



Vipuvoimaa  
EU:lta  
2014–2020



Risto Hietala, Centria-ammattikorkeakoulu  
Ari Isokangas, Oulun yliopisto  
Mitha Jose, Centria-ammattikorkeakoulu  
Heikki Kaakinen, Centria-ammattikorkeakoulu  
Antti Koistinen, Oulun yliopisto  
Janne Käsäkoski, Centria-ammattikorkeakoulu  
Jyri Mäkelä, Centria-ammattikorkeakoulu  
Outi Ruusunen, Oulun yliopisto

## MAJAKKA STATE OF THE ART -SELVITYS Digitalisaation työkalupakista eväitä vähähiiliseen teollisuuteen

Centria-ammattikorkeakoulu, 2023

Centria. Raportteja ja selvityksiä, 67.

Risto Hietala, Centria-ammattikorkeakoulu  
Ari Isokangas, Oulun yliopisto  
Mitha Jose, Centria-ammattikorkeakoulu  
Heikki Kaakinen, Centria-ammattikorkeakoulu  
Antti Koistinen, Oulun yliopisto  
Janne Käsäkoski, Centria-ammattikorkeakoulu  
Jyri Mäkelä, Centria-ammattikorkeakoulu  
Outi Ruusunen, Oulun yliopisto

**MAJAKKA STATE OF THE ART -SELVITYS**  
**Digitalisaation työkalupakista eväitä vähähiiliseen**  
**teollisuuteen**

Centria-ammattikorkeakoulu, 2023



**JULKAISIJA:**

Centria-ammattikorkeakoulu  
Talonpojankatu 2, 67100 Kokkola

**TAITTO:** Centria-ammattikorkeakoulun viestintäpalvelut

**KANNEN KUVA:** Adobe Stock -kuvapankki

Centria. Raportteja ja selvityksiä, 67.

ISSN 2342-933X

ISBN 978-952-7173-83-1

# SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO .....	6
2	VÄHÄHIILISYYS .....	8
2.1	KÄSITTEITÄ JA MÄÄRITELMIÄ .....	8
2.2	VÄHÄHIILISYYSVAIKUTUKSEN MÄÄRITTÄMINEN .....	11
3	DIGITALISAATION MENETELMIÄ .....	13
3.1	MITTAUKSET JA AUTOMAATIO .....	14
3.1.1	Vaatimusmäärittely .....	14
3.1.2	Käytännön esimerkkejä .....	14
3.1.2.1	Malliprediktiivinen säätö (MPC) öljynjalostusteollisuudessa .....	15
3.1.2.2	MPC-esimerkki selluteollisuudesta .....	16
3.1.2.3	Kaivoksen ilmanvaihtojärjestelmän MPC-säätö .....	16
3.1.2.4	Etyleenilaitoksen optimointi .....	16
3.2	SOFT SENSORIT .....	17
3.2.1	Vaatimusmäärittely .....	17
3.2.2	Soft sensoreiden hyötyjä ja käytännön esimerkitapauksia .....	17
3.3	REUNALASKENTA .....	19
3.3.1	Vaatimusmäärittely .....	21
3.3.2	Reunalaskennan hyötyjä .....	21
3.3.3	Käytännön esimerkitapauksia .....	22
3.4	DIGITAALINEN KAKSONEN .....	23
3.4.1	Vaatimusmäärittely .....	24
3.4.2	Käytännön esimerkkejä .....	24
3.5	AUTONOMISET AJONEUVOT .....	26
3.5.1	Vaatimusmäärittely .....	26
3.5.2	Hyötynäkökulmia .....	26
3.5.3	Esimerkitapauksia .....	27
3.6	3D-TEKNOLOGIA .....	28
3.6.1	3D-skannaus .....	28
3.6.2	Vaatimusmäärittely .....	28
3.6.3	3D-tulostus .....	29
3.6.4	Vaatimusmäärittely .....	29
3.6.5	Esimerkitapauksia ja raportoituja hyötyjä .....	29
3.7	LOHKOKETJU-TEKNOLOGIA .....	31
3.7.1	Käytännön esimerkkejä .....	31
3.8	TEKOÄLY JA KONEOPPIMINEN .....	32
3.8.1	Vaatimusmäärittely .....	32
3.8.2	Käytännön esimerkkejä .....	32
3.9	OHJELMISTOROBOTIIKKA .....	34
3.9.1	Vaatimusmäärittely .....	34
3.9.2	Käytännön esimerkkejä .....	34
3.10	TIEDONSIIRTO- JA TIETOJENKÄSITTELYALUSTAT .....	35
3.10.1	Vaatimusmäärittely .....	35
3.10.2	Esimerkkejä pilvipalveluiden IoT-alustoista .....	35
3.10.2.1	Amazon Web Services (AWS) .....	35
3.10.2.2	Microsoft Azure .....	36
3.10.2.3	Google Cloud .....	36
3.10.3	Esimerkitapauksia .....	36
3.11	5G:N HYÖDYNTÄMINEN TEOLLISUUDESSA .....	38
3.11.1	Esimerkkejä .....	38
3.12	OPC UA .....	39
3.12.1	Vaatimusmäärittely .....	39
3.12.2	Esimerkkejä käyttökohteista ja hyötynäkökulmia .....	39
3.13	DIGITAALINEN TILANNEKUVA .....	41
3.13.1	Vaatimusmäärittely .....	41
3.13.2	Käytännön esimerkkejä .....	41

4 YHTEENVETO.....	43
LÄHTEET.....	44
LIITE 1.....	54
LIITE 2.....	55
LIITE 3.....	65

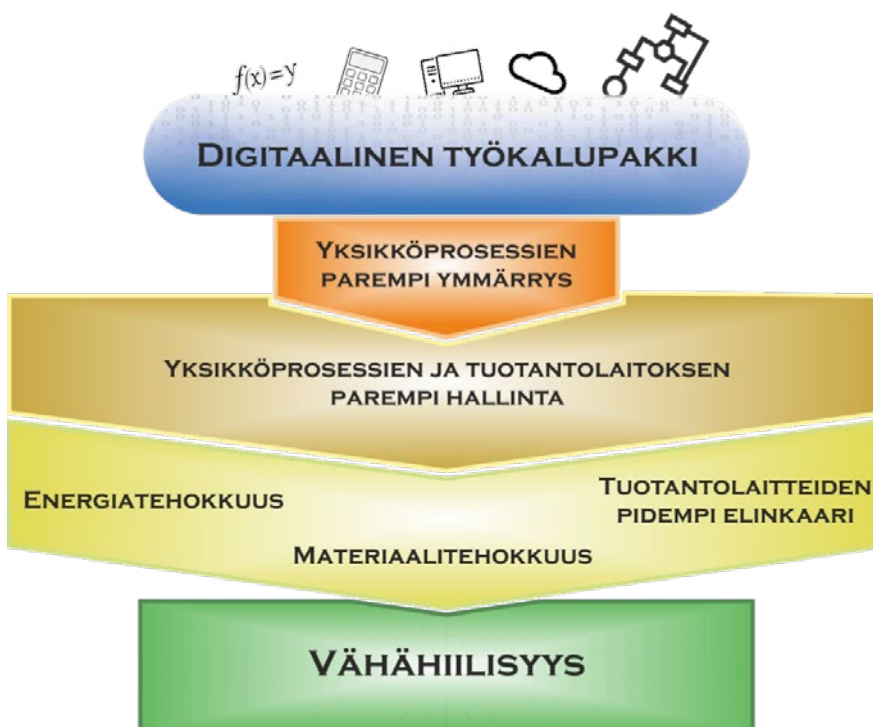
# 1 JOHDANTO

Valtioneuvoston tulevaisuusselonteon visiossa Vähäpäästöinen Suomi 2050, nykyisellä Suomen päästökajakaumalla suurimmat säästöt saavutetaan teollisuuden prosessien vähäpäästöisillä ratkaisulla (Kokkolan kaupunki, 2011). World Economic Forumin mukaan esimerkiksi kemianteollisuuden digitalisaation avulla voidaan maailmanlaajuisesti vähentää 60-100 miljoonaa tonnia hiilidioksidipäästöjä vuodessa. Digitalisaatio on perusta teollisen tuotannon vähähiilisyystavoitteiden saavuttamiseksi:

Vähähiilisyttä toteuttaa resurssitehokkuus, jonka osa-alueita ovat kestävästi tuotetut uusiutuvat energiamuodot, materiaalitehokkuus sekä viisas liikkuminen ja kestävä kulutus. Nämä liittyvät monin tavoin toisiinsa. Esimerkiksi materiaalitehokkuuden parantaminen kytkeytyy myös energiatehokkuuden paranemiseen, koska raaka-aineiden ja muiden materiaalien käytön tehostaminen koko tuote- ja tuotantoketjussa useissa tapauksissa vähentää välillisesti myös energian tarvetta. (Maaseutu.fi 2020.)

Digitalisaatio mahdollistaa etätöitä sekä esimerkiksi prosessien etäohjausta ja -valvontaa ja tällä tavoin vähentää liikkumisesta aiheutuvia päästöjä. ”Digitalisaatio, tieto- ja viestintäteknologian yhä laajempi hyödyntäminen yhteiskunnassa tehostaa toimintoja, vähentää niiden paikkasidonnaisuutta ja tuo tarjolle uusia työkaluja ja työmenetelmiä.” (Työ- ja elinkeinoministeriö 2019.) Edellä mainitun lisäksi Työ- ja elinkeinoministeriön mukaan digitalisoituminen ja tieto- ja viestintäteknologian hyödyntäminen ovat Suomelle keskeisiä keinoja lisätä tuottavuutta, vastata julkisen sektorin kestävyysvaajeseen sekä luoda uutta elinkeinotoimintaa.

Majakka-hankkeessa keskiössä ovat digitaaliset tiedonkäsittelymenetelmät, joiden avulla esimerkiksi olemassa olevasta informaatiosta voidaan tuottaa uusia laskennallisia suureita ja arvioida mittaustiedon luotettavuutta. Kasvaneen ymmärryksen ja luotettavan informaation myötä prosesseja voidaan ohjata optimaalisissa olosuhteissa ja hyödyt realisoituvat laitteiden pidempänä elinkaarena, energia- ja resurssitehokkuutena sekä lopulta vähähiilisytenä (Kuvio 1).



Kuvio 1. Teollisen tuotannon vähähiilisyystavoite digitalisaation mahdollisuuksia hyödyntäen.

Teollisuudessa pyritään tyypillisesti vähähiilisyystavoitteisiin uusien tuotantolaitteiden avulla, mutta investoinnit tuovat ympäristönsuojelun näkökulman lisäksi usein myös taloudellista hyötyä. Kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen koetaan usein ”pakolliseksi kulueräksi” samalla tavalla kuin rikkidirektiivi, johon on mukauduttava yleisten linjausten mukaisesti. Ympäristökuormituksen minimointi voi aiheuttaa yritykselle kustannuksia, mutta ympäristökologisella yritysmielikuvalla ainakin osa vähähiilisyteen tähtäävistä investoinneista saadaan takaisin. Digitaalisten tiedonkäsittelymenetelmien avulla teollista tuotantoa voidaan tehostaa jopa ilman muutoksia tuotantolaitteistoihin. Hankkeen hyötypotentiaalia kuvastaa esimerkiksi autojen ”lastutus”, jolla tarkoitetaan ohjelmistopäivityksen avulla saatuja hyötyjä nykyiseen moottoriin, jolloin tehoa voidaan saada lisää jopa pienemmällä polttoainekulutuksella.

Perinteinen teollisuus on varsin pitkälle automatisoitua, mutta haasteena ovat usein mittausten kattavuus ja luotettavuus. Useat mittausteknologiat perustuvat epäsuoriin mittauksiin, koska suora mittaaminen voi olla haasteellista tai jopa mahdotonta. Mittalaitteet on tyypillisesti kalibroitu toimimaan tietyissä toimintaolosuhteissa, ja poikkeamat niistä vaikuttavat suoraan virheeseen. Tiedonkäsittelymenetelmiä hyödyntämällä nykyisistäkin mittauksista voidaan saada enemmän irti ja arvioida niiden luotettavuutta. Esimerkiksi soft sensor -tyyppisillä ratkaisuilla pystytään kompensoimaan olosuhdemuutoksia ja tuottamaan jalostettua tietoa sellaisista suureista, joiden mittaaminen on muuten haasteellista.

Digitaalisten tiedonkäsittelymenetelmien lisäksi raportissa esitetään muitakin digitalisaation menetelmiä, joilla voidaan vaikuttaa vähähiilisyteen. Kirjallisuudessa hyötyjä on kuitenkin raportoitu varsin niukasti – tai ne on raportoitu varsin yleisellä tasolla. Kirjallisuusselvityksessä pyritään ennen kaikkea esittämään tapauksia, joissa on esitetty digitaalisten menetelmien vaikuttavuus prosessien tilan parempaan ymmärtämiseen ja sitä kautta mahdollisuudet prosessien parempaan ohjaukseen. Mahdollisuuksien mukaan hyödyt on raportoitu energia- ja materiaalihokkuuden tai jopa vähähiilisyden suhteen. Tässä kirjallisuuskatsauksessa esitellään lisäksi vähähiilisyteen liittyviä keskeisiä käsitteitä sekä vähähiilisyysvaikutuksen määrittämiseen kehitettyjä työkaluja.

## 2 VÄHÄHIILISYYS

### 2.1 KÄSITTEITÄ JA MÄÄRITELMIÄ

Vähähiilisyys käsite liittyy erilaisiin yhteiskunnan toimintoihin ja sitä tarkastellaan usein vähähiilisen yhteiskunnan näkökulmasta, jossa fossiilisten polttoaineiden käyttö minimoidaan ja kasvihuonekaasupäästöjä syntyy huomattavasti nykyistä vähemmän. Kansainväliset tavoitteet määritellään Pariisin ilmastopöytäkirjassa. Siitä, ja sitä edeltäneestä Kioton pöytäkirjasta sekä kansainvälisestä ilmastopöytäkirjasta löytyy yksityiskohtaista tietoa Ympäristöministeriön verkkosivuilta (Ympäristöministeriö 2020) ja Suomen hallituksen eduskunnalle antamasta esityksestä (HE 200/2016).

Pariisin ilmastopöytäkirjalla pyritään rajoittamaan ilmaston lämpeneminen alle kahteen celsiusasteeseen ja pitämään se noin 1,5 celsiusasteessa. Tällä pyritään estämään lämpenemisen arvioidut katastrofaaliset seuraukset. Euroopan Unioni sekä kaikki sen jäsenmaat ovat allekirjoittaneet sopimuksen ja näin ollen sitoutuneet sopimuksen tavoitteisiin. EU:n jäsenmaiden kasvihuonekaasupäästöjen vähennystavoitteet määritellään yhteisesti EU:n tasolla ja tämä ohjaa myös Suomen taloutta, tuotantoa ja kulutusta. Pariisin sopimuksessa asetettuja tavoitteita tarkastellaan viiden vuoden välein ja ensimmäinen kokonaistarkastelu on vuonna 2023.

Hiilidioksidin lisäksi muita kasvihuonekaasuja ilmastolaissa annetun määritelmän mukaisesti ovat metaani, typpioksiduuli, fluorihilivedyt, perfluorihilivedyt, rikkiheksafluoridi, typpitrifluoridi sekä muut ilmakehän luonnolliset ja ihmisen toiminnan aiheuttamat kaasumaiset ainesosat, jotka ottavat vastaan ja lähettävät edelleen infrapunasäteilyä, siten kuin niistä kulloinkin voimassa olevissa Suomessa sitovissa kansainvälisissä velvoitteissa määrätään (Ilmastolaki 2015). Kasvihuonekaasujen ympäristövaikutuksia kuvaamaan on kehitetty hiilidioksidiekvivalentti, joka on kasvihuonekaasujen yhteismitta ja se määritellään Tilastokeskuksen sivulla seuraavasti: ”Kasvihuonekaasupäästöjen yhteismitta, jonka avulla voidaan laskea yhteen eri kasvihuonekaasujen päästöjen vaikutus kasvihuoneilmaston voimistumiseen” (Tilastokeskus 2016.) Hiilidioksidiekvivalenttia käytetään, kun halutaan arvioida muiden kasvihuonekaasujen vaikutusta ilmaston lämpenemiseen. Vertailukohtana on päätetty käyttää hiilidioksidin vaikutusta ja tämä tarkoittaa sitä, että hiilidioksidiekvivalentti kuvaa kaasun ilmastovaikutuksen painoarvoa suhteessa hiilidioksiidiin.

EU:n tasolla on asetettu tavoite, jonka mukaan EU:n tulisi olla hiilineutraali vuoteen 2050 mennessä ja jo vuoteen 2030 mennessä EU:n hiilidioksidipäästöjä tulisi vähentää 40 %. Hiilineutraalius tarkoittaa sitä, että kaikki tuotettu hiilidioksidi saadaan sidottua ilmakehästä hiilinieluihin. Esimerkkinä hiilinielusta käytetään usein metsää, koska kasvaessaan puut sitovat hiilidioksidia. Luonnon hiilinielussa varastoituna oleva hiili vapautuu hiilidioksidina ilmakehään esimerkiksi metsäpalojen tai hakkuiden sekä kasvatetun puun hyödyntämisen myötä. Puu toimii hiilivarastona ja esimerkiksi puurakenteisessa talossa hiilivarasto on pidempiaikainen kuin esimerkiksi energiapuussa. Tärkein keino hiilineutraaliuden saavuttamiseksi on päästöjen vähentäminen.

Päästöjen vähentäminen ja päästöjen kompensointi kulkevat termeinä läheisesti toisiinsa kytkeytyneinä. Kompensointi-termi on kuluttajille tuttu esimerkiksi matkailusta ja osa matkailualan yrityksistä hyödyntääkin tätä markkinoinnissaan. Käytännössä päästöjen kompensointi tarkoittaa sitä, että tuotettua hiilidioksidipäästöä vastaava määrä päästöjä vähennetään jollain tavalla toisaalla. Kompensointi voi tapahtua esimerkiksi eri puolilla maailmaa käynnissä olevien metsitysprojektien kautta, joihin voivat rahoittajina osallistua sekä yritykset että yksityishenkilöt. Esimerkiksi suomalaisista yrityksistä St1 on BEAM-hankkeessaan tutkinut metsitystä kuivilla alueilla Marokossa yhdessä Luonnonvarakeskuksen ja marokkolaisen Université Mohammed VI Polytechnique -yliopiston kanssa. Tavoitteena St1:llä on täyttää osa päästövelvoitteestaan metsityksellä (Seppo 2019).

Euroopan komission pitkän aikavälin strategian mukaan avaintekijöitä kasvihuonekaasujen vähentämisessä ja hiilineutraalin Euroopan saavuttamisessa ovat:

- energiatehokkuus
- uusiutuvien energialähteiden käyttö
- puhdas, turvallinen ja verkottunut liikkuvuus
- kilpailukykyinen teollisuus ja kiertotalous
- infrastruktuuri ja yhteenliittymät
- biotalous ja luonnolliset hiilinielut sekä
- hiilidioksidin talteenotto ja varastointi. (European commission 2018.)



