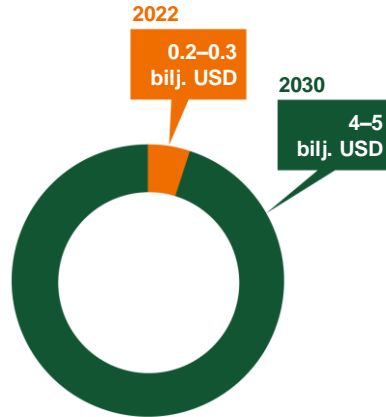
”

Teollinen metaversumi voi auttaa lieventämään esimerkiksi teollisuusympäristöihin liittyviä negatiivisia ympäristövaikutuksia ja sosiaalisia haittoja.

”

Vuoteen 2030 mennessä metaversumin ennustetaan tuottavan 4–5 bilj. Yhdysvaltain dollaria kuluttaja- ja yrityssovelluksissa.

Metaversen markkinapotentiaali vuoteen 2030 mennessä, bilj. Yhdysvaltain dollaria



Suhteellinen sovellettavuus, 2030

● Vähäinen ● Keskitaso ● Korkea

- | | |
|------------------------|---------------------------|
| ● Virtuaaliomaisuus | ● Koulutus |
| ● Pelit | ● Terveys ja fitness |
| ● VR/AR-laitteisto | ● Mainonta |
| ● Verkkokauppa | ● Digimedia |
| ● Live-viihde | |
| ● Pankkitoiminta | ● Paikallishallinto |
| ● Rakentaminen | ● Telekommunikaatio |
| ● Komponenttivalmistus | ● Liikenne |
| ● Koulutus | ● Infrastruktuuripalvelut |
| ● Keskushallinto | ● Tukkauppa |
| ● Terveysthuolto | ● Media |
| ● Resurssiteollisuus | ● Kuluttajapalvelut |
| ● Asiantuntijapalvelut | ● Prosessiteollisuus |
| ● Vähittäiskauppa | ● Vakuutus |
| ● Sijoitustoiminta | |

Muutettu lähteestä: McKinsey & Company (2022): Value creation in the metaverse

Bioresponsiiviset virtuaalimaailmat

● ● ● 4.3 NOUSEVA TEKNOLOGIA



- **Parempi immersio**
- **Personoidut ja adaptiiviset kokemukset**
- **Parempi tehokkuus ja lopputulokset**



- **Hinta ja saavutettavuus**
- **Rajallisesti näyttöjä ja tutkimusta**
- **Eettiset kysymykset ja regulaatio**