Näistä Majakka-hankkeessa keskitytään erityisesti keinoihin, joilla voidaan parantaa yritysten energia- ja resurssitehokkuutta sekä pidentää laitteiden elinkaarta (Kuvio 1). Lisäksi hankkeessa keskitytään keinoihin, joilla tuotantoprosessien hallintaa, ohjausta ja säätöä voidaan tehostaa. Tästä syystä eri osaprosessien, laitteiden, tuotteiden tms. hiilijalanjäljen tarkastelu rajoittuu tuotannosta syntyvään osioon, eikä esimerkiksi logistiikan polttoainelähteistä (fossiiliset vs. uusiutuvat) tai tuotantolaitoksen energiatoimittajan (sähkö tuotettu fossiililla vs. uusiutuvilla) valinnoista aiheutuva hiilijalanjälkeä ole tarkoituksenmukaista tässä arvioida.

**Energiatehokkuus** määritellään energiatehokkuusdirektiivissä (2012/27/EU) seuraavalla tavalla: energiatehokkuus on suoritteen, palvelun, tavaran tai energian tuotoksen ja energiapanoksen välinen suhde. Samalla Energiatehokkuuden parantamisen määritellään olevan teknisistä, ihmisten käyttäytymiseen liittyvää ja/tai taloudellisista muutoksista johtuvaa energiatehokkuuden lisääntymistä. Energiatehokkuuden paranemisesta seuraa energian säästöä, joka direktiivissä määritellään seuraavasti: säästetyn energian määrä, joka määritetään mittaamalla ja/tai arvioimalla kulutus ennen energiatehokkuutta parantavan toimenpiteen toteuttamista ja sen jälkeen siten, että energiankulutukseen vaikuttavat ulkoiset olosuhteet vakioidaan. Energiatehokkuuden ohella puhutaan myös **resurssitehokkuudesta**, jonka mukaan luonnonvaroja tulee käyttää kestäväällä tavalla ja minimoida käytöstä aiheutuva ympäristövaikutus. Resurssitehokkuuteen kuuluu esimerkiksi materiaalien ja energian käytön tehostaminen sekä tuotteiden tai jätteiden kierrätys ja uudelleen käyttö. Resurssitehokkuudesta voi lukea lisää esimerkiksi Euroopan komission sivuilta (European commission 2020).

Vähähiilisuuden käsitteen lisäksi on hyvä määritellä käsite **hiilijalanjälki**, jolla kuvataan tuotteen tai toiminnon kuormittavuutta ilmastolle koko sen elinkaaren aikana. Hiilijalanjäljen laskentaan vaikuttavat siis esimerkiksi tuotteen raaka-aine ja sen tuottaminen, varsinaisen tuotteen tuotannosta aiheutuva kuormitus, tuotteen kuljetuksesta aiheutuva ilmasto-kuormitus sekä tuotteen poistaminen elinkaarensa lopussa. Hiilijalanjäljen koko ilmoitetaan massana. Hiilijalanjäljen määritelmästä löytyy tarkempaa tietoa esimerkiksi artikkelissa A definition of 'Carbon footprint' (Wiedmann & Minx 2007). Hiilijalanjälki pohjautuu sekä elinkaariarviointiin että ekologiseen jalanjälkeen, mutta on silti itsenäinen indikaattori (Ymparisto 2013). Hiilijalanjäljellä on useita erilaisia määritelmiä ja rajoituksia, ja eroina menetelmissä on lähinnä se, mitä kasvihuonekaasuja huomioidaan, mihin tarkastelu rajataan (prosessi, tuote, ihminen, yritys, alue vai valtio) ja mitkä elinkaarivaiheet sisällytetään. Hiilijalanjäljen suuruus kuvataan yleensä hiilidioksidiekvivalentteina, joka kertoo tarkasteltavien kasvihuonekaasujen ilmastovaikutuksen yhdellä luvulla. Elinkeinoelämän keskusliitto (EK) ja Clonet Oy toteuttivat vuonna 2017 Ilmastobiznes-hankkeen, jossa haluttiin edistää suomalaisten pk-yritysten ympäristöosaamista ja tunnistaa ympäristö-liiketoiminnan mahdollisuuksia. Tämän hankkeen tuotoksena syntyi hiilijalanjälkilaskuri, joka on kohdistettu erityisesti pk-yritysten käyttöön (Siitonen 2018). Hiilijalanjäljen laskentaan on tämän lisäksi olemassa useita laskureita, jotka ovat kehitetty erilaisiin käyttökohteisiin ja antavat keskenään erilaisia tuloksia. Tästä syystä Iso-Britannian standardiviranomainen (BSI) sekä Defran rahoittama Carbon Trust ovat julkaisseet vuonna 2008 ja 2011 hiilijalanjäljen laskentaan ohjeistuksen (BSI 2011), jonka tarkoituksena on kaventaa laskureiden välisiä vaihteluita. Lisäksi kansainvälinen standardisointijärjestö ISO on julkaissut kesällä 2013 tuotteen hiilijalanjälkeä käsittelevän teknisen spesifikaation ISO/TS 14067:2013 Greenhouse gases – Carbon footprint of products – Requirements and guidelines for quantification and communication, jolla pyritään tukemaan kaikkien tuotteiden ja palveluiden hiilijalanjäljen laskentaa. Standardin ohjeiden mukaan laskenta tehdään kolmella eri tasolla, jotka ovat palveluyritys EcoRealin (Oiva 2020) sivuilla esitetty seuraavasti:

- Scope 1 kuvaa organisaation suorita vaikutuksia tai niitä päästöjä, jotka syntyvät organisaation omistaman omaisuuden kautta. Näitä ovat esimerkiksi yrityksen oma energiantuotanto sekä omien tai hallinnassa olevien ajoneuvojen polttoaineen kulutus.
- Scope 2 kuvaa hiiltä, jota yritys ei luo, mutta jota se kuluttaa. Näitä kutsutaan epäsuoriksi päästöiksi. Tähän kuuluu esimerkiksi yrityksen ostama sähkö- ja lämpöenergia.
- Scope 3 kuvaa työntekijöiden ja urakoitsijoiden vaikutuksia sekä heidän kuluttamaansa hiiltä. Tähän sisältyvät esimerkiksi lentomatkat, jätteet, ostetut kuljetukset, ulkoistetut toiminnot ja työmatkaliikenne.

Hiilijalanjäljen laskennan yhteydessä voidaan huomioida myös **hiilikädenjälki**, jolla tarkoitetaan ilmastolle positiivisia asioita ja se raportoidaan negatiivisena. (Sitra 2018) Esimerkkejä hiilikädenjäljestä ovat mm. rakenteisiin sitoutunut hiili, sementin karbonatisoitumisen aiheuttama hiilinielu ja ulkopuoliseen energiaverkkoon syötetty energia.

**Elinkaariarviointi** (Life Cycle Analysis, LCA) pyrkii tarkastelemaan tuotteiden tai palvelujen ympäristövaikutuksia raaka-aineiden hankinnasta aina loppusijoitukseen saakka. Erityisesti kuluttajatuotteiden tapauksessa kaikkien ympäristövaikutusten arviointi on kuitenkin mahdotonta. Haasteena on myös saada luotettavat tiedot alihankkijoilta. Yleensä käytetään keskimääräisiä arvoja esim. tietokannoista ja tulokseksi saadaankin näiden syiden vuoksi vain karkea arvio tärkeimmistä ympäristövaikutuksista. Reaaliaikainen elinkaariarviointi edellyttää nimensä mukaisesti ajantasaista dataa – jota voidaan saada lukuisista tuotantoprosesseista. Reaaliaikaisten ympäristövaikutusten määrittäminen mahdollistaisi myös kommunikoinnin eri sidosryhmien ja viranomaisten kanssa ja voisi lisätä asiakkaiden luottamusta yritysten antamiin tietoihin. Historiadatan avulla voidaan myös selvittää tuotantolaitoksen ympäristötehokkuuden kehittymistä ajan suhteen. (Mäkinen 2019.)

Elinkaariarvioinnin periaatteet määritellään ISO 14040 standardissa. Standardin mukaan LCA pitää sisällään neljä eri vaihetta, jotka ovat 1) Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely, 2) Inventaario-analyysi (Life Cycle Inventory, LCI), 3) Vaikutusarviointi (Life Cycle Impact Assessment, LCIA) ja 4) Tulosten tulkinta. (Consequential LCA 2015) Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyssä päätetään arvioinnin laajuus (kuinka yksityiskohtainen tarkastelu ja mikä on tarkastelujakso), rajaukset sekä tarkasteltavat ympäristövaikutukset. Inventaarioanalyysissä kerätään tarvittavat tiedot tuotantoketjusta sekä lasketaan käytettävät materiaali- ja energiavirrat ja niistä syntyvät päästöt. Vaikutusarviointiin kuuluu syntyvien ympäristövaikutusten merkittävyyden arviointi. Lopuksi arvioinnissa saadut tulokset arvioidaan sekä pyritään tunnistamaan tuloksiin vaikuttavia tekijöitä. (Consequential LCA 2015.)

Usein elinkaariarviointi on kallista ja aikaa vievää, eikä siitä aina saada lisäarvoa yksinkertaisempaan selvitykseen verrattuna. Tästä syystä ympäristökuormituksen selvittämiseksi voidaan käyttää elinkaariarvioinnin vaihtoehtona esimerkiksi materiaali- ja energiavirtoihin liittyviä työvälineitä. Eri menetelmät saattavat tuottaa ristiriitaisia tuloksia ja johtaa siksi väärin tulkintoihin. Ympäristöhallinnon verkkopalvelussa (Ymparisto 2021) on esitelty LCA:n lisäksi erilaisia työvälineitä ympäristömyönteiseen tuotesuunnitteluun. Sivustolla muistutetaan, että listatut menetelmät eivät ole kaikenkattavia ja käytettävän menetelmän/menetelmien valinta on tehtävä aina tapauskohtaisesti. Alla on ymparisto.fi-sivuston listauksesta poimittuna muutamia Majakka-hankkeessakin tärkeitä käsitteitä kuvauksineen.

**Ympäristöjalanjälki** on kokonaisuus, jonka avulla pyritään yhdistämään elinkaariarvioinnin kuvaamat erilaiset ympäristövaikutukset ja erilaiset jalanjäljet, kuten ekologinen jalanjälki, hiilijalanjälki ja vesijalanjälki (Ymparisto 2013). Tässä menetelmänä käytetään elinkaariarviointia. EU:n komissiossa kehitetään ympäristöjalanjäljestä tuotteiden ympäristövastuun mittaria, ja komissio on antanut suosituksen sen käytöstä.

**Panos-tuotosmalleja** on kehitetty ratkaisemaan ongelmaa, joka syntyy, kun elinkaariarvioinnissa osa tarkasteltavan järjestelmän virroista jätetään huomiotta tarkastelussa (Ymparisto 2013). Syynä tällaisten virtojen huomiotta jättämiseen on joko pieni massa- tai energiasisältö tai oletettu alhainen ympäristövaikutus. Tämä eri materiaali tai energiavirtojen huomioimattomuus voi aiheuttaa tuloksiin merkittävän, esimerkiksi 20 %:n virheen ja tätä pyritään korjaamaan panos-tuotosmallilla. Keskeisin ero elinkaariarviointiin on virtojen mittaaminen rahayksiköissä fyysisten mittojen (massa ja energia) sijasta.

**Ympäristöriskianalyysin** eli RA:n (Risk Analysis) avulla pyritään tunnistamaan esimerkiksi tuotantolaitokseen tai kuljetuksiin liittyviä olosuhteita tai tilanteita, joista voi syntyä poikkeuksellisia päästöjä ympäristöön (ymparisto.fi). Mahdollisten päästöjen vaikutukset ja todennäköisyydet voidaan lisäksi arvioida riskienhallintaan liittyvän päätöksenteon helpottamiseksi. Päästötilanteiden tunnistamiseen ympäristöriskianalyseissa voi käyttää prosessiturvallisuudesta tuttuja menetelmiä, kuten esim. potentiaalisten ongelmien analyysi (POA), HAZOP ja vikapuuanalyysi.

**Ympäristöjärjestelmä** on organisaation ympäristöjohtamiseen käytetty väline, jonka avulla ympäristöasiat huomioidaan järjestelmällisesti kaikessa yrityksen toiminnassa (Ymparisto 2013). Palveluiden ja tuotteiden koko elinkaaren aikaisia ympäristöhaittoja voidaan vähentää toimivalla ympäristöjärjestelmällä ja samalla säästää kustannuksia. Tuotesuunnittelun tehostaminen ja vähemmän ympäristöä kuormittavien raaka-aineiden ja tuotantotapojen löytäminen mahdollistuvat, kun yrityksen päästöt sekä tuotteiden ja palvelujen koko elinkaaren aikaiset ympäristövaikutukset ovat tiedossa.

Yllä kuvattujen kestäväan kehitykseen ja ympäristökuormituksen vähentämiseen tärkeiden työkalujen lisäksi dynaaminen elinkaariarviointi (dynamic LCA) sekä dynaaminen ja ennustava elinkaariarviointi (pdLCA) on nostettu esille useissa tutkimuksissa. Nämä eroavat perinteisestä elinkaariarvioinnista siten, että näissä pyritään huomioimaan ja ennustamaan ajan suhteen muuttuvia tekijöitä, jotka vaikuttavat tuotteen, palvelun tai muun hyödykkeen elinkaareen. Esimerkiksi Alfaro ym. (2010) esittelevät peliteorian ja agenttipohjaisen mallinnuksen (agent-based modelling, ABM) yhdistämistä elinkaariarviointiin, jotta markkinoiden ja tuotannon muuttuvia tilanteita voidaan ennakoita. Heidän esimerkissään tarkastellaan biopolttoaineeksi kasvatettavan lännenhirssin tuotantoa ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Toisessa kirjallisuuden esimerkissä keskitytään tutkimus- ja kehitysvaiheessa olevien potentiaalisten teknologioiden ja niiden ympäristövaikutusten huomiointiin ennakoivan elinkaarianalyysin avulla. Van der Giesen ym. (2020) kuvaavat artikkelissaan ennakoivan elinkaarianalyysin vaiheita ja haasteita mahdollisine ratkaisuineen. Lisäksi artikkelissa tarkastellaan ennakoivan elinkaarianalyysin käyttöön liittyvää epävarmuutta, eritellään erilaisia epävarmuuden lähteitä sekä esitellään niiden huomiointiin soveltuvia menetelmiä.

## 2.2 VÄHÄHIILISYYSVAIKUTUKSEN MÄÄRITTÄMINEN

Yritysten ja alueiden resurssitehokkuutta, materiaaliomavaraisuutta ja biotalouden kehittymistä voidaan edistää teollisten symbioosien avulla. Tällöin yritykset täydentävät toisiaan ja tuottavat lisäarvoa toisilleen kierrättämällä tehokkaasti raaka-aineita, teknologiaa, osaamista, palveluja ja energiaa ja edistävät näin vähähiilisyden tavoitetta. Eri toimijoiden materiaali- ja energiavirtojen tehokkaampi keskinäinen hyödyntäminen edistää myös uusien tuotteiden ja palveluiden syntymistä.

Yrityksen tai tuotantolaitoksen energia- ja resurssitehokkuuden paraneminen tarkoittaa käytännössä sitä, että koneiden, laitteiden ja tuotantoprosessin toiminta on optimaalista. Tuotantolaitosten toimintaa voidaan tehostaa hyvällä tuotannonohjauksella, koneiden, laitteiden ja prosessien optimaalisella ohjauksella ja säädöllä sekä tarkoituksenmukaisella kunnossapidolla. Koneiden ja laitteiden elinkaarta tarkasteltaessa kunnossapidon rooli on tärkeä, jotta koneiden toimintaikä sekä käytön aikainen tuottavuus saadaan maksimoitua. Oikea-aikaisella kunnossapidolla voidaan ehkäistä laiterikoista aiheutuvia ennakoimattomia tuotannon keskeytyksiä ja tällä tavoin optimoida tuotantolaitoksen kapasiteettia. Energia- ja resurssitehokkuuden parantamista voidaan tarkastella koko tuotantolaitoksen näkökulmasta tai keskittyä johonkin tuotantoketjun osaprosessiin. Esimerkiksi hyvin energiaintensiivisen osaprosessin optimoinnilla voidaan päästä hyviin tuloksiin koko tuotantoketjun mittakaavassa. Hyvä esimerkki tällaisesta on jauhatus, joka on rikastusprosessin energiaintensiivisin osaprosessi ja siksi mielenkiintoinen energiatehokkuuden parantamisen tutkimuskohde.

Alla olevassa esimerkissä on kuvattu jauhatusprosessin energiatehokkuuden parantamista, kun jauhinmyllyn säädössä on hyödynnetty värähtelymittauksista saatua informaatiota. Jauhatuksen keskimääräinen energiankulutus (Wills 2006) ja sähköntuotannon keskimääräinen päästökerroin Suomessa (Motiva 2021) sisältyvät laskentaan. Alla olevan esimerkin käsitelty kivimäärä on suuruusluokaltaan Kemin kaivoksen tuotannon kaltainen, siinä käytetty laskentakäyvä on esitetty Hippisen ja Suomen (2012) raportissa (Hippinen & Suomi 2012).

Jauhatuksen keskimääräinen energiankulutus: 11,6 kWh/T (Wills 2006).

Kemin prosessissa käsiteltävä kivimäärä: 1300000 T/a

Jauhatusprosessin käyttämä energiamäärä: 15080 MWh

Sähköntuotannon keskimääräinen päästökerroin: 131 kg CO<sub>2</sub>/MWh

Vuotuinen energian säästö jauhatusmyllyn värähtelyyn perustuvalla säädöllä: 6,2 % à 935 MWh

Vastaava vähenemä CO<sub>2</sub>-päästöissä: 122,5 tCO<sub>2</sub>.

Toinen mielenkiintoinen esimerkki on tislusprosessin energiatehokkuuden optimointi neuroverkkomallien avulla, josta on esitetty lupaavia tuloksia artikkelissa (Osuolale & Zhang 2016). Tässä tutkimuksessa neuroverkkomallit kehitettiin energiatehokkuuden ja tuotepuhtauden mallinnukseen ja niitä käytettiin tislusprosessin reaaliaikaiseen optimointiin. Mallia testattiin Aspen HYSYS- ohjelmiston simulaattorissa ja optimoinnin tavoitteena oli maksimoida prosessin energiatehokkuus siten, että vaaditut tuoteominaisuudet edelleen saavutetaan. Artikkelissa raportoitiin energiatehokkuuden paranevan metanoli-vesi-seoksen tislauksessa yli 8 % ja bentseeni-tolueeni-seoksen tislauksessa yli 28 % parhaimmin onnistuneissa simuloinneissa.