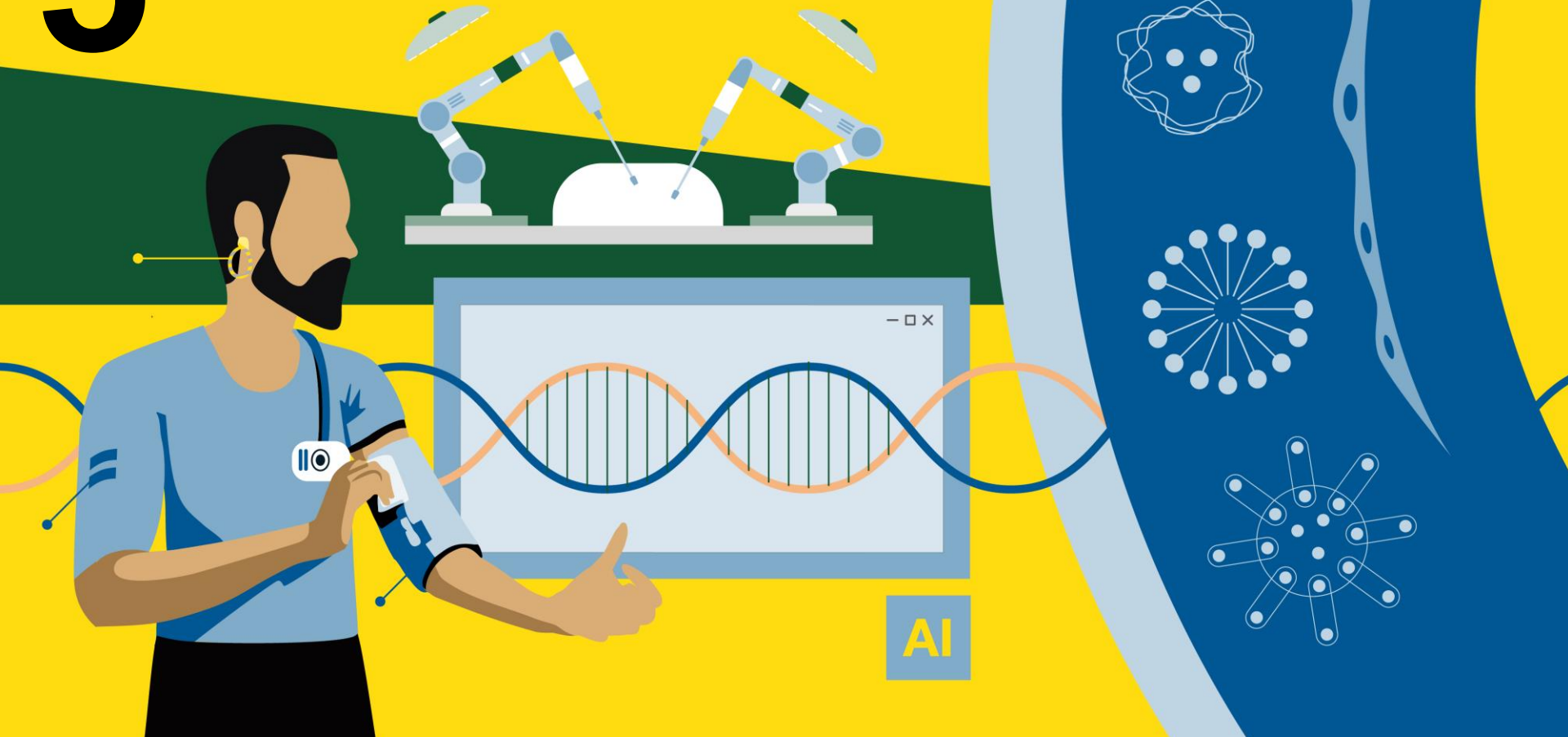
Bioresponsiivinen VR

Bioresponsiivinen VR on virtuaalitodellisuus, joka pystyy muokkautumaan dynaamisesti ja välittömästi hyödyntämällä antureita ja käyttäjän fysiologisia tietoja, kuten sydämen sykettä, aivotoimintaa tai ihon virranjohtokykyä. Reagoimalla aktiivisesti käyttäjän emotionaaliin ja kognitiivisiin tiloihin sekä ottamalla huomioon myös tämän mieltymykset ja tavoitteet, bioresponsiivisen virtuaalitodellisuuden avulla voidaan tehostaa eläytymistä ja sitoutuneisuutta virtuaaliseen maailmaan.⁴⁹ Virtuaaliympäristöjä voidaan esimerkiksi muokata ja säätää käyttäjän mielialan perusteella. Tällaisia ovat esimerkiksi virtuaaliympäristö, jossa erilaiset ääni- ja visuaaliset elementit voidaan luoda reaaliajassa käyttäjän aivoaktiivisuuden perusteella,⁵⁰ tai peli, joka opettaa käyttäjälle hengitystekniikkaa ahdistuksen lieventämiseksi.⁵¹ Tällainen järjestelmä voi esimerkiksi tarjota reaaliaikaisen vasteen ihmisen fysiologisesta tilasta, kuten stressistä, ahdistuksesta tai huomiokyvyn tasoista. Bioresponsiivinen VR ei ole vain tulevaisuuden konsepti, sillä esimerkiksi Varjo ja OpenBCI ovat kehittäneet tuotteen, joka on suunniteltu yhdistämään virtuaalitodellisuus ja neuroteknologia toisiinsa.⁵⁰