Yllä kuvattujen esimerkkien lisäksi useat eri teollisuuden alan toimijat ovat julkaisseet tavoitteitaan hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi. Bosch on ilmoittanut pyrkivänsä hiilineutraaliksi toimijaksi jo vuonna 2020 (Keränen 2019). Tavoitteen saavuttaminen mahdollistuu yhtiön mukaan ostamalla vihreää sähköä sekä tasapainottamalla syntyviä CO<sub>2</sub>-päästöjä hyvitysjärjestelyillä. Vuoteen 2030 mennessä Bosch ilmoittaa sijoittavansa miljardi euroa toimipisteidensä energiatehokkuuden parantamiseen sekä lisäävänsä uusiutuvan energian osuutta sähkön hankinnassa sekä tuotannossa.

Terästeollisuudessa SSAB pyrkii maailman ensimmäiseksi toimijaksi, joka tuo markkinoille fossiilivapaan teräksen vuonna 2026 (SSAB annual report 2019). Teräsyhtiö kertoo vuoden 2019 raportissaan tavoittelevansa täysin fossiilivapaata liiketoimintaa vuoteen 2045 mennessä. Tämän tavoitteen saavuttamiseksi SSAB, LKAB ja Vattenfall ovat perustaneet yhteisen HYBRIT-hankkeen, jossa kehitetään fossiilivapaata rautamalmipohjaista terästuotantoa. Maailman ensimmäisen, rautamalmin suorapelkistykseen vedyn avulla perustuvan koeprosessin on tarkoitus valmistua Luulajaan jo vuoden 2020 aikana. HYBRIT-hankkeen rinnalla tutkitaan fossiilivapaiden energialähteiden, kuten biomateri-

aalisivuvirtojen käyttöä korvaamaan fossiilisia polttoaineita tietyissä teräksenvalmistuksen osaprosesseissa. Business Finlandin tukema Energy4HYBRIT-niminen ennakkotutkimus on käynnistetty yhteistyössä SSAB:n, Gasumin, Nesteen ja St1:n kanssa ja pilottitehtaan selvityksessä on SSAB:n Raahen tehdas.

Sementinvalmistus on CO<sub>2</sub>-päästöjä tarkasteltaessa erittäin mielenkiintoinen teollisuudenala. Maailman käytetyintä rakennusmateriaalia tuotetaan globaalisti noin 4–4,5 miljardia tonnia vuosittain, jolloin vastuulliset tuotantoprosessit ovat erittäin tärkeässä asemassa hiilidioksidipäästöjen hillitsemiseksi. Suomalainen Finnsementti on esimerkki yrityksestä, jossa tuotantoprosesseja on kehitetty ympäristöystävällisempään suuntaan. Finnsementin ympäristöraportissa (Finnsementti 2020) listataan neljä keinoa, (raaka-aineiden ja polttoaineiden valinta, energiatehokkaat ratkaisut ja menetelmät sekä seosaineiden käyttö), joilla voidaan vaikuttaa sementinvalmistuksen CO<sub>2</sub>-päästöihin. Finnsementin sementtiuuneissa käytetään paljon kierrätyspolttoaineita, jolloin fossiilisten polttoaineiden käyttöä on saatu vähennettyä. Kierrätystä toteutetaan myös raaka-aineiden valinnassa. Osa uusiutumattomista raaka-aineista korvataan kierrätysmateriaaleilla kuten masuunikuonalla ja voimalaitosten lentotuhkalla. Tuotannon energiatehokkuutta on saatu parannettua esimerkiksi siten, että sementinvalmistuksessa syntyvä lämpö otetaan talteen ja hyödynnettäväksi raaka-aine- ja hiilimylyissä. Lisäksi hukkalämpöä syötetään kaukolämpöverkkoon. Prosessikehityksen keinojen lisäksi yrityksellä on käytössä erilaisia suodattimia ja pesureita, joilla erilaisia muita päästöjä voidaan hallita. Näistä löytyy tarkemmin tietoa yrityksen ympäristöraportista.

Nesteen jalostamo Porvoossa on yksi Suomen suurista päästöjen tuottajista, sillä öljytuotteiden jalostaminen kuluttaa paljon sähköä ja lämpöä. Vastuullisuus sekä päästöjen vähentäminen on otettu yrityksessä tärkeäksi osaksi liiketoimintaa. Tästä hyvänä esimerkkinä on uusiutuvien tuotteiden avulla tehty 9,6 Mt:n vähennys kasvihuonekaasupäästöissä vuoden 2019 aikana (Neste 2019). Yrityksen tavoitteet päästöjen vähentämiseksi kohdistuvat sekä asiakkaisiin että yrityksen omaan toimintaan. Neste pyrkii vähentämään asiakkaidensa kasvihuonekaasupäästöjä vähintään 20 miljoonalla CO<sub>2</sub> ekvivalenttitonilla vuosittain uusiutuvien tuotteiden sekä erilaisten kiertotalousratkaisujen avulla vuoteen 2030 mennessä. Lisäksi yritys vähentää oman tuotantonsa hiilijalanjälkeä ja tukee Suomen tavoitetta hiilineutraaliudesta vuoteen 2035 mennessä.

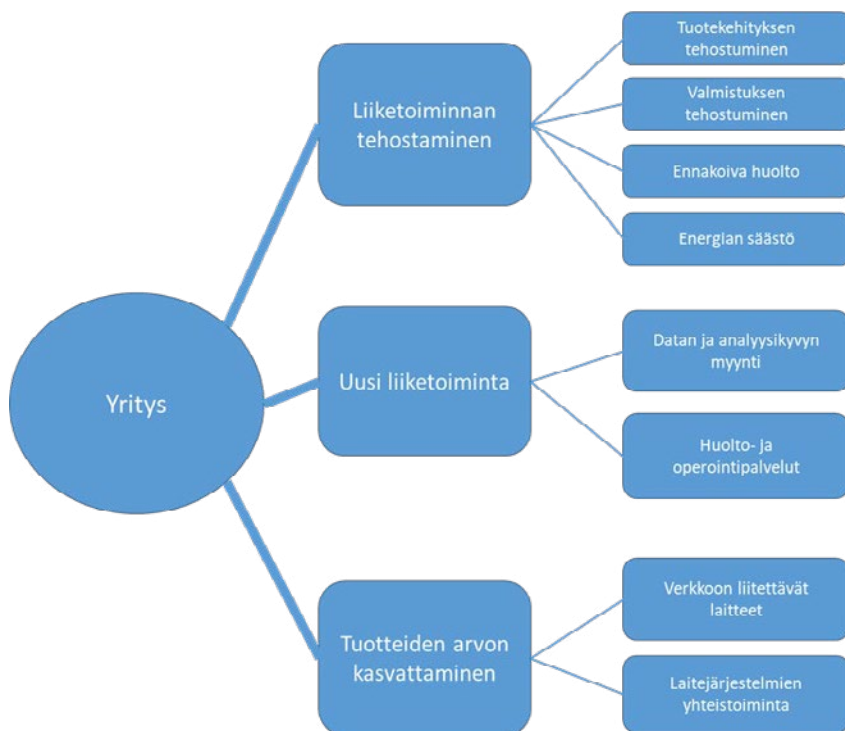
Muutamia vähähiilisyyteen liittyviä laskureita on listattuna liitteelle 1. Liitteelle on poimittu pääosin ilmaisia verkkopohjaisia laskureita, mutta myös yksi kaupallinen sovellus.

### 3 DIGITALISAATION MENETELMIÄ

Tähän kappaleeseen on koottu digitalisaation menetelmiä, joilla voidaan vaikuttaa teollisten prosessien vähähiilisyteen. Silloin mittaukset ja automaatio ovat keskeisessä asemassa, mutta ne käsitellään jo vakiintuneena teknologiana tässä varsin suppeasti. Pääpainotus on digitalisaation uudemmissa menetelmissä, joista teollisuuden sovellusesimerkkejä on vielä vähän. Siksi kaikki esitetyt sovellusesimerkit eivät suoraan liity teollisuuteen tai vähähiilisyteen. Raportissa on kuitenkin esitetty kirjoittajien omia arvioita digitalisaation mahdollisuuksista teollisuuden tehostamiseen ja kuinka ne vaikuttavat lopulta vähähiilisyteen. Digitalisaation menetelmät on pyritty kuvaamaan kohtuullisen tiivistetyksi yksityiskohtiin menemättä. Erityispainotus on käytännön esimerkeissä ja hyötynäkökulmien esiintuomisessa.

Teollisessa internetissä yhdistyvät älykkäät koneet, osaava työvoima ja edistynyt analytiikka. Työntekijät saavat reaaliaikaista tietoa koneiden toiminnasta ja tietoa analysoimalla voidaan ennakoita tapahtumia, kuten huollon tarvetta. Sen avulla on mahdollista myös luoda täysin uudenlaisia liiketoimintamalleja (Kuvio 2) ja palveluja. (Tikka 2015.)

Yksi suurimmista teollisen internetin tuomista muutoksista teollisuuteen on, että aikaisemmin teollisuudessa on pääasiassa toimittu suljetuissa ympäristöissä, jotka eivät vaihda tietoa keskenään. Teollinen internet tarjoaa tietoturvallisia ratkaisuja, joissa tietoa viedään ja tuodaan eri valmistajien palvelualustoilta ja siten saadaan luotua parempi kokonaiskuva. (Juhanko, Jurvansuu, Ahlqvist, Ailisto, Alahuhta, Collin, Halen, Heikkilä, Kortelainen, Mäntylä, Seppälä, Sallinen, Simons & Tuominen 2015.)



Kuvio 2. Yritysten hyödyt teollisesta internetistä (mukaillen Juhanko ym. 2015).

Monimutkaisten tai räätälöityjen tuotteiden valmistaminen sekä markkinoiden kysyntään vastaaminen edellyttää yrityksiltä jatkuvaa tuotekehitystä. Materiaalitehokkuuden kannalta on tärkeää, että yritys pystyy reagoimaan nopeasti ja joustavasti odottamattomiin muutoksiin. Tuotannon reaaliaikaisen seurannan (PMS) avulla voidaan puuttua esimerkiksi häiriötekijöihin ja minimoida niiden vaikutus kokonaisuuteen. (Snatkin, Karjust, Majak, Aruväli & Eiskop 2013.)

Tuotannosta tehtävien mittausten luotettavuus sekä niiden tarkoituksenmukainen hyödyntäminen auttavat ymmärtämään prosesseja aikaisempaa paremmin ja mahdollistavat prosessien mallintamisen sekä optimoinnin. Tuotantoprosessien optimoinnilla parannetaan energia- ja materiaalitehokkuutta ja näin edistetään kestävästä tuotantosta myös ympäristön näkökulmasta.

## 3.1 MITTAUKSET JA AUTOMAATIO

”Et voi johtaa sellaista, mitä et voi mitata. Et voi mitata sellaista, mitä et voi kuvata.” (Kaplan & Norton 2004.) Kyseisten taloustieteilijöiden mukaan päätökset perustuvat juuri mitattavissa oleviin asioihin. Vastaavasti teollisuusprosessien luotettavan toiminnan perusedellytys on, että keskeiset suureet ja ilmiöt pystytään mittaamaan. Teollisuuden nykyhaasteista merkittävä osa kulminoituu mittauksen kattavuuteen ja luotettavuuteen (Turunen 2018). Mittaustekniikan sekä -teknologian kehityksellä voidaan yhä nähdä suuri hyötypotentiaali erityisesti sellaisten suureiden/ominaisuuksien osalta, mitä ei ole pystytty aiemmin mittaamaan, esimerkkinä hyperspektrikamerat, jotka mahdollistavat näkymän uusille aallonpituusalueille ihmissilmän ulottumattomiin (Rahkola 2019). Toisaalta digitaalisilla tiedonkäsittelymenetelmillä nykyisistäkin mittauksista voidaan saada aiempaa enemmän informaatiota ja ne mahdollistavat mittauksen luotettavuuden arvioinnin. Esimerkkinä tapaus, jossa verrataan mallin ja todellisen mittauksen arvoja, jolloin poikkeamat kertovat tyypillisesti mitta-anturin vikatilasta tai pidemmällä aikavälillä liikaantumisesta. Edellä mainitut asiat ovat todella tärkeitä, sillä virheellisen mittaustiedon perusteella tehdyt säätötoimenpiteet voivat johtaa energian kulutuksen kasvuun tai jopa vaarallisiin prosessiolosuhteisiin.

Mittaukset ovat pohjana esimerkiksi säätö- ja automaatiotekniikalle, mikä mahdollistaa optimaaliset olosuhteet teollisuusprosesseissa. Optimaalisten tuotantoprosessien avulla energia- ja materiaalihyöty voidaan maksimoida ja vastaavasti niiden ympäristökuormitus minimoida. Teollisuuslaitosten operaattorit voivat tehdä ohjaus-/säätötoimenpiteitä myös manuaalisesti mittaustiedon perusteella. Rutiinitilanteissa automaation on todettu olevan ihmistä tehokkaampaa, koska se kykenee väsymättä seuraamaan satoja mittausarvoja reaaliaikaisesti ja tekemään tarvittavat toimenpiteet oikea-aikaisesti. Automaatiolla on siten suuri potentiaali hiilijalanjäljen pienentämiseen.

Kehittyneiden säätöratkaisujen avulla, kuten mallipohjainen ennustava säätö (MPC), voidaan minimoida prosessimuuttujissa tapahtuvia heilahteluita. Prosessin tasainen toiminta mahdollistaa haluttujen kriteerien suhteen tapahtuvan prosessien optimoinnin. Tällaisia kriteereitä voivat olla esimerkiksi tuotteen markkinahinnan vaihtelut tai tuotettua tonnia kohti kulutettu energia. MPC-säätö perustuu prosessista luotuihin monimuuttujamalleihin, joiden avulla voidaan ennustaa prosessin toimintaa ja ennakoimalla estää tulevat prosessimuuttujien raja-arvojen ylitykset. MPC-säätö ei yleensä keskity yhden prosessimuuttujan hallintaan, vaan sen tehtävänä on määrittää tiettyyn prosessilaitteeseen tai prosessin vaiheeseen liittyvien alemman tason säädinten asetusravot. Hyvänä esimerkki MPC-säädön käyttökohteesta on suurten rakennusten tai tilojen lämmityksen ja ilmastointijärjestelmän hallinta (Afram, Janabi-Sharifi, Fung & Raahemifar 2017) ja comprehensive review of the artificial neural network (ANN).

### 3.1.1. Vaatimusmäärittely

Ensimmäisenä tarpeena on määrittää mittaamisen kohteena oleva ominaisuus, kuten pituus tai lämpötila. Seuraavaksi määritetään prosessilaitteiston paikka, josta on mahdollista saada mahdollisimman edustavia mittausarvoja. Käytävissä on tyypillisesti useisiin eri mittausteknologioihin perustuvia vaihtoehtoja, joista valitaan tarkkuusvaatimusten ja muiden mittauspaikkaan liittyvien rajoitusten perusteella sopiva mittalaite.

Kaupalliset mittalaitteet perustuvat tyypillisesti jonkin mittauskohteen epäsuorasti muuttuvan sähköisen ominaisuuden mittaamiseen. Tämän takia kannattaa suosia sellaisia mittaustekniikoita, joilla voidaan minimoida häiriöt mitaussuureeseen todellisessa ympäristössä. Mittalaitteet likaantuvat ja ryömivät ajan saatossa, joten mittauksien luotettavuus tulee ylläpitää mm. kalibrointien avulla. Mittalaitteiden luotettavuutta valvotaan erityisesti, kun tuotteen tai palvelun hinta määräytyy mittauksien perusteella. Tällöin mittauslaitteen on täytettävä mittauslaitelain vaatimukset (Mittauslaitelaki 2018).

Automaation osalta tulee hyödyntää yllä mainittuja asioita yksittäisten mittauksien osalta. Säädettävät suureet tulee hallita niin, että materiaali- ja energiatehokkuus sekä tuotteen laatu voidaan maksimoida. Automaation turvallisuus tulee varmistaa kaikissa olosuhteissa.

### 3.1.2 Käytännön esimerkkejä

Konenäön avulla tuotannon laatua voidaan tarkkailla ihmissilmää luotettavammin. Konenäön avulla on saavutettu jopa 1-10 % tuotannon kasvu ja materiaalihäviötä on vähennetty 25-50 %. Konenäöllä on monenlaisia sovelluskohteita, ja EU ja NASA ovatkin valinneet konenäön yhdeksi tulevaisuuden kärkiteknologioista (Rahkola 2019). Konenäkö on keskeisessä roolissa myös liikenneturvallisuuden ja autonomisten kulkuneuvojen kehittämisessä, josta on kerrottu lisää kappaleessa 3.6.

Kaivosteollisuuden jauhatusmyllyt kuluttavat paljon energiaa. Mittaukset, erityisesti uusi teknologia, mahdollistaa prosessin paremman ymmärtämisen – ja edelleen suuren energiansäästöpotentiaalin. Myllyjen säätö perustuu nykyisiin monessa tapauksessa myllyn moottorista saatavaan tehotietoon, jonka avulla ei pystytä reagoimaan kaikkiin muutoksiin myllyn tilassa. Tällä alueella on mahdollisuus saavuttaa suuria säästöjä käyttämällä esimerkiksi värähtelymittauksia, joita hyödynnetään prosessin säädössä. Värähtelyyn perustuvan säädön eduiksi voidaan laskea parempi mukautuvuus myllyn erilaisiin ajotilanteisiin. Värähtelypohjainen säätö pystyy reagoimaan tehopohjaista säätöä nopeammin prosessimuutoksiin, ja tämän vuoksi sillä voidaan tasata myllyn toiminnan vaihteluita. Tasaisemman tuotannon avulla voidaan parantaa jauhatuksen energiatehokkuutta. Gugel & Moon (2007) käyttivät tehoon perustuvan säädön sijaan värähtelyyn perustuvaa säätöjärjestelyä ja saavuttivat keskimäärin 6,2 % säästön käytetyssä energiamäärässä tonnia kohden.

Sellu- ja paperitehtaiden ensimmäinen prosessivaihe on puiden kuorinta, jonka tavoitteena on poistaa 80–98 % kuoresta riippuen lopputuotteesta. Materiaali- ja energiatehokkuuden kannalta on tärkeää, että puut kuoritaan juuri oikeaan kuorinta-asteeseen. Alikuorinta aiheuttaa ongelmia myöhemmissä prosessivaiheissa ja näkyy jopa lopputuotteen laadussa johtaen usein asiakasreklamointeihin. Ylikuorinta vastaavasti lisää puuhäviötä, jolloin arvokasta puuainesta päätyy lopputuotteen sijaan kuoren mukana poltettavaksi. Kuorintaprosessi on energiantensiivinen, ja erityisesti ylikuorinnassa käytetään enemmän energiaa kuin olisi tarpeellista. Kuorintaprosessin automaatio oli vielä viimevuosituhannen puolella vähäistä. Vasta 2000-luvun murroksessa optinen mittausteknologia mahdollisti puuhäviön ja kuorinta-asteen mittaamisen. Erityisesti kemiallisen selluloosan valmistuksessa riittää jopa 80 % kuorinta-aste, mutta aiemmin puita ylikuorittiin reilusti. Syynä oli se, että mittausten puuttuessa vältettiin riskiä myöhempien prosessivaiheiden mahdollisten kuoriongelmiin takia. Mittausten ja mallintamisen avulla on päästy tilanteeseen, jossa prosessi voidaan automaattisesti pitää optimaalisissa olosuhteissa, jolloin kuorintatulos voidaan optimoida, ja samalla energiaa käytetään vain tarvittava määrä. (Isokangas 2010.)

Toteutuneet säästöt voivat vaihdella paljonkin tehdaskohtaisesti, riippuen erityisesti alkutilanteesta. Esimerkiksi Metsä Groupin Äänekosken biotuotetehdas käyttää vuosittain noin 6,5 miljoonaa kiintokuutiota. Yhden prosenttiyksikön säästö puuhäviössä tarkoittaa vuosittain rahallisesti noin 3,25 M€ ja absoluuttisena puuraaka-aineen säästöä 65000 m<sup>3</sup>. Rahallinen tappio lopputuotteen arvona on tietysti merkittävästi korkeampi. Toisaalta säästetty puumäärä aukkohakattuna (200 m<sup>3</sup>/ha) vastaa noin 325 hehtaarin kokoista aluetta ja tätä vastaavan hiilinielun pienenemistä. Kuljetusten näkökulmasta tarkasteltuna 1 % puuhäviösäästö vähentäisi lisäksi noin 1300 täysperävaunullisen rekan puutoimitukset. Keskimääräinen tieliikenteen kuljetusetäisyys oli 108 km vuonna 2013 (Peltola 2014), joten turhaa rekkaliikennettä aiheutuu esimerkissä noin 280 000 km. Yhden prosenttiyksikön häviön suuruisen puumäärän kuljetamiseen kuluu 60 t rekalla n. 120000 l polttoainetta, jonka hiilidioksidiekvivalentti on noin 280 tonnia. Tämän lisäksi kuorimon tuotantoa on uusien mittausten ja automaation avulla pystytty kasvattamaan jopa 30 %, mikä entisestään pienentää käytettyä energiamäärää kiintokuutiota kohden. Tulevaisuuden mahdollisesti korkeampiin tuotantotavoitteisiin voidaan täten päästä nykyisillä tuotantolaitoksilla uusien investointien sijaan, jolloin laitteiden elinkaarta on mahdollista pidentää.

Rakennusten lämmityksessä kulutusjoustolla voidaan saavuttaa merkittäviä säästöjä niin huipputehon kuin energiankulutuksenkin osalta. Hyödyntämällä esimerkiksi datapohjaisia mallinnusmenetelmiä, lämmityksen kulutusjousto voidaan toteuttaa suuressa määrässä rakennuksia, jolloin sillä on merkittäviä vaikutuksia kaukolämpöverkossa. Simulaatiot ovat osoittaneet, että noin 20 MW leikkaus lämmityksen huipputehossa voidaan saavuttaa kaukolämpöverkossa, kun kulutusjousto toteutetaan 200:ssä lämmön-kulutuksen osalta suurimmassa kiinteistössä (= asuinkerrostalot, virastot, toimistot, liikerakennukset ja koulut). Myös yksittäisten rakennusten osalta voidaan saavuttaa merkittäviä säästöjä. Esimerkiksi erään koulurakennuksen lämpöenergiankulutusta voitiin vähentää yhden päivän aikana 1 MWh eli noin 14 % ja huippukulutusta keskimäärin 25 %. (Hietaharju, Ruusunen, Leiviskä & Paavola 2019; Hietaharju, Ruusunen & Leiviskä 2019, 2018; Hietaharju & Ruusunen 2019, 2018, 2015.)

Kehittyneet säätömenetelmät ovat hyviä esimerkkejä automaatiototeutuksista, joilla voidaan saavuttaa merkittäviä parannuksia prosessin hallintaan. Alla esimerkkejä järjestelmätoimittajien raportoimista käyttötapaustista sekä niillä saavutetuista säästöistä.

### 3.1.2.1 Malliprediktiivinen säätö (MPC) öljynjalostusteollisuudessa

Lindsey Oil Refineryn raakaöljyn tislauksyksikkö (CDU) 1:n kehittyneellä prosessisäädöllä saavutettiin kuuden miljoonan euron vuosittaiset säästöt parantuneen prosessinhallinnan avulla. Ennakoiva säätöjärjestelmä ottaa prosessin vaihtelut huomioon mahdollisimman aikaisessa vaiheessa ja säätää prosessia siten, että nämä häiriöt eivät pääse vaikuttamaan haitallisesti tuotantoon. Lisäksi prosessia voidaan ajaa entistä tehokkaammin automaattisen ennakoivan säätötavan avulla, jolloin päästään parempaan tuotteen saantoon ja tuotantomäärään. Tuotannon tehostuminen johtaa siihen, että raaka-aineista voidaan tuottaa entistä suurempia määriä haluttua tuotetta, ja prosessin toimiessa

optimaalisesti se tuottaa myös vähemmän suoria hiilidioksidipäästöjä parantuneen lämmönsäätelyn tuloksena. (Ferrari, Goodhart, Rutter & Friedman 2012.)

### **3.1.2.2 MPC-esimerkki selluteollisuudesta**

Selluntuotannossa jatkuvatoiminen Kamyr-keitin irrottaa puukuidut toisistaan. Sen tavoitteena on tuottaa mahdollisimman tasalaatuista sellua hakkeena olevasta kuitupuusyötteestä. Liian pitkä keittoaika johtaa raaka-ainehäviöiden myötä pienentyneeseen saantoon sekä kuluttaa ylimääräistä energiaa. Parantunut tuotteen laatu myös vähentää luonnolle haitallisten valkaisu- ja kemikaalien tarvetta seuraavissa prosessivaiheissa. ABB:n nettisivuilta löytyvässä esimerkissä heidän 800xA APC-säätöratkaisullaan päästiin huomattavasti tasaisempaan prosessin toimintaan. Tämä johti 51 % laskuun keiton etenemistä kuvaavassa kappaluvussa ja päästiin 1–5 % verran parantuneeseen tuotteen saantoon. (ABB 2020a.)

### **3.1.2.3 Kaivoksen ilmanvaihtojärjestelmän MPC-säätö**

Ilmanvaihto on yksi maanalaisen kaivoksen tärkeimmistä järjestelmistä, joka mahdollistaa ihmisten turvallisen työkentelyn maan alla. Ilmanvaihtojärjestelmä kuluttaa suuria määriä energiaa ja optimoinnilla voidaan vähentää vuosittaista kulutusta merkittävästi. Järjestelmä keskittää ilmanvaihdon kaivoksen käytössä oleviin osiin ja optimoi näiden osioiden ilmavirtaukset. Tällä tavoin voidaan säästää vuositasolla jopa puolet aiemmin kulutetusta energiasta mm. pienentämällä 21 % tuloilman lämmitykseen tarvittavaa energiamäärää. (ABB 2020b, 2015.)

### **3.1.2.4 Etyleenilaitoksen optimointi**

Borealis Polymers Oy:n Porvoon etyleenitehtaan dynaaminen jatkuva-aikainen optimointi (DRTO) tuo merkittäviä parannuksia laitoksen tuotantoon. Jatkuva dynaaminen mallintaminen mahdollistaa laitoksen prosessin vaihteluiden ennustamisen jopa 10 tuntia eteenpäin. DRTO ratkaisu valvoo ja optimoi eri prosessivaiheita hallitsevia MPC-ratkaisuja. Laitoksen optimointijärjestelmä (DRTO) voi ohittaa tietyn prosessivaiheen MPC-säädön, jos havaitaan, että se toimii heikosti laitoksen kokonaisuuden kannalta. Prosessioptimoinnilla on saavutettu 9,5 % tuotannonlisäys, ja taloudellinen hyöty on 12,5 miljoonaa dollaria vuodessa. Tämän onnistuneen käyttötapauksen myötä tekniikka on levinnyt myös muille tehtaille. (Vettenranta, Smeds, Yli-Opas, Sourander, Vanhamäki, Aaljoki, Bergman & Ojala 2006.)



## 3.2 SOFT SENSORIT

Soft sensor (virtuaalianturi, anturifuusio, laskennallinen anturi) -toteutuksissa tyypillisesti yhdistetään mittaustietoja matemaattisella mallinnuksella, jolloin voidaan valvoa yleensä vaikeasti tai kalliimmin muutoin mitattavia muuttujia. Soft sensoreissa voidaan hyödyntää jopa kymmeniä tai satoja mittauksia. Yksittäinen mittausturi mittaa usein epäsuorasti haluttua suuretta ja kalibrointi tehdään yleensä vakioituissa toimintaolosuhteissa. Teollisen ympäristön olosuhteet saattavat kuitenkin poiketa tästä merkittävästi, mikä tyypillisesti vaikuttaa absoluuttiseen mittaustarkkuuteen. Soft sensor –tyyppisillä ratkaisuilla on kuitenkin mahdollista kompensoida tällaisia häiriötekijöitä. Soft sensorin tuottamalla laskennallisilla suureilla voidaan parhaimmillaan kuvata haluttua asiaa yksittäisiä mittauksia yksiselitteisimmin. Esimerkiksi lämpötila voidaan mitata varsin tarkasti, mutta se ei aina yksin riitä kertomaan lämpötilasta, jonka aistimme. Esimerkiksi saunassa veden heittäminen kiukaalle ei juuri vaikuta lämpötilaan, ja aistimamme kuumuus johtuu itse asiassa korkeammasta ilmakesteydestä. Kuumuuden tunne kasvaa entisestään, jos puhallamme ilmaa iholle. Juuri tämän takia sääennusteiden yhteydessä saatetaan ilmoittaa lämpötilan lisäksi ”feels like” -lämpötila, jossa on huomioitu myös muut muuttujat kuten tuuli ja ilmakestäys. Soft sensoreilla voidaan siis yhdistää mittaustietoa joko kompensoimaan olosuhdemuutoksia tai yhdistämään mittaustietoa ja tuottamaan yllä kuvatun mukaisen uuden laskennallisen estimaatin.

### 3.2.1 Vaatimusmäärittely

Soft sensorin kehitys vaatii ensinnäkin selvitystyötä, mitkä muuttujat tulee huomioida, ja mitkä ovat niiden väliset vuorovaikutukset. Joissakin tapauksissa vuorovaikutukset voivat olla epälineaarisia ja muuttua erilaisissa olosuhteissa tai ajassa. Esimerkiksi saunassa puhallus aiheuttaa tunteen korkeammasta lämpötilasta, mutta vastaavasti talvella tuuli lisää pakkasen purevuuden tunnetta. Soft sensoreiden kehitykseen vaadittavassa mallinnusprosessissa on hyvä seurata yleisesti hyväksi todettuja tapoja. CRISP-DM on tällainen laajasti käytössä oleva tiedonlouhintaan ja analytiikkaan liitetty suoritusmalli, jota on kehitetty jo vuodesta 1999 asti (Data Science Project Management 2020).

Teollisuuden prosesseissa tapahtuu yleensä pitkän ajan kuluessa muutoksia, jotka saattavat johtaa siihen, että anturi ei enää näytä todellista arvoa. Tämä on hyvä huomioida anturin toteutuksessa joko automaattisella anturin virityksellä tai määräajoin suoritettavilla tarkistuksilla, kuten laboratorioanalyysillä tai muilla tapauskohtaisilla mittauksilla.

### 3.2.2 Soft sensoreiden hyötyjä ja käytännön esimerkitapauksia

Puun ja monen muun biopohjaisen materiaalin yksi tärkeimmistä ominaisuuksista on kosteuspitoisuus. Erityisesti polttoprosessissa kosteudella on suuri merkitys polttotapahtumaan ja saatavaan energiasisältöön. Mittaustieto mahdollistaa polton pitämisen optimaalisissa olosuhteissa säädön avulla. Kosteuden määrittäminen perustuu kuitenkin tyypillisesti näytteistä määritettyihin pitoisuuksiin. Näyte kuivataan yleensä uunissa 105 asteen lämpötilassa ja tulos saadaan tyypillisesti seuraavana päivänä, jolloin esimerkiksi polttoprosessin yhteydessä tietoa ei enää voida hyödyntää optimaalisten olosuhteiden ylläpitämiseen. Näytteenottostandardien mukainen minimimassa on 150 g, ja yksi näyte täten edustaa vain promillen murto-osia 60 tonnin rekasta. Lisäksi tiedetään, että kosteus vaihtelee yhdessäkin kuormassa huomatta-vasti ja näytteitä tarvittaisiin suuri määrä luotettavan määrittämisen takaamiseksi.

Säätötekniikan aikaisemmassa BEST –projektissa kehitettiin laskennallinen anturi, joka arvioi kuorman kosteuden olemassa olevia mittauksia hyödyntäen. Keskeinen ajatus perustuu puun massan ja tilavuuden suhteeseen, mutta tarkan kosteuden määrittämiseksi tarvitaan tietoa mm. puulajista. Menetelmän etuina ovat mm., että se pystyy määrittämään koko kuorman keskimääräisen kosteuden ja on riippumaton kuorman kosteusvaihtelusta. Erillistä näytteenottoa, lisätyötä tai erillisiä mittalaitteita ei tarvita ja soft sensor -menetelmä soveltuu myös jäiselle tai lumiselle puulle. Edellisten, lähinnä kustannustehokkuuteen vaikuttavien, asioiden lisäksi todellinen vähähiilisyysyhyöty saadaan prosessien ohjauksesta, kun todellinen kosteuspitoisuus on välittömästi käytettävissä (Clic 2015). Optimaalisissa polttoolosuhteissa samasta raaka-ainemäärästä saadaan enemmän energiaa ja tehokas polttotapahtuma mini-moi pienihiukkas- ja muut vastaavat päästöt, kuten seuraavasta esimerkistä käy ilmi.

Toisessa hankkeessa kehitettiin kattilan polttoaineen kosteuden määrittämiseen soft sensor -ratkaisu. Kosteuden reaaliaikaisella, mallipohjaisella estimaatilla pystyttiin säätämään primääri- ja sekundääri-ilmasuhdetta vastaamaan kulloistakin kosteutta (lämpöarvoa) automaattisesti. Testeissä erään 500 kW<sub>th</sub> lämmityskattilan kokonaishyötysuhde nousi 80 prosentista 90 prosenttiin (sisältää sekä palamis-/päästö- ja lämmönsiirron hyötysuhteen). Tällöin 100 MWh energiamäärän vapauttamiseen vuositasolla puusta tarvittiin kyseisessä kattilassa ennen soft sensoria puuta noin 25,3 tonnia (energiasisältö noin 114 MWh) ja soft sensorin ja siihen yhdistetyn säädön avulla 24,7 tonnia (111 MWh) puuta. Vertailu tehtiin tilanteeseen, jossa polttoaineen kosteudesta ei ollut tietoa. Isommissa arinakattiloissa vastaava, kahden kolmen prosenttiyksikön vähenemä polttoaineen kulutuksessa arvioitiin olevan myös saavutettavissa. (Ruusunen 2008.)

Valmiita kaupallisia laskennallisia antureita voidaan hyödyntää esimerkiksi laitteiston kehittyneiden säätöratkaisujen toteutuksessa. Kaivospuolen säätöjärjestelmissä voidaan hyödyntää myllyn täyttöaste-tietoa, joka voidaan saada laskennallisesti käyttämällä venymäliuska- ja kiihtyvyyssantureilta saatavaa mittatietoa. Tällaisia ratkaisuja hyödyntää muun muassa Outotec MillSense® (Metso Outotec 2020). Täyttöastetta voidaan arvioida myös käyttämällä keskiarvoistettuja mittausarvoja myllyn syötetystä kivimäärästä ja jauhatusvälikappaleista, kuten teräskuulista. Alla listattuna muutamia esimerkkejä kai-vosteollisuudessa käytetyistä soft sensoreista.

### **Malmilietteen kiintoainepitoisuuden laskentaan**

- Regressiomallia hyödyntävä ratkaisu (Casali, Vallebuona, Bustos, Gonzalez & Gimenez 1998b).

### **Jauhatuspiirin tuotteen partikkelikoon määrittäminen ajoparametrien perusteella**

- Mallit jauhatuspiirin tuotteen partikkelikoolle eli hydro syklonin ylitteelle (Casali, Gonzalez, Torres, Vallebuona, Castelli & Gimenez 1998a; Du Plessis 2001).
- Kehittyneempiä antureita partikkelikoon arviointiin löytyy artikkeleista (Pani & Mohanta 2014, 2013; Sbarbaro, Ascensio, Espinoza, Mujica & Cortes 2008).

### **Malmin jauhautuvuuden määrittämiseen**

- Kuva-analyysistä saataviin malmin mineraalipitoisuuksiin perustuva yksinkertainen anturi (Casa-li, Gonzalez, Vallebuona, Perez & Vargas 2001).
- Toinen yksinkertainen anturi tähän tarkoitukseen on esitelty artikkelissa (Tano, Pålsson & Sell-gren 2005).
- Hieman kehittyneempiä menetelmiä on raportoitu artikkelissa (Gonzalez, Miranda, Casali & Vallebuona 2008).