Mahdolliset vaikutukset

Bioresponsiivisen virtuaalitodellisuuden tai metaversumin vaikutukset ovat merkittäviä ja niiden myötä esimerkiksi ihmistenvälinen vuorovaikutus voi saada täysin uusia muotoja. Teknologia, joka tarjoaa yksilöllistä ja mukautuvaa sisältöä käyttäjälleen, muuttaa niin viihdesisältöjä, pelaamista, koulutusta kuin terveydenhuoltoa. Biometrisellä vasteella tehostetun immersion avulla voitaisiin esimerkiksi luoda entistä kiinnostavampia ja elämyksellisempiä virtuaalikokemuksia. Teknologian potentiaaliset vaikutukset riippuvat kuitenkin siitä, omaksuvatko ihmiset sen laajalti käyttöönsä, teknologisesta kehityksestä sekä yksityisyyden suojaan liittyvien ongelmakohtien ratkaisemisesta.⁴⁹ Lisäksi ala on vasta kehittymässä, joten esimerkiksi bioresponsiivisen virtuaalitodellisuuden vaikutuksia koskeva tutkimus on vielä vähäistä.

5 Terveysten transformaatio



AI

Terveyden transformaatio

● ○ ○ 5.1 JOHDANTO MEGATRENDIIN

Teknologiset innovaatiot, lisääntynyt datan käyttö, väestörakenteen muutokset sekä tarve yhä henkilökohtaisemmalle ja kokonaisvaltaisemmalle hoidolle ovat sysänneet terveydenhuollon vääjäämättömästi muutoksen tielle. Maailmanlaajuisesti yli 65-vuotiaiden määrän odotetaan kaksinkertaistuvan 1,6 miljardiin vuoteen 2050 mennessä.⁵²

Ikääntyvästä väestöstä huolehtiminen vaatii uusia tasapainottavia ratkaisuja kattavan terveydenhuollon ja henkilökohtaisen terveyden edistämisen välille. Viime vuosina terveydenhuoltoa kuormittaneet pandemiat ja talouden taantumat ovat paljastaneet hoitojärjestelmien globaalien epätasa-arvoisuuden sekä heikentäneet hallitusten mahdollisuuksia ylläpitää terveydenhuollon resursseja pandemian aikaisella tasolla.⁵³

Haasteista huolimatta terveydenhuollossa on saavutettu myös paljon: maailman lapsikuolleisuus on puolittunut ja äitikuolleisuus laskenut kolmanneksella vuosituhanen alusta lähtien. Monien tartuntatautien, kuten malarian, esiintyvyyttä sekä ei-tarttuvien tautien tai vammojen aiheuttaman ennenaikaisen kuoleman riski on vähentynyt merkittävästi. Globaali eliniänodote on noussut vajaassa kahdessakymmenessä vuodessa 67 ikävuodesta 73 ikävuoteen vuosen 2000–2019 välillä.⁵⁴

Positiivisen kehityksen taustalla on ollut useita yleisterveysteen vaikuttaneita edistysaskelia, kuten

terveydenhuollon parempi saavutettavuus. Digitalisaatio on mahdollistanut etäkonsultaation ja -seurannan sekä erilaisten verkkoalustojen käytön, luoden uusia mahdollisuuksia innovatiiviselle hoidolle. Myös mielenterveys on vähitellen tunnustettu perustavanlaatuiseksi terveyden osa-alueeksi, mikä on avannut ovia entistä kokonaisvaltaisemmalle hoidolle.

Niin sanotut vieritestausten menetelmät (point-of-care), puettavat laitteet sekä ei-invasiiviset testit ovat esimerkkejä ratkaisuista kohti joustavampaa terveydenhuoltoa. Tekoälypohjainen diagnostiikka, lohkoketjuratkaisut sekä terveysalan esineiden internet (Internet of Medical Things, IoMT) muuttavat tapojamme välittää terveystietoa, kehittävät diagnostiikkaa, sekä mahdollistavat älykkäiden sairaaloiden rakentamisen tukien samalla ikäihmisten terveyttä ja resilienssiä.

Uudet teknologiat tarjoavatkin ennennäkemättömiä mahdollisuuksia terveydenhuollon saralla. Ne auttavat meitä varautumaan paremmin pandemioiden, ennakoimaan tulevaa, lisäämään potilaiden toimintamahdollisuuksia sekä tarjoamaan yksilöllistettyä ja kohdennettua terveydenhoitoa. Teknologian avulla voimme tehdä terveyspalveluista entistä saavutettavampia, edullisempia ja laadukkaampia sijainnista riippumatta. Samalla yhteiskunnan ja ympäristön resilienssi kasvaa, kuten myös kykymme vastata muuttuviin haasteisiin yhteiskuntana entistä ketterämmin.