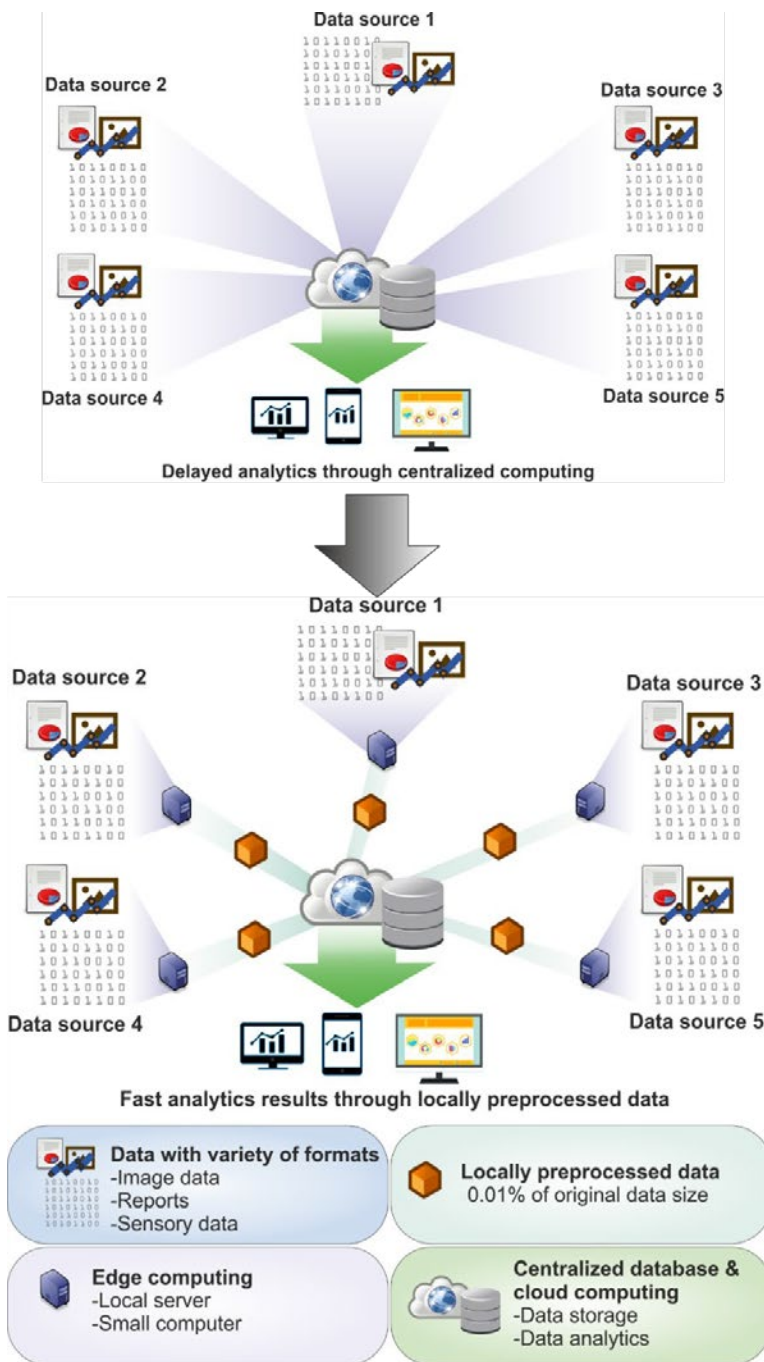
### **Jauhatusmyllyn täyttöasteen määrittämiseen**

- Jauhatuskäyrien hyödyntämistä tutkivassa artikkelissa (Powell, van der Westhuizen & Mainzen 2009) esiteltiin yksinkertainen lineaarinen malli täyttöasteelle
- Myllyn täyttöasteen tutkimista värähtelyyn perustuvilla menetelmillä on esitelty artikkeleissa (Huang, Jia & Zhong, 2009; Tang ym. 2012, 2010).

### 3.3. REUNALASKENTA

Reunalaskennalla tarkoitetaan yleensä mittauskohteen läheisyydessä tapahtuvaa mittaustiedon käsittelyä tai pakkausta helpommin siirrettävään tai käsiteltävään muotoon. Tuotantolaitoksien eri laitteista tai prosessivaiheista voidaan tuottaa uutta tietoa yhdistämällä itse laitteista ja niiden ympäristöstä saatavaa mittausdataa. Siirrettävä tietomäärä voi kuitenkin silloin muodostua ongelmaksi, jolloin tiedon käsittely ennen sen siirtämistä on järkevää tai kenties ainoa keino uuden analyysimenetelmän käyttöönottamiseksi. Kuvio 3 esittää perinteisen keskitetyn laskennan periaatteen ja tuo esiin reunalaskennan hyötyjä verrattuna keskitettyyn laskentaan.

Nykyisin tietoverkon yli siirrettävä tietomäärä on suuri ja se tulee tulevaisuudessa kasvamaan entisestään. Teollisuuslaitoksessa tuotetaan päivässä suuria määriä tietoa ja osa tästä tiedosta siirretään myös ulkoisen tietoverkon yli. Anturitason data tallennetaan yleensä paikallisesti, mutta siirtämällä tätä dataa tietoverkon yli voidaan teettää analyysejä missä tahansa sijaitsevien yritysten analytiikkaosaamisen avulla tehokkaasti ja ilman pitkiä viiveitä. Näiden analyysitulosten avulla voidaan tehostaa päätöksentekoa esimerkiksi huoltoseisakkien suunnittelussa tai mittausdatan luotettavuuden tarkastelussa. Erilaiset tiedonpakkaukseen soveltuvat menetelmät mahdollistavat suurtenkin tietomäärien siirtämisen tietoverkon yli ja pienentävät tämän datan vaatimaa siirtokapasiteettia. Nämä pakkausmenetelmät ovat myös toimivia ratkaisuja, kun mittausdataa siirretään langattomasti tuotantolaitoksessa.



Kuvio 3. Reunalaskennan hyötyjä (mukaien Koistinen & Juuso 2018).

Keskitetyn laskennan haasteena on se, että siirrettävä tietomäärä voi olla hyvinkin suuri ja tämä voi aiheuttaa tarpeentonta kuormaa tiedonsiirtoverkolle sekä tiedon käsittelyketjun yhdelle keskitetyille käsittelypisteelle. Hajauttamalla laskentaa voidaan tehostaa mitatun tiedon hyödyntämistä päätöksenteossa. Lisäksi tiedonsiirtoverkon kuorma pienenee merkittävästi.

Kuviossa 3 esitetty 0,01 % arvo esikäsitellylle datalle perustuu värähtelydatalla tehdyn tutkimuksen perusteella muodostettuun keskimääräiseen arvioon (mukaien Koistinen & Juuso 2018).

Teollisuusympäristöissä reunalaskennan avulla voidaan vastata esimerkiksi kuntoon perustuvan käynnissäpidon vaatimuksiin. Näissä sovelluksissa tarkkaillaan monesti antureista saatavaa dataa ja mahdollisesti yhdistetään sitä ympäristöstä mitattuun tietoon ja luodaan näiden avulla ennusteita tuotantolaitteen tilasta. Tätä tilaa voidaan sitten hyödyntää huoltoseisakkien suunnittelussa tai laitteiston ajoparametrien valinnassa, jotta vältytään enneaikaisilta laiterikoilta. Useat lähteet tunnistavat teollisen kunnonvalvonnan hyödylliseksi käyttökohteeksi reunalaskentamenetelmille.

Pienikokoisten ohjelmoitavien logiikkaohjaimien (PAC) avulla voidaan joustavasti tutkia paikallisen laskennan hyötyjä esimerkiksi ennen kaupallisten ratkaisujen hankintaa. Tällaisten järjestelmien etuna on esimerkiksi tuottaa ennusteita laitteiston kunnosta ilman tarvetta massiivisten tietomäärien siirtelyyn järjestelmien välillä. Hyvänä esimerkkinä tällaisesta käyttökohteesta ovat jatkuva-aikaiset värähtelymit-taukset, jotka tuottavat valtavia määriä dataa jo yhdestä mittauskohteesta. Tämän mittaustiedon käsittely on edullisinta mahdollisimman lähellä mittauskohdetta. (Koistinen & Juuso 2018.)

Laskentateknologian kehitys on mahdollistanut suurien tietomäärien käsittelyn pienillä hajautetuilla laskentajärjestelmillä. Tiedonkeruujärjestelmä (DAQ), johon sisältyy käyttäjäohjelmoitavia mikropiirejä (FPGA), voi tehdä tiedon esikäsittelyä samaan aikaan kun mittaustietoa tallennetaan (Shome, Datta, & Vadali, 2012; Zheng, Liu, Zhang, Zhuang & Yuan 2014).

FPGA-piiri kykenee hoitamaan yksinkertaiset laskentatehtävät nopeammin kuin vastaava digitaalinen signaaliprosessori (DSP) tai PC-tietokone (Vite-Frias, Romero-Troncoso & Ordaz-Moreno 2005). Niitä voidaan hyödyntää esimerkiksi datan esikäsittelyssä, kun poistetaan kohinaa värähtelydatasta samaan aikaan kun sitä mitataan (Shome ym. 2012).

### 3.3.1 Vaatimusmäärittely

Reunalaskennan hyödyt tulee arvioida ennen toteutusta punnitsemalla toteutuksesta sekä mahdollisesta palvelumallista aiheutuvat kustannukset sen arvioituihin hyötyihin nähden. Monessa tapauksessa reunalaskenta on järkevintä toteuttaa palveluna, jolloin vastuu sen ylläpidosta ja tarkasta toiminnasta siirtyy toimittajalle. Tällä tavoin myös voidaan varmistaa laitteiston vaatimat päivitykset ja taata sen toiminta myös tulevaisuudessa.

Reunalaskentaa harkitessa kannattaa huomioida järjestelmän sisältämät rajapinnat esimerkiksi kolmannen osapuolen tuotteisiin tai toimipaikalla jo hyödynnettäviin eri laitetoimittajien järjestelmiin. Tällä varmistetaan mahdollisuus hyödyntää tätä tietoa mahdollisissa tulevaisuuden analyysitarpeissa sekä laitteiston mukautuminen käyttöpaikan järjestelmämuutoksiin.

Oleellista on myös määrittää, mitä toimenpiteitä tehdään laskentaverkon alkupäässä esimerkiksi ölykkäässä anturissa ja mitä käsittelyä kannattaa suorittaa laskentaverkon seuraavissa vaiheissa. Tällä varmistetaan, että data on parhaassa muodossa, kun sitä tarvitaan ja ettei mahdollisesti tarpeellista tietoa häviötä ennen kuin sitä on hyödynnetty. Esimerkiksi suurta tiedonsiirto kapasiteettia vaativaa värähtelydataa ei välttämättä ole järkevää tallentaa jatkuvasti. Kuitenkin laitteiston havaitessa uudentyyppisen poikkeustilanteen voidaan tämän tapahtuman ajalta tallentaa alkupe- räinen data analyysejä varten.

### 3.3.2 Reunalaskennan hyötyjä

Reunalaskennan avulla tietoa voidaan jalostaa mittauskohteen lähellä, jolloin voidaan pienentää suurten datamäärien siirtotarvetta. Parhaimmillaan tiedonsiirtoa voidaan tiputtaa tuhannesosiin alkuperäisestä datasta (Koistinen & Juuso 2018). Tarpeettomasta tiedonsiirrosta aiheutuvia ympäristövaikutuksia tutkittaessa niiden vaikutusten on havaittu olevan yllättävänkin suuria. Vuonna 2007 tietoliikenteen ympäristövaikutusten ennustettiin kasvavan 6 prosentin vuotuisella tahdilla, joka johtaisi vuonna 2020 12 prosentin osuuteen maailman päästöistä (Rong, Zhang, Xiao, Li & Hu 2016). Suomen Liikenne- ja viestintäministeriön arvion mukaan vuonna 2030 yli viidesosa maailmassa kulutettavasta energiasta tulisi tieto- ja viestintäteknologia-alan toiminnasta (Liikenne- ja viestintäministeriö 2019). Tämän lisäksi reunalaskenta mahdollistaa nykyisten tiedonsiirtojärjestelmien kapasiteetin riittämisen pidemmälle tulevaisuuteen eli suoran vaikutuksen elinkaaren sekä vähähiilisuuden suhteen.

Laskentaresursseja hajauttamalla voidaan tehostaa datan käsittelyä tiedoksi. Reunalaskennan avulla voidaan optimoida datan käsittelyketjua, jolloin myös kyetään hyödyntämään analyyysien tuloksia keskitettyä pilvilaskentaratkaisua nopeammin.

Kunnonvalvontasovelluksissa reunalaskennan avulla voidaan muodostaa laitteen tai sen osan kunnosta sekä kunnan kehittymisestä kertovia arvoja tai indeksejä. Nämä kuvaavat arvot mahdollistavat ennakoivan kunnossapidon muodostettavien laitteen/osan elinikäennusteiden kautta. Tämä voi näkyä työntekijälle esimerkiksi erilaisina varoituksina tai hälytyksinä. Tämä tieto voidaan viedä myös suoraan varaosatoimittajan tai kunnossapitoyrityksen järjestelmiin, jolloin lyhennetään mahdollisia viiveitä varaosatoimituksissa tai huoltotoimenpiteissä. Data tulee tallentaa standardin mukaisessa muodossa ja siihen tulee sisällyttää kaikki tarvittava lisätieto, jotta sen käyttökelpoisuus säilyy (Jantunen, Karaila, Hästbacka, Koistinen, Barna, Juuso, Pereira, Besseau & Hoepffner 2017).

Reunalaskennan avulla voidaan luoda teollisuusympäristöön nykyistä luotettavampi langaton verkko. Reunalaskenta edistää esimerkiksi uusien älykkäiden antureiden käyttöönottoa sekä mahdollistaa laajempaa tietoa eri lähteistä yhdistävät analyysit, jotka eivät ole aikaisemmin olleet mahdollisia tiedonsiirron haasteiden vuoksi.

Mitatun tiedon välitön analysointi mahdollistaa laitteiston paremman hallinnan mahdollistamalla viiveettömän reagoinnin toimintatilan muutoksiin. Paremmalla hallinnalla varmistetaan, että laitteisto toimii parhaassa mahdollisessa toimintapisteessä ja tuotanto on tällöin resurssien käytön kannalta tehokasta.

### 3.3.3 Käytännön esimerkitapauksia

Aiemmassa Mittaukset ja automaatio -kappaleessa kuvattiin värähtelysignaaliin perustuva jauhinmyllyn säätötapaus, jossa hyödynnetään myös reunalaskentaa ja saatiin jopa 6,2 % energiasäästö. Kyseisessä tapauksessa tarkkailtiin myllyn toimintaa kiihtyvyyssantureiden avulla, jolloin tuotettu datamäärä on kohtalaisen suuri. Tällaisen datamäärän luotettava siirtäminen on haastavaa ja tarpeellista. Tällaisessa tapauksessa toimiva ratkaisu on suorittaa datankäsittely anturin läheisyydessä hyödyntäen reunalaskentaa. Datasta muodostetut kuvaavat arvot sisältävät tietoa, jota voidaan hyödyntää prosessin ohjauksessa ja ne on helppo siirtää eteenpäin, koska niitä on määrällisesti vain murto-osa alkuperäiseen dataan verrattuna.

Värähtelydataa voidaan esimerkiksi pakata häviöttömässä muodossa niin että alkuperäinen datamäärä voidaan lähes puolittaa (Huang, Tang & Deng 2015). Häviöllisissä tapauksissa, joissa muodostetaan datasta kuvaavia arvoja, voidaan tietomäärä puristaa jopa tuhannesosiin alkuperäisestä raakadatasta.

Reunalaskentaa hyödynnetään kuluttajapuolella laajasti esimerkiksi Googlen ja Amazonin kaltaisten suuryritysten toimesta. Raskaan teollisuuden puolella ollaan vielä hyvin varhaisessa vaiheessa tämän teknologian hyödyntämisen suhteen, mutta jo nyt on kehitetty paljon ratkaisuja, jotka soveltuisivat myös näihin ympäristöihin. Eri liiketoiminta-alueilla reunalaskennalla on myös hyvin erilaisia merkityksiä. Mobiilipuolella reunalaskentaa tehdään monesti verkon solmupisteissä (node, esimerkiksi verkkoreititin), kun taas B2B (business to business) -yrityksille tämä voi tarkoittaa esimerkiksi hajautettua tiedostojakelua, jossa tiedostot ovat saatavilla kohteissa ympäri maailman, mutta niitä hallinnoidaan paikallisesti. Alla muutamia esimerkkejä aihealueella toimivista yrityksistä.

Ericsson on kehitellyt ratkaisuja suurten datamäärien käsittelyyn hajautetusti autoteollisuuden käyttötapauksiin. Näitä samoja datanhallintaperiaatteita voitaisiin hyödyntää myös teollisuuslaitosten tiedonjalostustarpeille. (Svensson, Berg & Kovács 2018).

Siemens kehittää myös teollisuuteen suunnattua asiakkaan tarpeiden mukaan räätälöitävää Industrial Edge palveluaan. (Industrial Edge 2021).

Crosser tarjoaa jatkuva-aikaista laskentaa esimerkiksi logistiikan tai resurssiensuunnittelun reunalaskentasovelluksille ja Software as a service (SaaS) palveluille. (Crosser 2021).

Cisco RFID tagit + automaatiojärjestelmän data ja sen nopea reaaliaikainen analysointi verkon reunoilla. (Grabel 2019).

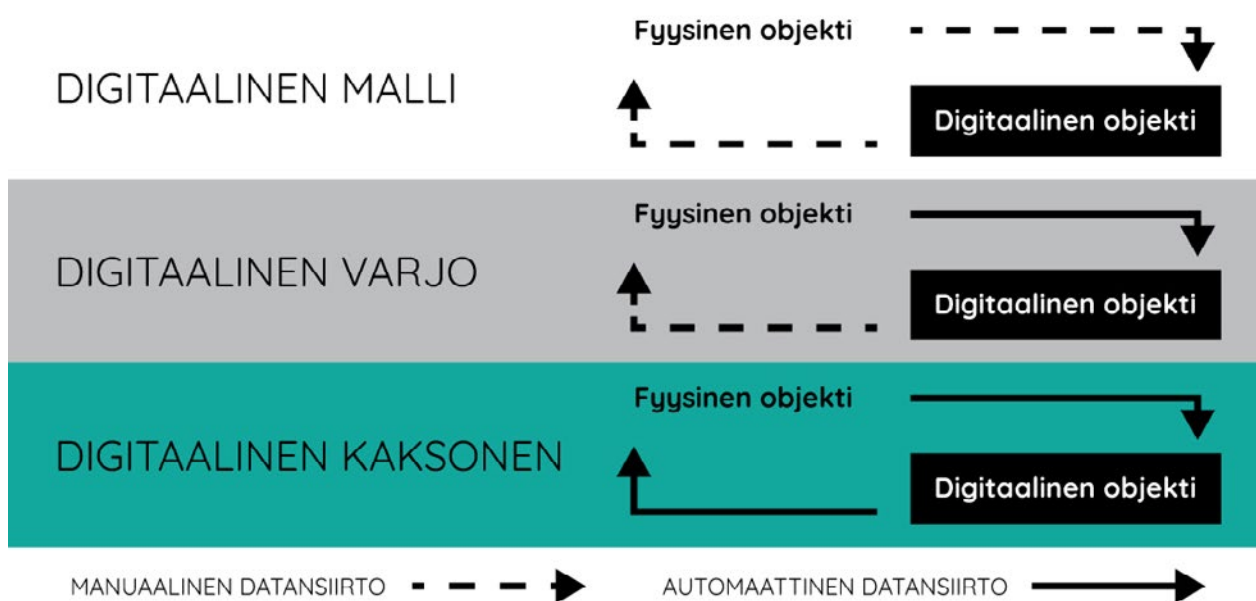
Outotec tarjoaa muun muassa värähtelytietoon perustuvaa MillSense järjestelmää jauhatusmyllyjen jatkuva-aikaiseen analyysiin. (Metso Outotec 2020).

Bosch IoT Gateway -sovellus mahdollistaa tuotantolaitteiden liittämisen ja niiden tuottaman tiedon visualisoinnin ja mallinnuksen verkon laidoilla. (Aktas 2019; Bosch 2020; Köhler 2018).