Keskeiset teknologiatrendit

- Puettavat laitteet ja sensorit ennaltaehkäisevässä hoidossa
- Nano- ja biomateriaalit lääkeaineiden kantajina, diagnostiikassa ja implanteissa
- Uuden sukupolven DNA-sekvensointi ja CRISPR kohdennetussa hoidossa
- Robotiikka kirurgiassa, kuntoutuksessa ja etäsairaanhoidossa
- Nutrigenomiikka yksilöllistettyyn ja optimoituun ravitsemukseen
- Regeneratiivinen lääketiede kudosten ja elinten kehittämisessä

Joustava mittaus modernin hoidon kulmakivenä

● ● ○ 5.2 NYKYTEKNOLOGIA

Pyrkiessämme kohti kokonaisvaltaista, ennakoivaa ja saavutettavaa terveydenhoitoa nousee joustava elektroniikka keskeiseen rooliin uusien hoitomuotojen mahdollistajana. Lähes huomaamattomia, taipuisia ja venyviä antureita voidaan käyttää päälle puettavissa laitteissa tai suoraan iholla, mikä mahdollistaa jatkuvan henkilökohtaisen terveyden seurannan. Joustava elektroniikka on yksi nopeimmin kasvavista terveysalan sovellusalueista ja sen markkinoiden odotetaan kasvavan jopa 14,1 miljardiin Yhdysvaltain dollariin vuonna 2026.⁵⁵

Biosignaalien mittausratkaisuilla, puettavilla laitteilla ja älykkäillä laastareilla on lukuisia käyttömahdollisuuksia aina ihotatuoinneista älytekstiileihin. Kun pienet elektroniset osat valmistetaan uusiutuvista materiaaleista, irrotettavina ja uudelleenkäytettävänä, joustava elektroniikka voi myös olla elektronisen jätteen sekä kriittisten raaka-aineiden ongelmat huomioiva ympäristövastuullinen valinta. Tutkijat etsivät keinoja tehdä laitteista entistä kestävämpiä esimerkiksi vaihtoehtoisten energialähteiden, kuten aurinkoenergian, käytöllä sekä vähentämällä kertakäyttöpäristöjen ja litiumin käyttöä.

Huomaamattoman ja käyttäjäystävällisen terveysdatan mittaamisen saralla on jo saavutettu paljon, ja puettavien laitteiden käyttäjät sekä terveydenhuollon ammattilaiset saavat parhaillaan näistä laitteista laaja-alaista tietoa ihmisten terveydentilasta.

VTT:n rullalta rullalle -tuotantomenetelmä⁵⁶ mahdollistaa mukautuvan ja joustavan elektroniikan teollisen valmistamisen. Pitkälle automatisoidulla menetelmällä saavutetaan korkea tuotantokapasiteetti kustannustehokkaasti, ja uusilla kehittyneillä antureilla käyttäjät voivat kerätä entistä enemmän terveystietoa laitteistaan. Esimerkiksi VTT:n laastarin kaltainen ratkaisu, FlexDot, syöttää Bluetooth-yhteydellä liike- ja lämpötiladataa käyttäjän älypuhelinsovellukseen.

Muita VTT:n sensoriratkaisuja ovat muun muassa älyvaatteet, jotka mittaavat hengitystä, nanoselluloosasta valmistetut biohajoavat EKG-laastarit sekä älytatuoinnit, jotka voivat mitata kortisolia ja laktaattia hiestä.⁵⁷

Nämä uudet teknologiat saattavat pian jättää monet perinteiset laboratoriotestit historiaan ja syrjäyttää myös nopeasti yleistyneet älykellot. Langattomiin yhteyksiin perustuvat ratkaisut mahdollistavat terveystietojen välittömän keräämisen ja siten nopeamman ja automatisoidumman analyysin. Kohtuuhintaisia älylaastareita saattaa olla kaupallisesti saatavilla jo 1–5 vuoden kuluessa. Joustavan mittauksen mahdollisuudet terveyden ja hyvinvoinnin alalla näyttävätkin loputtomilta.