### 3.4 DIGITAALINEN KAKSONEN

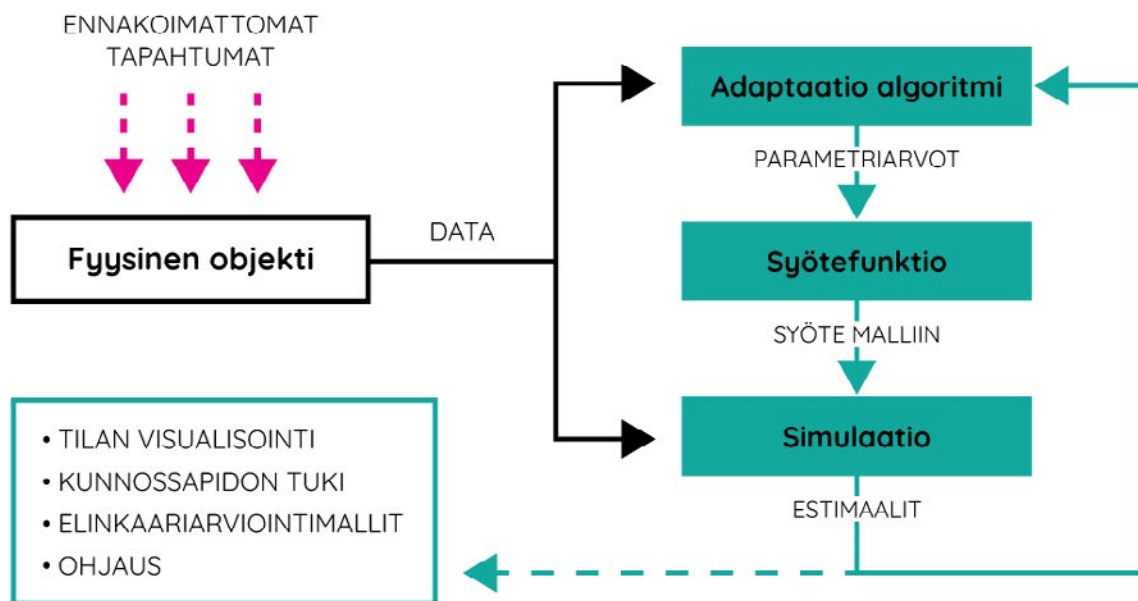
Digitaalinen kaksonen (digital twin) viittaa nimensä mukaisesti tosielämän fyysisen laitteen tai järjestelmän digitaaliseen kopioon. Digitaalista kaksosta on viime aikoina sovellettu yhä suurempiin kokonaisuuksiin, kuten tuotantolinjoihin, tehtaisiin ja älykaupunkeihin. Tekoälyn kehittyessä ihmisillekin voidaan tulevaisuudessa mahdollisesti tehdä digitaalisia kaksosia (Fruhlinger & Shaw 2019). Tekniikan selkärankana on monipuolinen mittaustieto fyysisen kohteen tilasta, minkä vuoksi kattava anturointi on keskeisessä asemassa, siksi IoT nähdään suurena mahdollisuutena. Esimerkiksi tuotteiden testaaminen virtuaalisissa ympäristöissä tyypillisesti nopeuttaa valmistusprosessia ja laskee kustannuksia.

Digitaaliset kaksokset voidaan jakaa dataintegraatiotason perusteella kolmeen kategoriaan (Kuvio 4). Digitaalinen malli on yhteydessä fyysiseen objektiin ainoastaan manuaalisella yhteydellä. Digitaalinen varjo saa dataa fyysisestä kohteesta automaattisesti ja sen tila päivittyy fyysisen objektin tilan muuttuessa. Digitaalinen varjo ei kuitenkaan automaattisesti vaikuta takaisin fyysiseen objektiin. Digitaalisella kaksosella on korkein dataintegraation taso. Siinä data liikkuu automaattisesti molempiin suuntiin, mikä mahdollistaa muun muassa fyysisen objektin ohjaamisen digitaalisen kaksosen avulla. Luokittelun mukaisia todellisia digitaalisia kaksosia on kuitenkin vielä vähän. (Kritzinger, Karner, Traar, Henjes & Sihn 2018.)



Kuvio 4. Luokittelu dataintegraatiotason perusteella (mukaillen Nikula 2019).

Digitaalisen kaksosen adaptaatiossa (Kuvio 5) pyritään minimoimaan referenssiarvon ja estimoidun arvon välinen erotus. Menetelmän toimivuuden kannalta on olennaista valita sopiva syötefunktio, rajoitukset, optimointialgoritmi, optimoinnin kustannusfunktio sekä aikaikkunan koko. Adaptoitua simulaatiota voidaan käyttää esimerkiksi kunnossapidon tukena tai fyysisen objektin ohjauksessa riippuen digitaalisesta kaksosesta käytetystä dataintegraation tasosta. (Nikula 2019.)



Kuvio 5. Digitaalisen kaksosen adaptaatiomekanismi (mukaillen Nikula 2019).

### 3.4.1 Vaatimusmäärittely

Digitaalisen kaksosen jatkuva datavirta tuo haasteita esimerkiksi reaaliaikaiseen iteratiivisesti suoritettavaan laskentaan. Digitaalisen kaksosen tilan mukauttaminen todellisuutta vastaavaksi optimointimenetelmillä saattaa vaatia erikoisratkaisuja. Optimointiin kuuluva laskenta-aika riippuu tavoitteista sekä ongelman monimutkaisuudesta. Yhden minuutin laskenta-aika saavutetaan usein helposti ja se onkin riittävä suoritustaso osassa prosessiteollisuuden sovelluksista. Monissa teollisuussovelluksissa, kuten pyörivissä koneissa, olennaisia ilmiöitä tapahtuu kuitenkin jopa sekunnin murto-osissa. Kun eri skenaarioissa simuloidaan iteratiivisesti ja samalla tavoitellaan ajantasaisuutta, laskennan hitaus voi muodostua suureksi ongelmaksi. Eräs ratkaisu laskennan nopeuttamiseen on simulaattorista tehtyjen yksinkertaistettujen sijaismallien (surrogate models) käyttäminen iterointitehtävissä. Muita laskennallisia nopeutuskeinoja ovat mm. useilla prosessoreilla suoritettava rinnakkaislaskenta sekä laskenta-algoritmien optimointi. Lisäksi syötteitä voidaan päivittää lyhyissä aikaikkunoissa adaptaatioalgoritmin avulla. Siihen voidaan soveltaa esimerkiksi globaalien optimoinnin menetelmiä, kuten differentiaalievoluutiota. (Nikula 2019.)

### 3.4.2 Käytännön esimerkkejä

Autovalmistaja Teslalla on jokaisesta yrityksen valmistamasta autosta digitaalinen kaksosen. Jokaisen kaksosen muodostama pari on sidottu toisiinsa VIN (vehicle identification number) -tunnisteen perusteella. Dataa siirtyy jatkuvasti edestakaisin autosta tehtaalle ja takaisin. Esimerkiksi auton oven narina voidaan korjata lataamalla ohjelma, joka vaikuttaa kyseisen auton oven hydraulikkaan. Teslan mukaan ohjelmistopäivityksiä toimitetaan jatkuvasti perustuen kerättyyn dataan, jolloin digitaalisen kaksosen avulla voidaan tuottaa asiakkaalle yhä enemmän lisäarvoa. (Overton & Brigham 2018.)

Kone valmistaa hissejä sekä tarjoaa palveluja niiden kunnossapitoon. Laskutusperusteena on käyttöaste, joten keskeistä on maksimoida toiminta-aika ennakoivilla huoltotoimenpiteillä, jotka perustuvat digitaaliseen kaksoseen (Keränen 2018). Digitaalisella kaksosella voidaan monitoroida tuotteen tilaa ilman, että yhdenkään osapuolen tarvitsee fyysisesti lähestyä laitetta (Kube 2016). Tämä säästää luonnollisesti ylläpitokustannuksissa esimerkiksi tarpeettomien huoltokäyntien vähenemisen seurauksena. Lisäksi digitaalinen kaksosen mahdollistaa todellisen huoltotarpeen määrittämisen aiemmin käytetyn ennaltaehkäisevän huollon sijaan (Standish 2018). Todellisen huoltotarpeen määrittäminen nostaa myös käyttöastetta ja voi pidentää merkittävästikin tuotteiden elinkaarta.

Eräs teollinen valmistaja kohtasi lukuisia laatuongelmia, mikä johti kalliisiin takuu- ja korjauskustannuksiin. Yritys ja alihankintaverkosto alkoivat selvittää asiaa digitaalisen kaksosen avulla. Kokoonpanolinjaa pystyttiin lopulta kehittämään niin, että korjaustyötä voitiin vähentää 15–20 %. (Mussomeli, Parrot & Warshaw 2017.)



GE on investoinut voimakkaasti digitaaliseen kaksoseen ja hyödyntää sitä jo suunnitteluvaiheessa (Ovenden 2017). GE:n Windfarm -projektissa hyödynnetään digitaalista kaksosta suunnittelussa ja operatiivisessa toiminnassa. Jokainen virtuaalinen turbiini saa dataa fyysiseltä pariltaan, jolloin esimerkiksi huoltotarpeita pystytään ennakoimaan. Lisäksi parametrien adaptaatiolla (esimerkiksi generaattorin vääntömomentin ja siipien nopeus) pyritään saavuttamaan 20 % kasvu sähköntuotannossa (Overton & Brigham 2018).

Myös energiayhtiö Chevron on investoinut paljon öljykenttensä ja -jalostamoidensa digitaalisiin kaksosjärjestelmiin. Samalla Chevron toivoo säästävänsä miljoonia dollareita esimerkiksi laitosten ennakoivalla huollolla. Esimerkiksi ilmailuteollisuudessa jo 1 % tehokkuus tarkoittaa rahallisesti noin 2 miljardia USD säästöä vuodessa maailmanlaajuisesti lentoyhtiöiltä. (Evans & Annunziata 2012).

### 3.5 AUTONOMISET AJONEUVOT

Automatisoitu (itseohjautuva tai robotti-) ajoneuvo on tietokoneen ohjaama ja pystyy ympäristöönsä havainnoimalla ajamaan ja navigoimaan itsenäisesti. Ajoneuvon autonominen ohjaaminen pohjautuu lukuisiin eri mittaukseen sovelluksesta riippuen. Antureina käytetään esimerkiksi optisia mittauksia, kiihtyvyyssantureita sekä mikrofoneja. Lisäksi yleensä hyödynnetään GPS-paikannusjärjestelmää ja ympäristön 3D-mallia. Esimerkiksi Googlen autoversiossa tärkein anturi on katolle sijoitettu pyörivä lidar-anturi, jonka avulla muodostetaan 360-asteinen kuva ympäristöstä. Lisäksi käytetään videokameraa havaitsemaan liikennevaloja ja nopeasti liikkuvia kohteita. GPS-paikannusta ja liikennetunnistusteknologioita yhdistämällä auto voi määrittää oman sijaintinsa tarkasti ja hyödyntää ohjauksessaan tietokannassa olevia tietoja liikennemerkeistä ja tiemerkinnoista (Stewart 2014). Kehityksen suuntaviivoja on kuitenkin useita ja täysin autonomisten ajoneuvojen lisäksi suunnitelmassa on keskusohjattuja järjestelmiä (Brean 2014) sekä puoliautonomisia, joissa autonomiset seuraavat ihmisen kuljettamaa ajoneuvoa (Coelingh & Solyom 2012).

Autot eivät kuitenkaan ole ainoita autonomisia ajoneuvoja. Esimerkiksi mönkijäluotaimet Spirit ja Opportunity, jotka laskeutuivat vuonna 2004 Marsiin ja kulkivat osan matkastaan automaattisesti. Perseverance mönkijä laskeutui Marsiin 18. helmikuuta 2021. Osittain autonominen mönkijä sisältää 17 tieteellistä tutkimuslaitetta, 19 kameraa ja kaksi mikrofonia. Sen sääsama on osin suomalaisen Vaisalan tuotantoa. (Wikipedia viitattu 5.6.2021.)

Kaivoksissa on hyödynnetty itseajavia raskaita ajoneuvoja (Segan 2019) ja vihivaunut ovat olleet jo pitkään teollisuuden käytössä. Maailman ensimmäinen autonominen, ilman miehistöä seilaava laiva on jo testikäytössä Norjassa ja tavoitteena on tehdä laivasta täysin autonominen vuoteen 2020 mennessä (Mykkänen 2017). Drone eli miehittämätön ilma-alus tekee vahvaa tuloaan ja sillä on jo paljon kaupallisia sovelluksia. Esimerkiksi viljelijöille drone tarjoaa uuden tavan havainnoida kasvustoja ja pellon sadontuottokykyä. Tämä on tärkeää myös ympäristönsuojelun näkökulmasta, kun esimerkiksi lannoitus ja kasvinsuojelutoimet voidaan tehdä juuri todellisen tarpeen mukaan (Sorvali 2017). Dronien on arvioitu tulevan tärkeäksi tekijäksi erilaisten toimitusten jakelussa. Esimerkiksi Googlen sisaryhtiö Wing on aloittanut ruokatoimitukset Helsingissä. ”Drone-liiketoiminnan kasvunäkymät ovat niin valtavat, että tulevaisuuden liikennettä ei pysty millään ihmistyövoimalla hallinnoimaan.”, sanoo Traficom:n johtava asiantuntija Jukka Hannola (Tammilehto 2019). Yhdysvaltalainen kuriiripalvelu UPS käyttää drone-lennokkeja sellaisissa kuljetuksissa, joissa asiakkaan luokse on vaikea päästä nopeasti (Hellevi 2016).

Autonomiset ajoneuvot ovat siis jo nykypäivää ja on arvioitu, että vuoteen 2040 mennessä jopa 75 % kaikista ajoneuvoista on autonomisia (Tardo & Stickel 2012). Hyötynäkökuilma on käsitelty myöhemmässä kappaleessa ja niiden perusteella moni asia tulee muuttumaan lähitulevaisuudessa.

#### 3.5.1 Vaatimusmäärittely

Robotit noudattavat pilkuntarkasti ohjeita, eivät juttele ajaessaan puhelimella, eivät väsy tai aja päihtyneenä ja ovat monessa muussakin mielessä ihmistä parempia. NykYTEknologia asettaa rajoituksia autonomisille ajoneuvoille normaalissa liikenteessä. Vaikka sensoreita on lukuisia ja autonominen ajoneuvo voi havaita samaan aikaan ylivoimaisesti ihmisen näkökenttää laajemmin, koneälyn rajoitteena on intuitiivinen toiminta (Brean 2014). Ihminen sen sijaan pystyy tekemään nopeita päätöksiä ja huomioimaan esimerkiksi keliolosuhteet, joita voi olla hankalaa arvioida pelkästään mittauksien perusteella. Myös lumi ja jää aiheuttavat omat ongelmansa, kun kaistamerkinnot eivät ole näkyvissä ja optiset sensorit voivat peittyä lumella.

Robottiautoissa käytettiin aluksi tavallisia suorittimia (CPU), mutta sittemmin näytönohjainten (GPU) laskentateho huomattiin soveltuvan paremmin robottiautojen tarpeisiin. Esimerkiksi näytönohjainvalmistaja Nvidian Pegasus-piiri kykenee 320 triljoonaan laskuoperaatioon sekunnissa, mikä mahdollistaa tason viisi eli täysin autonomisen ajamisen. 5G ja 6G -yhteydet mahdollistavat aikaisempaa nopeamman ja viiveettömämmän tiedonsiirron ja parantavat etäohjauksmahdollisuuksia. Ylipäätään voidaan todeta, että tason viisi autonomiset ajoneuvot vaativat luotettavaa mitaustekniikkaa, varautumista kaikkiin mahdollisiin yllättäviinkin tilanteisiin. Lisäksi automatisoidut toimenpiteet täytyy suunnitella esim. anturien rikkoutumisen tai tiedonsiirtokatkosten tilanteissa.

#### 3.5.2 Hyötynäkökuilma

Robottiautot voivat pienentää liikennekuolemia 90 prosentilla vuoteen 2050 mennessä (LaFrance 2015). Täten myös liikenneonnettomuuksiin liittyvät terveydenhoitomenot alenevat merkittävästi. Polttoaineenkulutus voi alentua jopa 20 prosenttia ja hiilidioksidipäästöt 300 miljoonalla tonnilla (NVIDIA 2021).

Nykyisin autot ovat 95 prosenttia ajasta pysäköityinä eivätkä ajossa, mutta robottiautojen yleistymiseen liittyy myös mahdollisuus yhteiskäyttöajoneuvoihin tekemällä liikkuvuudesta palvelu (Morris 2016). Juuri tämän vuoksi esimerkiksi PriceWaterhouseCoopersin arvion mukaan vuonna 2030 autojen lukumäärä tulee laskemaan Euroopassa 280 miljoonasta 200 miljoonaan autoon (PwC 2017)<sup>12,9</sup>}},"issued":{"date-parts":["2017"]}}}},"schema":"https://github.com/citation-style-language/schema/raw/master/csl-citation.json"} . Useat isot kaupungit kärsivät saasteista sekä liikeneruuhkista ja autojen määrän väheneminen toisi merkittävää helpotusta. Autonomisten autojen potentiaalisina hyötyinä listataan usein myös liikenerikkomusten vähentyminen, koska robotti tottelee tarkasti liikennesääntöjä. Robottiautot mahdollistavat myös sen, että esimerkiksi vanhukset, lapset ja vammaiset pystyvät hyödyntämään niitä (NVIDIA 2021).

### 3.5.3 Esimerkkitapauksia

Rauman satamassa on selvitetty autonomisen liikenteen kaipaamaa tilannetietoa ja käytössä on jo älyväylä. Rauman edustalla on testialue autonomisten alusten testaamista varten (Martiala 2018). Yara Internationalin mukaan autonominen laiva tulee säästämään noin 40 000 rekalla ajettavaa matkaa vuosittain, joten laivan käyttöönotto on myös merkittävä ekoteko (Mykkänen 2017). Autonomisilla aluksilla ei tarvita myöskään ihmisille tarkoitettuja tiloja, kuten hyttejä eikä ruokatarvikkeita. Tämä mahdollistaa alhaisemmat valmistuskustannukset ja korkeamman hyötykuorman, millä on suuri merkitys ympäristönäkökulman kannalta.

Metsä Groupin Äänekosken biotuotetehtas käyttää vuosittain noin 6,5 miljoonaa kuutiota kuitupuuta ja haketta. Käytännössä se tarkoittaa keskimäärin 240 rekkakuormaa ja 70 junavaunullista kuitupuuta päivittäin. Lisäksi valmista sellua maailmalle lähtee noin 1,3 miljoonaa tonnia. Biotuotetehtaalle suunniteltiin uudenlainen logistiikkaratkaisu, joka palvelee tehtaan puutavara- ja sellukuljetuksia. Tuotanto puskuroidaan ja lajitellaan automaattisesti tuotelajien sekä asiakastilausten mukaan. Esimerkiksi 1 400 sellutonnin kuljettavan junan lastaus hoituu autonomisten ajoneuvojen toimesta noin kuudessa tunnissa. Biotuotetehtaan automaattinen lastaus onkin keskeinen tekijä, jotta junat saadaan lastattua nopeasti ja pysytään aikataulussa (Vartia 2017). Metsä Fibre on rakentanut oman tuotevaraston Vuosaaren vientisatamaan, johon kuljetukset hoituvat ympäristötehokkaasti sähköveturein. Uusi teknologia on edellyttänyt laajamittaista tietojärjestelmien kehittämistä ja yhteensovittamista muiden palvelutoimittajien kanssa (Äänekosken kaupunkisanomat 2017). Pisimmillään junat ovat 400-metrisiä ja saapuvat Vuosaaren uuden vientivaraston terminaalien viereen, josta ne jatkavat matkaansa jopa 120 maahan (Vartia 2017).

Autonomiset kaivoksen kuljetuskuorma-autot voivat lisätä tuotantoa 15–20 %:lla, alentaa polttoaineenkulutusta 10–15 % ja vähentää ylläpitokustannuksia 8 % (Oxford Martin School 2015). Autonomisten poraustornien väitetään voivan lisätä tuottavuutta 30–60 % (Oxford Martin School 2015). Kiva Systemsin roboteilla varustetut varastot voivat käsitellä neljä kertaa enemmän tilauksia perinteisiin verrattuna (Rotman 2013).

UPS:n mukaan drone saattaa olla merkittävästi muita vaihtoehtoja nopeampi toimitustapa. Esimerkkinä he raportoivat toimittaneensa astmapiiipun saarella järjestettävällä kesäleirillä parhaillaan olleelle tytölle. Saarelle ei pääse autolla, ja yhtiön mukaan lääke saatiin kuljetettua dronella noin kuudessa minuutissa. (Hellevi 2016.) Samalla tavalla dronien nopeus tulee esille myös kaupunkien ruuhkissa. Erityisesti pienikokoisten artikkeleiden toimitukset ovat myös ympäristönäkökulmasta ylivoimaisia verrattuna esimerkiksi autoon.

Viasor Oy on kehittänyt droneja hyödyntävän ratkaisun vaikeasti lähestyttävien kohteiden kunnan tarkastukseen. Tällaisia ovat mm. säiliöt, savupiiput ja kattilat. Droneilla tehtävät esimerkiksi seinämän paksuusmittaukset mahdollistavat kustannustehokkaasti ja turvallisesti käsin suoritettuja mittauksia laajemman otannan. Dronejen avulla huolto-oseisokkien kesto lyhenee ja alentaa kustannuksia, kun telineitä ei tarvita. Myös turvallisuusnäkökulma nousee esiin: nyt kunnossapitotarpeen arvioinnin vuoksi ei tarvitse mennä vaarallisiin paikkoihin sisälle. (Garlo-Melkas 2019.)

## 3.6 3D-TEKNOLOGIA

### 3.6.1 3D-skannaus

3D-skannauksella monimutkainenkin esine voidaan muuntaa digitaaliseen kolmiulotteiseen muotoon. 3D-skannauksessa kappale voidaan mitata noin kymmenesosassa käsin mittaamiseen käytetystä ajasta ja vastaavasti tarkkuus on jopa sata kertaa parempi. Lisäksi prototyypit voidaan suunnitella virtuaalimaailmassa, mikä säästää paitsi aikaa myös raaka-ainetta. 3D-skannaus on muutenkin ekologista, sillä sen myötä voidaan vähentää tai jopa kokonaan poistaa tarpeen paperisille piirustuksille (Ruonaniemi 2019). 3D-skannaus perustuu yleensä laserkeilaukseen, jossa mitta-keilain lähettää säteitä tiheänä rasterina. Lasersäteen kohdatessa esteen keilain mittaa etäisyyden ja säteen intensiteetin muutoksen, jolloin kimmoamispisteen koordinaatit voidaan laskea. Kohde voidaan myös keilata useammasta suunnasta katvealueiden välttämiseksi. Tuloksena on pistepilvi, josta saadaan hahmotettua kohteen kolmiulotteinen pinta. Yhdessä pistepilvessä voi olla jopa miljardeja pisteitä. (Wikipedia viitattu 9.12.2019)

Laserkeilaimen voidaan liittää kamera, jolloin pistepilven todelliset värit pystytään muodostamaan pistepilvien ja kameran tallentamien kuvien avulla. Laserkeilauksen avulla lähes mikä tahansa kohde voidaan tallentaa digitaalisesti 3D-malliksi (Torikka 2017). Laserkeilausta on hyödynnetty esimerkiksi teollisuuslaitosten korjaussuunnittelussa, maaston korkeuskartoituksissa, metsien kartoituksessa, arkeologiassa sekä tielinjojen, tunneleiden ja siltojen mittauksissa (Wikipedia viitattu 9.12.2019). Autonomisten alusten yleistyessä esimerkiksi satamien on valmistauduttava tuottamaan riittävästi tietoa väyläalueesta. Esimerkiksi Vuosaarella on testattu lidaria (laserkeilaus) tuottamaan reaaliaikaista 3D-karttatietoa (Martiala 2018.)

Kuva on esimerkki Oulun yliopiston Fab Labin laserkeilaimesta, jolla voidaan skannata millin murto-osien tarkkuudella esimerkiksi pieniä prosessilaitteita.



Kuva 1. Pyörivään alustaan kiinnitettävä robottikäsi 3D-skannausta varten.

### 3.6.2 Vaatimusmäärittely

Alkuun tulee määrittää skannattava kohde ja tarkkuusvaatimukset. Laserkeilaimia on kolme perustyyppiä: (Wikipedia viitattu 9.12.2019)

- kaukokeilan, mittausetäisyys 100 m – 100 km, tarkkuus < 10 cm
- maalaserkeilain, mittausetäisyys 1 – 3 m, tarkkuus < 2 cm
- teollisuuslaserkeilain mittausetäisyys < 30 m, tarkkuus < 1 mm

Laserkeilaimien asetuksista voidaan myös yleensä vaikuttaa tarkkuuteen. Suurempi tarkkuus kuitenkin kasvattaa mittausaikaa ja tiedoston kokoa. Lisäksi on huomioitava, että ikkuna- ja peilipinnoista ei yleensä saada luotettavia mittauksia. Tämän vuoksi kiiltävät pinnat voidaan peittää esimerkiksi teipillä mittausten ajaksi.

### 3.6.3 3D-tulostus

3D-tulostus on yksi tämän hetken puhutuimmista digitalisaation sovelluksista ja sen on ennustettu korvaavan muut valmistustekniikat. 3D-tulostuksen avulla voidaan tulostaa melkein mitä vain. Esimerkiksi kokonainen sähköauto on tulostettu 3D-tekniikalla (Davis 2014). 3D-tulostuksella tarkoitetaan ainetta lisäävää valmistusta ja se on tuonut vaihtoehtoisen tavan valmistaa kappaleita. Aiemmin kappaleiden valmistukseen käytettiin yleensä materiaalia poistavia menetelmiä, joita ovat esimerkiksi jyrsintä, sorvaus, hionta, laserleikkaus, poraus ja mikrokoneistus. 3D-tulostus on hyvä esimerkki, kuinka perinteiseen ainetta lisäävään valmistustekniikkaan on saatu merkittävä kehitysaskel juuri digitalisaation avulla. 3D-tulostuksessa tyypillisesti tietokoneen avulla suunniteltu kappaleen malli voidaan tuottaa fyysisesti esineeksi helposti ja nopeasti (Räisänen 2017). Kolmiulotteiset kappaleet voidaan valmistaa CAD-mallin pohjalta, jonka tulostusohjelma viipaloi kymmeniin tai jopa satoihin viipaleisiin. Mallin avulla 3D-tulostukseen tarkoitettu tulostin valmistaa kappaleen viipaleiden mukaisesti lisäämällä materiaalia kerros kerrokselta muodostaen lopulta halutun kappaleen. (What is 3D printing 2019.)

3D-tekniikka on kehittynyt nopeasti, mikä on johtanut tulostimien hintojen laskuun ja niiden helpompaan käyttöön. 3D-tulostus on saavuttanut jopa kotikäytön. Nykyään 3D-tulostimella käytetyimmät materiaalit ovat muovi, metalli ja keraami. Yleisimpiä ovat pursotustekniikka, lasersintraus ja stereolitografiaan perustuva tulostus (Räisänen 2017). Yleisimmin käytetään pursotustekniikkaa (FDM, fused deposition modeling), jossa kappale valmistetaan pursottamalla raaka-ainetta suuttimesta ohuena nauhana ja muodostetaan sulasta nauhasta yksi kerros kappaleesta. Raaka-aine jäähtyy nopeasti ja kiinnittyy alempaan kerrokseen, jonka jälkeen kappaleen alustaa lasketaan kerrospaksuuden verran ja kone pursottaa seuraavan kerroksen, kunnes kaikki kerrokset on tehty. Lasersintrauksessa (SLS, selective laser sintering) tulostin levittää hienoa muovijauhetta tasolle ja sintraa sen tehokkaalla laserilla. Sintratun kerroksen jälkeen tulostustasoa lasketaan kerrospaksuuden verran ja jatketaan seuraavasta kerroksesta. Stereolitografia (SLA) -menetelmässä nestemäistä muovikemikaalia kovetetaan kerros kerrokselta UV-laservalon avulla. Muovikemikaali on tyypillisesti epoksihartsia. (What is 3D printing 2019.)

3D-tulostuksessa on monia etuja verrattuna muihin valmistusmenetelmiin. Yksi tärkeimmistä eduista on mahdollisuus valmistaa erityisesti pieniä eriä kustannustehokkaasti, kun esimerkiksi muottien suunnittelua ei enää tarvita. Tekniikka parantaa myös pienien erien toistettavuutta sekä tarvittaessa muunneltavuutta. Muita etuja ovat se, että tehtävän kappaleen monimutkaisuus ei lisää kustannuksia ja valmistuksesta aiheutuva ainehävikki on vähäistä. 3D-tulostus mahdollistaa varastotilan minimoinnin, koska tuotteita voidaan tehdä suoraan tilauksesta eikä varastoon tarvitse tehdä suuria määriä tuotteita etukäteen. Lisäksi 3D-tulostus poistaa osan geometrisistä rajoituksista verrattuna ainetta poistaviin valmistusmenetelmiin. Tällä tavalla voidaan valmistaa esimerkiksi onttoja tai verkkomaisia rakenteita. Materiaaleja voidaan myös kohdentaa kohtiin, missä niille on erityisesti tarvetta. Esimerkiksi kappaleiden ominaisuudet voivat parantua, paino pudota ja tarvittavien osien määrä vähentyä huomattavasti. (Räisänen 2017.)

Alhaisempi osien lukumäärä vähentää kokoonpanotyötä ja täten mahdollistaa alemmat kustannukset. Esimerkiksi kokonaisen sähköauton tapauksessa oli vain 49 osaa, kun normaalisti autossa määrä on noin 25000 (Davis 2014). Potentiaalisimpia ajureita 3D-tulostukselle lähitulevaisuudessa ovatkin kriisivalmiuden parempi ylläpito, nopeus ja kustannustehokkuus, älyn integrointi osiin, piensarjavalmistus sekä optimoitujen osien valmistaminen. (Salmi, Partanen, Tuomi, Chekurov, Björkstrand, Huutilainen, Kukko, Kretzschmar, Akmal, Jalava, Koivisto, Vartiainen, Metsä-Kortelainen, Puukko, Jussila, Riipinen, Reijonen, Tanner, & Mikkola 2018). 3D-tulostuksen veturina on ennustettu jatkossa olevan pääosin teollisuus, ja liiketoimintamahdollisuuksien suuruudeksi on arvioitu 42 miljardin US dollarin arvon vuoteen 2026 mennessä. (What is 3D printing 2019.)

### 3.6.4 Vaatimusmäärittely

Ensimmäiseksi tulee määrittää 3D-tulostettavan kohteen ominaisuudet, kuten koko, valmistusmateriaali, lujuus- ja tarkkuusvaatimukset, jotka vaikuttavat myös 3D-tulostimen valintaan. Monimutkaisissa kappaleissa voidaan tarvita myös tukirakenteita sekä jakamista moneen erikseen tulostettavaan osaan.

### 3.6.5 Esimerkkitapauksia ja raportoituja hyötyjä

Airbus on asettanut tavoitteeksi pudottaa lentokoneen paino puoleen 3D-tulostuksen avulla. Tämä vähentää radikaalisti polttoaineenkulutusta ja lisää luotettavuutta osien välisten liitoksien vähentämisen myötä. (Enmac 2016.) Ilmailuteollisuus käyttää 3D-tulostusta monilla eri tavoilla. Esimerkiksi GE Aviation on valmistanut noin 30000 koboltti-kromi-poltoainesuutinta uusiin LEAP-moottoreihin. Aiemmin noin 20 yksittäistä osaa piti hitsata yhteen, jotka voidaan nyt korvata 3D-tulostetulla osalla. Uusi 3D-tulostettu kokonaisuus on lisäksi 25 % kevyempi mutta 5 kertaa lujempi. LEAP:n moottori on ilmailusektorin tämän hetken parhaiten myyvä moottori sen korkean hyötysuhteen ansiosta ja GE on ar-

voinut säästävänä 3 miljoonaa dollaria lentokonetta kohti 3D-tulostetulla polttoainesuuttimella. (What is 3D printing 2019). Ilmailusektorin osaaminen 3D-tekniikan saralla nähdään erityisen houkuttelevalla avaruustekniikassa, koska tiettyjä metalliseoksia on mahdollista valmistaa vain 3D-tulostuksen avulla. 3D-tulostimella voi tehdä myös ristikkorakenteita, joilla voidaan vähentää perinteisten kasattujen rakenteiden painoa. (Tekniikka&Talous 2015.)

Saksan kansallinen rautatieyhtiö Deutsche Bahn on jo ilmoittanut perustavansa junaliikenteen varaosatoimitusten ja logistiikan 3D-tulostukseen (Enmac 2016). Valmet hyödyntää 3D-tulostusta esimerkiksi sellu- ja paperitehtailta, koska uusien asiakaskohtaisten osien valmistus on 3D-tulostuksen avulla nopeampaa. Lisäksi tämä mahdollistaa uusien tuotteiden nopeamman tarjonnan markkinoille (Metsäalan ammattilehti 2016).

Whirlpool on ottanut käyttöönsä varaosien 3D-tulostamisen, vähentäen näin varaosien varastointitarvetta ja mahdollistaen myös jo loppuneiden varaosien tuotannon (Singtel 2021).

Äänekoskella on 3D-pienoistehdas, joka soveltuu muun muassa teollisuuden tuotekehitykseen. ”Aikaisemmin prototyyppiä tehtiin käsin veistellen tai koneistamalla, ja sille tuli hintaa. Pelkästään ruiskuvalumuotti voi maksaa tuhansia euroja. Tulostamalla sama saadaan aikaan muutamalla eurolla [–].” (Seppälä & Pennanen 2014 [Pihlajamäki 2014].) Heillä voidaan käyttää myös puupohjaisia biomateriaaleja 3D-tulostuksessa. Sellutehtaan yhteyteen on mietitty biopohjaista tulostusmateriaalia valmistavaa liiketoimintaa, sillä toistaiseksi kyseinen tulostusmateriaali on tuotu ulkomailta. (Seppälä & Pennanen 2014.)

Outotecilla on laserskannaukseen perustuvia tuotteita, joilla voidaan säännöllisesti skannata esimerkiksi rikastusprosessilaitteistoja. 3D-skannauksien perusteella voidaan määrittää prosessilaitteiden keskeiset ainevahvuudet, pituusprofiilit sekä mahdolliset murtumakohdat. Eri ajankohtina tehtyjen skannausten dataa vertailemalla voidaan määrittää laitteistojen kulumisen ja havaita muutokset. Kunnossapito-organisaatio voi aikaisempaa tarkemman tiedon pohjalta puuttua mm. epätasaiseen kulumiseen. 3D-skannauksista ei aiheudu edes tuotantomenetyksiä, sillä skannaukset voidaan tehdä jopa 15 minuutissa tuotantoprosessin ollessa pysähtyneissä. (Fryar 2013.) Tarkempi prosessilaitteiden kulumisen seuranta mahdollistaa oikea-aikaiset huoltotoimenpiteet ja mahdollistaa optimaalisten prosessiolosuhteiden määrittämisen myös laitteiden keston suhteen. Tämä on tärkeää prosessilaitteiden elinkaariajattelun näkökulmasta.

3D-tulostuksen mahdollisuuksia ja haasteita selvitettiin eräiden demonstraatiokappaleiden kautta. Tarkastelussa verrattiin perinteisen valmistustavan ja 3D-tulostuksen kustannuksia, valmistusnopeutta, raaka-ainemääriä ja laatua. Eräissä yrityksissä päädyttiin siihen, että noin 2 prosenttia varaosista olisi kannattavaa niin taloudellisesti kuin teknologisesti valmistaa 3D-tulostamalla. Kyseisen yrityksen tapauksessa tämä vastasi yli neljää tuhatta erillistä nimikettä. Määrä olisi ollut merkittävästi korkeampi, jos analyysissä olisi huomioitu kaikki näkökulmat, kuten 3D-tulostuksen säästöt varastointi- ja muottikustannuksissa. Digitaaliset varaosat voivat vähentää myös tullaukseen liittyviä kustannuksia. Teollisessa ympäristössä tulee lisäksi huomioida seisokkiajan kustannus, joka voi muodostua niin merkittäväksi, ettei varaosan hinnalla ole paljonkaan merkitystä. (Salmi ym. 2018.)

3D-tekniikalla vaikuttaa olevan suuri vaikuttamismahdollisuus tulevaisuuden vähähiiliseen yhteiskuntaan. 3D-tulostamisen avulla voidaan kehittää uusia rakenteita, joilla voidaan merkittävästi parantaa lujuusominaisuuksia suhteessa käytettyyn raaka-ainemäärään. Esimerkiksi Airbusin tavoite pudottaa lentokoneen painoa puoleen 3D-tulostuksen avulla vähentää radikaalisti polttoaineenkulutusta, millä on suora vaikutus vähähiilisyteen. Pelkästään suomalaisten lentämisen päästöt ovat noin 8 miljoonaa tonnia hiilidioksidia, kun lentämisestä huomioidaan ilmastoa lämmittävät typen oksidit ja vesihöyry. Lentoliikenteellä on siis suurempi vähähiilisyysvaikutus kuin autoilulla (Ikävalko 2019).

3D-tekniikalla voidaan vaikuttaa myös autoilun ja teollisten prosessien vähähiilisyteen. Lisäksi 3D-tulosteiden hinta ja laatu ovat jo useissa tapauksissa halvempia kuin perinteisin menetelmin valmistetut. Digitaaliset varaosat vähentävät myös kuljetuskustannuksia, erityisesti jos tehdas joudutaan pysäyttämään ja varaosa voidaan valmistaa nopeasti 3D-tekniikalla. 3D-tulostuksen päästöistä puhuttaessa suurinta keskustelua herättävät tulostukseen tarvittava energia sekä tulostusmateriaalin, esimerkiksi metallijauheen valmistuksesta aiheutuvat päästöt. Tästä aihealueesta löytyy lisää tietoa esimerkiksi AMFG:n sivuilta (AMFG 2021). Lisäksi 3D-tulostuksen tuotantonopeus on perinteisiin menetelmiin verrattuna usein alhaisempi ja tämä aiheuttaa rajoituksia varsinkin suurten tuotantomäärien valmistusprosesseissa. 3D-tulostuksen hyödyt ovat kuitenkin teollisuudessaakin tunnistettuja ja tekniikan arvioidaan yleistyvän tulevaisuudessa.