”

Joustava elektroniikka on yksi nopeimmin kasvavista terveysalan sovellusalueista ja sen markkinoiden odotetaan kasvavan jopa 14,1 miljardiin Yhdysvaltain dollariin vuonna 2026.

”

Joustava mittaus modernin hoidon kulmakivenä

● ● ○ 5.2 NYKYTEKNOLOGIA

”

Kohtuuhintaisia älylaastareita saattaa olla kaupallisesti saatavilla jo 1–5 vuoden kuluessa.

”

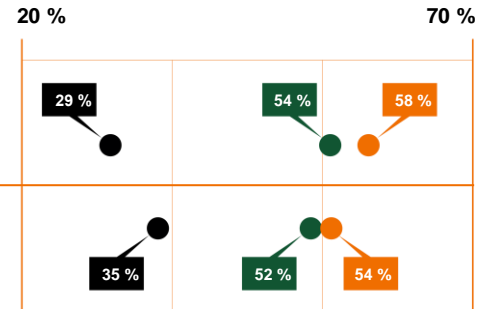
Z-sukupolvi ja milleniaalit ovat kiinnostuneita tulevaisuuden teknologisista terveysmahdollisuuksista - vanhemmat sukupolvet vielä epäröivät.

Ilmoittaa olevansa erittäin/jokseenkin kiinnostunut seuraavista kokemuksista seuraavien 3–5 vuoden aikana, %

● Z-sukupolvi (14–26 v.) ● Milleniaalit (27–40 v.) ● X-sukupolvi (41– v.)

”Käyttävät älykkäitä, toisiinsa yhteydessä olevien digitaalisten lisälaitteiden verkostoa, jotka keräävät ja yhdistävät terveys- ja kuntoilutietoja kokonaisvaltaisemman hyvinvointikuvan saamiseksi.”

”Käyttävät lääketieteellisen tason älykkäitä laastareita, jotka kiinnittyvät ihoon ja mittaavat terveysdataa (esim. verensokeri, pulssi, hengitystiheys, sydämen toiminta).”



Muokattu lähteestä: Deloitte (2023), Connected consumer study

Teknologia ihmisen jatkeena

● ● ● 5.3 NOUSEVA TEKNOLOGIA



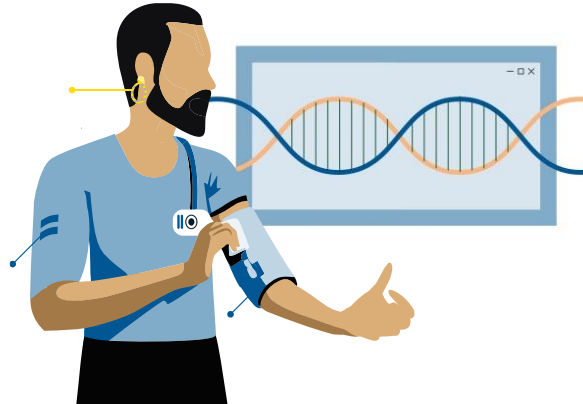
- **Ajatuksella ohjattavat vaatteet ja proteesit**
- **Neuropalaute mielenterveyden hoitoon**
- **Parannettu kommunikaatio ja tehostettu oppiminen**



- **Tekniset haasteet, tietoturva ja käyttäjäystävällisyys**
- **Eettiset haasteet, informoitu suostumuksellisuus**
- **Sosiaaliset haasteet ja mahdolliset stigmat**

Aivojen ja tietokoneen yhteenliittymä

Niin sanottu aivokäyttöliittymä (Brain computer interface, BCI) on teknologia, joka mahdollistaa suoran vuorovaikutuksen ihmisaivojen ja ulkoisten laitteiden välillä. BCI kääntää aivojen toiminnan tietokoneen vasteiksi hyödyntäen hermoimpulsseja. Näin esimerkiksi keinotekoisia raajoja, pyörätuolia, drooneja tai esimerkiksi videopelejä voidaan ohjata ajatusten kautta. BCI voi jopa tarjota palautetta aivoille, tehostaen muistia, oppimista ja tarkkaavaisuutta. Aivojen toimintaa tallentamalla ja tulkitsemalla BCI pyrkii luomaan käyttäjälleen saumattoman vuorovaikutuksen ulkomaailman kanssa, ilman luonnollisia aistimuksia tai kehon motoristen vasteiden apua.^{59, 60, 61}



Mahdolliset vaikutukset

Vaikka BCI-teknologia on edelleen kehityksen ja testauksen alkuvaiheissa, se saattaa mullistaa koko terveydenhuollon. BCI voi esimerkiksi palauttaa tai vahvistaa liikuntarajoitteisten yksilöiden toimintakykyä sekä tehostaa terveiden yksilöiden suoritusta ja hyvinvointia. Se voi myös mahdollistaa uudenlaisen ihmisen ja tietokoneen vuorovaikutuksen, kuten immerstiivisen virtuaaliodellisuuden tai aivojen välisen kommunikaation. BCI-teknologian sovellukset vaihtelevatkin viestinnästä ja ohjauksesta terveyden seurantaan sekä älyllisten ja psykologisten toimintojen tehostamiseen.^{59, 60, 61}

Teknologia lupaa paljon, mutta se tuo mukanaan myös merkittäviä haasteita ja riskejä. BCI-järjestelmien laajamittainen käyttöönotto edellyttää huolellista yhteistyötä eri tieteenalojen ja sidosryhmien, kuten neurotieteen, tekniikan, psykologian, lääketieteen, etiikan, lain ja politiikan välillä. Järjestelmien tekninen integrointi vaatii myös korkean tason tarkkuutta, vakautta, käyttäjäystävällisyyttä ja turvallisuutta, kuten myös hyväksyntää ja luottamusta.^{59, 61}

Lähteet

Epävarmuus yhteiskunnallisena haasteena

- 1 World Economic Forum (2023): The Global Risks Report
- 2 DIGITALEUROPE (2023): The Digital Frontline: 15 actions to boost Europe's Digital Resilience
- 3 McKinsey & Company (2022): Resilience for sustainable, inclusive growth

Standardeilla turvaa teollisuusautomaatioon

- 4 IBM (2023): X-Force Threat Intelligence Index 2023
- 5 McKinsey & Company (2023): How to enhance the cybersecurity of operational technology environments
- 6 International Electrotechnical Commission (2021): Understanding IEC 62443

Kyberturvallisuuden kilpavarustelu

- 7 Deloitte (2023): How Artificial Intelligence Alters the Cybersecurity Landscape
- 8 World Economic Forum (2023): The double-edged sword of artificial intelligence in cybersecurity
- 9 Bain & Company (2023): Generative AI and Cybersecurity: Strengthening Both Defences and Threats
- 10 World Economic Forum (2023): Cybersecurity and AI: The challenges and opportunities

Uudenlaisen älykkyyden aikakausi

- 11 World Economic Forum (2023): The Global Risks Report 2023
- 12 World Economic Forum (2023): Data Equity: Foundational Concepts for Generative AI
- 13 McKinsey & Company (2023): The economic potential of generative AI: The next productivity frontier

Digitaalisen luottamuksen merkitys kasvaa

- 14 World Economic Forum (2023): Measuring Digital Trust: Supporting Decision-Making for Trustworthy Technologies
- 15 Stanford University Human-Centered Artificial Intelligence (2023): Artificial Intelligence Index Report 2023
- 16 Gartner (2023): Hype Cycle for Artificial Intelligence
- 17 VTT (2023): Ethics and future AI

DNA:n potentiaali tiedon varastoinnissa

- 18 BCC (2023): DNA Data Storage: Global Markets and Technologies
- 19 Trafton, A. (2021): Could all your digital photos be stored as DNA? MIT News
- 20 DNA Data Storage Alliance (n.d.): What we do
- 21 IDC & Statista (2021): Volume of data/information created, captured, copied, and consumed worldwide from 2010 to 2020, with forecasts from 2021 to 2025 (in zettabytes)
- 22 Gartner (2023): Hype Cycle for Artificial Intelligence

Kohti kaiken kiertävyyttä

- 23 The Intergovernmental Panel on Climate Change (2023): Reports
- 24 UN Environment Programme & International Resource Panel (2023): Briefing on the Global Resources Outlook 2024 Report
- 25 Circle Economy Foundation & Deloitte (2023): The Circularity Gap Report 2023
- 26 Ellen MacArthur Foundation (2023): Circular supply chains: the role of supply chain professionals in creating a circular economy
- 27 Platform for Accelerating the Circular Economy (2023)
- 28 Platform for Accelerating the Circular Economy (2023): Circular Economy Action Agenda
- 29 World Resources Institute (2021): 5 Opportunities of a Circular Economy

Uusiutuvat ratkaisut niukkuuden maailmassa

- 30 European Commission (2023): Bioeconomy research and innovation
- 31 Bio-based Industries Consortium (2023): BIC 2023 Trend Report
- 32 BCC Research (2022): Biorefinery Products - Global Markets
- 33 VTT (2023): VTT Bioruukki pilot centre
- 34 European Commission, JRC Publications Repository (2023): Trends in the EU bioeconomy
- 35 UN Environment Programme & International Resource Panel (2023): Briefing on the Global Resources Outlook 2024 Report
- 36 Kardung M, Cingiz K, Costenoble O, Delahaye R, Heijman W, Lovrić M, van Leeuwen M, M'Barek R, van Meijl H, Piotrowski S, et al (2021): Development of the Circular Bioeconomy: Drivers and Indicators. Sustainability, 13(1):413.

Vettä ilmasta

- 37 Ahrestani Z, Sadeghzadeh S, Motejadded Emrooz HB. (2023): An overview of atmospheric water harvesting methods, the inevitable path of the future in water supply. RSC Adv. Apr 5;13(15).
- 38 EarthOrd (2023): Unleashing the Power of Cloud Seeding - Navigating Potentials and Pitfalls
- 39 United Nations, UN Water (2023): Water Scarcity
- 40 UNICEF (2023): Water scarcity
- 41 Wang, Jiayun & Hua, Lingji & Li, Chunfeng & Wang, Ruzhu. (2022): Atmospheric water harvesting: Critical Metrics and Challenges. Energy & Environmental Science. 15.
- 42 GlobalData (2023): Atmospheric water harvesting - Innovation Deepdive

Vuorovaikutuksen uudet ulottuvuudet

- 43 McKinsey & Company (2022): What is the metaverse
- 44 McKinsey & Company (2022): Value creation in the metaverse
- 45 World Economic Forum (2023): Social Implication of the Metaverse

Metaversumin vaikutus teollisuuteen

- 46 McKinsey & Company (2022): Value creation in the metaverse
- 47 VTT (2023): Human-driven industrial metaverse solutions
- 48 World Economic Forum (2023): Exploring the Industrial Metaverse: A Roadmap to the Future

Bioresponsiiviset virtuaalimaailmat

- 49 GlobalData (n.d.): Innovation radar
- 50 Artuso, J. & Sharma, K. (2022): Combining VR and Neurotechnology with OpenBCI's Galea. Varjo Insider
- 51 Geddes, L. (2023): Scary monsters: how virtual reality could help people cope with anxiety. The Guardian

Terveyden transformaatio

- 52 United Nations (2023): World Social Report
- 53 Economist Intelligence Unit (2023): Healthcare outlook 2023
- 54 World Health Organisation (2023): World health statistics 2023 - monitoring health for the SDGs, sustainable development goals

Joustava mittaus modernin hoidon kulmakivenä

- 55 BCC Research (2022): Flexible Electronics - Global Markets
- 56 VTT (2023): Wearable electronics solutions
- 57 VTT (2023): Printed and flexible electronics
- 58 Deloitte (2023): Connected consumer study

Teknologia ihmisen jatkeena

- 59 Psychology Today (n.d.): Brain Computer Interface
- 60 Bitbrain (2023): Brain-Computer Interface
- 61 Maiseli, B., Abdalla, A.T., Massawe, L.V. et al. (2023): Brain-computer interface: trend, challenges, and threats. Brain Informatics, 10, 20.
- 62 GlobalData (n.d.): Brain-machine interfaces – Innovation Deepdive

bey⁰nd

the obvious

n.n@vtt.fi

+358 20 722 111

www.vtt.fi

DOI: 10.32040/2024.VTT-TrendReport-fi