### 3.7 LOHKOKETJU-TEKNOLOGIA

Lohkoketju on yksi tietoaineiston tallennustapa, kuten monista ohjelmistosovelluksista tutut tietokannat. Lohkoketjujen ominaispiirteenä on yhteisen tietoaineiston hajautettu tallennus useaan paikkaan (lohkot). Aineiston yksittäisen osan muokkaus muuttaa aina koko ketjua, koska uusi lisätty tai muokattu tieto kytkeytyy aina olemassa olevaan ketjuun eli muutoksesta jää ns. pysyvä jälki. Tällä taataan tietoaineiston luotettavuus ja varmennetaan tietojen oikeellisuus (vrt. tietoturva) monitoimijaympäristöissä. Lohkoketjuihin sisäänrakennetut arkkitehtuuriset ominaisuudet siis takaavat, että tietoaineisto on luotettava, muutokset jäljitettäviä ja siten aineiston käyttö tietoturvallista. Vaatimusmäärittely on esitelty liitteessä 2.

#### 3.7.1 Käytännön esimerkkejä

Käytännön esimerkkejä lohkoketjujen hyödyntämisen potentiaalista teollisuudessa ovat niiden tuottamat jäljitettävyys, läpinäkyvyys ja älykkäät sopimukset (Lähde 2020).

Vastuullisuus, päästökauppa ja hiilijalanjäljen optimointi ovat ilmastotavoitteiden vuoksi keskeisiä tavoitteita ja haasteita teollisuudessa. Esimerkiksi päästöjen laskentaan ja raportointiin on useita eri menetelmiä ja laskureita, joka lisää epävarmuuksia tietojen vertailtavuuden osalta toimijoiden välillä.

Yksi keino avata ja tasapuolistaa näiden edellä mainittujen asioiden mittaamista ja raportointia olisi lohkoketjuihin perustuvien yhteisten älykkäiden sopimusten eli käytännössä raportointialustojen hyödyntäminen. Näiden avulla sopimuskumppanit saataisiin ns. samalle viivalle. Täsmäntyyppisiä ratkaisuja eli älykkäitä sopimuksia on jo kehitetty ja hyödynnetty maailmalla. Nämä perustuvat digitaalisten menetelmien eli tekoälyn, koneopin ja lohkoketjujen käyttöön esimerkiksi hiilijalanjäljen raportoinnissa.

Älykkäillä sopimuksilla tuotettuja etuja ovat esimerkiksi toiminnan avoimuus ja läpinäkyvyys, yleiskustannusten alentaminen ja ajan säästäminen. Ne ovat paperisopimuksiin verrattuna luotettavampia, turvallisempia ja tehokkaampia. Keskitetty tietojen tallennus on erittäin haavoittuvainen yksityisyyden ja turvallisuuden kannalta, koska se sisältää henkilökohtaisia ja arkaluonteisia tietoja käyttäjistä, sijainneista, toiminnoista ja taloudellisista tiedoista. (Ali, Wang, White & Cottrell 2018; Cui, Asghar & Russello 2018; Luu, Narayanan, Zheng, Baweja, Gilbert & Saxena 2016.)

### 3.8 TEKOÄLY JA KONEOPPIMINEN

Tekoäly voidaan ajatella koneeksi, joka toteuttaa erilaisia laskennallista analytiikkaa vaativia suoritteita, kuten hahmotaminen, oppiminen ja päättely. Tekoälyllä pyritään ratkaisemaan monimutkaisia ongelmia, joiden suorittamiseen ihmisen kapasiteetti ei riitä. Tekoälyn vertailukohtana pidetäänkin ihmisen tasoa, koskien päättelyä, puhetta ja näkemistä.

Tekoälyä käytetään jo tällä hetkellä monilla aloilla, kuten lääketieteessä, automaattisissa tunnistuslaitteissa, automatisoidussa ajoneuvon ajossa ja koneellisessa viljelyssä (Dogo, Salami, Aigbavboa & Nkonyana 2018). Tekoäly analysoi raakadataa syötteenä, suorittaa päätöksenteon, ja tuottaa siten ratkaisun tiettyyn tarkoitukseen (Rathore, Sharma, & Park 2017).

Koneoppiminen on tekoälyn osa-alue. Koneopin osa-alueita ovat taas esimerkiksi syväoppiminen ja neuroverkot. Koneoppimisen ominaispiirre on sen itsenäinen oppimistapa. Koneoppimisen malli opetetaan opetusdatalla ennustamaan jotain lopputulosta, minkä jälkeen testidatalla voidaan todentaa, miten hyvin opetus onnistui. Koneoppi käyttää analyysissa askel askeleelta datasta oppivia algoritmeja (esim. lineaarinen regressioanalyysi) eli vaihe vaiheelta muodostuva, jotain haluttua lopputulosta ennustava malli opettaa jatkuvasti itseään sille annetusta syötedatasta. Mitä enemmän mallilla on käytössä oikeanlaista syötedataa, sitä parempi on lopputulos.

Koneoppimisen avulla tunnistetaan poikkeavuuksia ja tehdään ennusteita, jotka perustuvat mallille annettuun dataan ja sen määrään. Analysoitava data voidaan kerätä esim. teollisesta IoT-sovelluksesta. Koneoppimista voidaan hyödyntää päätöksenteon tukena ja sillä voidaan ennakoida ja optimoida esimerkiksi tuotannon prosessien ja laitteiden toimintaa (elinkaaren hallinta, käynnissä- ja kunnossapito), hallita varastoja ja vähentää seisokkeja.

Koneoppimisalgoritmien rakentamiseen löytyy monia kirjastoja. Kehittyneimmät kirjastot on tehty Python-ohjelmointikielille, joista ne on sitten muokattu muille ohjelmointikielille. NodeJS:lle löytyy useita koneoppimiseen liittyviä kirjastoja. Pythoniin verrattuna vain harvat niistä käyttävät hyväksi tietokoneen hardwarea laskennassa. Tämä tekee niistä suurimman osan raskaammaksi käyttää kuin Pythonin vastaavat kirjastot. Suosittuja koneoppimisen kirjastoja ovat muun muassa Pytorch, Tensorflow ja Scikit. (Mittal 2018.)

#### 3.8.1 Vaatimusmäärittely

Yksi suurimmista hyödyistä tekoälyssä on se, että se ei väsy, vaan sillä voidaan toteuttaa toistuvia laskenta- ja päätelytehtäviä tauotta pitkän aikaa ja se ei tee inhimillisiä virheitä, olettaen että koodissa tai mallissa ei ole virheitä. Esteenä tekoälyn käytölle voi olla tarvittavan ohjelmistosovelluksen korkeaksi muodostuva hinta.

Tekoäly ei myöskään itsessään innovoi uusia tuotannon prosesseja tai ehdota uusia asioita, vaan useimmiten se vain optimoi vanhaa eli olemassa olevaa tietoa. Yleensä tekoälyjärjestelmät ovat korkean teknologiatason vaativia sovelluksia tai laitteita ja niiden ylläpito- ja korjauskustannukset ovat korkeita. Niiden suunnittelu ja sovellusten kehittäminen vaativat sekä matemaattista, että esimerkiksi prosessien ohjaukseen sovellettaessa myös ohjelmistokehitysosaaamista. Mallin kehittäminen tekoälyratkaisuun vaatii valtavan määrän dataa, mitä enemmän sen parempi. Mallien kehittämisen jälkeen on tärkeää testata malli, jotta varmistetaan, että tekoäly toimii odotetulla tavalla.

#### 3.8.2 Käytännön esimerkkejä

Tekoälyn soveltaminen teollisuudessa on kasvattanut suosiotaan vuosien varrella ja sitä käytetään niin laadunvarmistuksessa kuin huoltotöiden ajoittamisessa. Yleisimmät sovelluskohteet ovat juuri laadunvarmistus ja -tarkistus, prosessin hallinta, materiaalien käyttö, korjaustyöt sekä logistiikan optimointi.

Esimerkiksi digitaalisen kaksosen ja tekoälyn avulla pystytään parantamaan prosessin tehokkuutta ja siten säästää energiaa ja materiaaleja. Tekoälyn avulla voidaan optimoida teollisuuslaitteiden huoltoa ja siten pidentää laitteiden elinkaarta sekä minimoida yllättäviä laitevikoja. Sen avulla on mahdollista ennustaa markkinoita ja markkinaennusteen perustuen optimoida tuotantomääriä. Tällä tavoin voidaan ehkäistä ylituotantoa sekä vähentää varastointitarvetta. Tekoälyä on hyödynnetty myös esimerkiksi laitteiden virrankäytön optimoinnissa ja tällä on saavutettu energian säästöä. (Chan & Huang 2003; Rolnick, Donti, Kaack, Kochanski, Lacoste, Sankaran, Ross, Milojevic-Dupont, Jaques & Waldman-Brown 2019.)

Prosesseja saatetaan hallita tai säätää useiden eri henkilöiden toimesta. Säätöjä tekevät henkilöt osaavat arvioida mihin suuntaan tietyn yksityiskohdan säätäminen vaikuttaa, mutta tämä ns. hiljainen tieto voi olla rajattua ja koskea vain heidän työstämäänsä osaa prosessista. Tekoälyä ja koneoppimista soveltamalla voisi olla mahdollista tehdä nämä



arviot suuremmissa mittakaavassa ja nähdä miten tietyn yksityiskohdan muuttaminen vaikuttaa prosessiin kokonaisuutena. (Flovik 2018.)

Tuotantoprosesseissa on laatustandardeja tai muita sisäisiä menetelmiä, joilla tarkastetaan ja varmistetaan lopullisen tuotteen tai prosessin eri osien laatu. Yhdistämällä näistä saatu data ja laatua valvojien osapuolien tietotaito tiedonlouhintaan, voidaan saada esille uutta tietoa prosessin laatuun vaikuttavista tekijöistä, ja tätä tietoa voi myös hyödyntää koneoppimismallien teossa. (Cerliani 2019.)

Esimerkiksi SILO AI ja Ramboll ovat rakentaneet tekoälyratkaisun ennustamaan veden laatua ympäristölupien ja ehtojen puitteissa (Alanen 2019).

Kaksikymmentäkaksi tekoälyn tutkijaa, muun muassa Andrew Ng ja Yoshua Bengio, julkaisivat hiilidioksidin poistoa teollisuudesta käsittelevän artikkelin, jossa kerrotaan eri ratkaisuja hiilipäästöjen vähentämiseksi (Strobel 2019).

Anatoli Frenkelin, Stony Brookin yliopistosta, johtama tutkijaryhmä on kuvannut keinon käyttää tekoälyä helpottaakseen hiilidioksidin (CO<sub>2</sub>) muuntamista metaaniksi. Tällä menetelmällä voidaan seurata katalyyttisten hiukkasten kokoa, rakennetta ja kemiallisia reaktio-olosuhteissa, tutkijat voivat tunnistaa, mitkä ominaisuudet vastaavat parasta katalyyttistä suorituskykyä, ja käyttää tätä tietoa ohjaamaan tehokkaampien katalyyttien suunnittelua (Liu, Marcella, Timoshenko, Halder, Yang, Kolipaka, Pellin, Seifert, Vajda, Liu & Frenkel 2019).

Koneoppimismenetelmiä käytetään kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen liikenne- ja logistiikka-alalla. Lyhyesti sanottuna tekoäly voi auttaa suuryrityksiä vähentämään ympäristövaikutuksiaan ja parantaa tuotannon ja kuljetuksen tehokkuutta ja siten vähentää hiilipäästöjä ja vähentää kustannuksia.

### 3.9 OHJELMISTOROBOTIIKKA

Ohjelmistorobotiikka-sovelluksia (RPA, Robotic Process Automation) käytetään säännöllisten ja rutiinomaisten tehtävien automatisointiin. Tällä halutaan vapauttaa työntekijöiden resurssia haastavampiin tehtäviin. Koska ohjelmistorobotti voi toimia itsenäisesti samassa rajapinta- ja käyttöliittymäkerroksessa kuin ihminen, se ei välttämättä tarvitse ulkopuolista tietoa eli erillistä sovellusrajapintaa toisilta ohjelmistoilta. Ohjelmistorobotin yleisimmät hyödyt ovat sen loputon tehokkuus ja siitä syntyvät kustannussäästöt. (Uotila 2019.)

#### 3.9.1 Vaatimusmäärittely

Ohjelmistorobotin kehitys ja käyttöönotto vaativat tarkkaa tehtävänmäärittelyä. Määrittelyyn tulee sisällyttää yksityiskohtaiset tiedot siitä millaisia tehtäviä robotti suorittaa, miten robotti suorittaa tehtävän ja missä ympäristössä robotti suorittaa tehtävää. Ohjelmistorobotti suorittaa tehtävää vaiheittain, joten tehtävän määrittelyn pitää olla yksiselitteinen ja yksityiskohtainen. Robotti osaa tehdä vain sen mitä sille on ennalta kerrottu. Virhetilanteita varten tulee kehittää tehtävien suoritusta ja käynnissäpitoa tukevat prosessit eli käytännössä robotin ylläpitoa tukevat raportointikanavat.

#### 3.9.2 Käytännön esimerkkejä

Wärtsilä otti haltuunsa ohjelmistorobotiikan ja aloitti sen käytön lähes jokaisessa tehtävässä, mihin ohjelmistorobotti soveltui. Tuloksena sadat ohjelmistorobotit säästivät työaikaa kymmeniä tuhansia henkilötyötuntia vuodessa. (Ahlvik 2018a) Wärtsilän lähestymistapana on hajauttaa ohjelmistorobotiikan kehitys ja tuoda se suoraan työntekijöille, jotka tietävät kuinka työ loppukädessä tehdään. Ohjelmistorobotiikan kehitystyökalu oli niin yksinkertainen, että sen pystyi kehittämään kuka tahansa työntekijä, pienen koulutuksen jälkeen. Työajan säästön lisäksi vähennettiin virheitä, parannettiin työnlaatua ja nopeutettiin prosesseja. (Ahlvik 2018b.)

Tokiolaisen ostoskeskuksen rakennusautomaatiojärjestelmän optimointiin kehitetty ohjelmistorobotti vähensi hiilidioksidipäästöjä vuoden aikana 47 %. Ohjelmistorobotti keräsi tunnin välein rakennusautomaatiojärjestelmästä dataa energian käytöstä eri laitteilta. Kerätyn datan avulla robotti hyödynsi simulatio työkaluja optimaalisten säätöjen laskemiseksi. Dataa kerättiin käyttöveden lämpötilasta, ulkoilman lämpötilasta sekä pumpuista. Säästöt syntyivät, kun lämmitystä ja jäähdytystä optimoitiin. (Yamamoto, Hayama, Hayashi & Mori 2020.)

### 3.10 TIEDONSIIRTO- JA TIETOJENKÄSITTELYALUSTAT

Erilaisia (I)IoT-alustoja on valtava kirjo ja niiden ominaisuudet ovat osin päällekkäisiä. Esittelemme tässä selvityksessä tällä hetkellä tunnetuimpia ja eniten käytettyjä alustoja. Langattomat verkot kehittyvät hurjaa vauhtia ja haastavat perinteiset langalliset kanavat. Viiveet, suorituskyky, ja -varmuus sekä tietoturva ovat esimerkkejä asioista, joiden huomioiminen korostuu entisestään mentäessä kohti langatonta tiedonsiirtomaailmaa.

Tiedon analysointia ja jalostamista tehdään yhä useammin ns. taustajärjestelmissä, kuten palvelinkoneet ja -salit. Esimerkiksi riittävän suorituskykyisen IoT-sovelluksen toteuttaminen ja vieläpä kustannustehokkaasti, vaatii erityisosaamista kyseiseen sovellukseen parhaiten soveltuvista kommunikaatiokanavista ja alustoista. Useiden rinnakkaisten IoT-sovellusten toteutus on jo nyt luonnollinen kehityspolku, joka taas haastaa tilaajat sekä toteuttajat arkkitehtuurien ja digitalisaatio-strategioiden kehittämisen ja ylläpidon osalta.

Teollisuuden toimijajoukko koostuu tilaajista, ns. kivijalkatoimijoista ja näiden alihankintaketjuista, jotka voivat olla esimerkiksi alustatalouden palvelujen tuottajia. Keskeistä näille teemoille ja toimijajoukolle on ratkaista tietoturva-asiat eli mm. tiedon omistajuuden pysyminen oikeissa käsissä, jotta tiedon jakaminen onnistuisi monitoimijaympäristössä.

#### 3.10.1 Vaatimusmäärittely

IoT-alustoja on tarjolla monenlaisia (esim. Azure, AWS, Google Cloud). Alustat toimivat yleensä melko lailla samalla tavalla, mutta valittaessa omalle yritykselle sopivaa alustaa on otettava huomioon, että alustoilla liikkuva tieto voi olla hyvin eri formaateissa. Useat IoT-laitteet tukevat valmiiksi tiettyjä IoT-alustoja, mikä voi helpottaa niiden käyttöönottoa (esim. AWS IoT Greengrass, Azure IoT Edge). IoT-alustojen yhteiskäyttöä varten on olemassa erilaisia integraatioalustoja (esim. Fiware). Euroopanlaajuisen GAIA-X projektin tarkoituksena on luoda yhtenäinen data-infrastruktuuri (Halenius 2021).

Alustaa valitessa kannattaa ottaa huomioon EU:n alueella vallitseva lainsäädäntö. Esimerkiksi kannattaa ottaa selvää, missä maassa IoT-alustan konesalien sijainti on. Esimerkiksi tiedon siirtoon EU:n ulkopuolelle on olemassa asetuksia, jotka pitää ottaa huomioon tiettyissä tilanteissa. IoT-alustan käyttöönottoa harkitessa kannattaa ottaa myös huomioon, että IoT-alustalle menevät tiedot siirtyvät internetin välityksellä. IoT-alustoiden tiedonsiirrossa on otettu tietoturvallisuus huomioon, mutta tietoväylien ulospäin aukaisuun liittyy aina riskejä.

IoT-laitteisiin itseensä voi liittyä vakavia tietoturvaongelmia. Nämä voivat olla peräisin huonosta suunnittelusta, käyttäjien aiheuttamista häiriöistä (esim. haittaohjelmat, päivitysten laiminlyönti). Yleisenä ohjeena on, että IoT-laitteissa käytettävä verkko kannattaa erottaa muusta tuotantolaitoksen verkosta.

Yhtenä tekijänä IoT-laitteiden käyttöönotossa on, että voidaanko laitteiden tieto ottaa talteen paikan päällä vai pitääkö tieto kierrättää laitteen valmistajan tai laitteen käyttäjän verkon tarjoajan kautta. Tietojen siirtäminen pelkästään eristetyssä laitoksen sisäisessä verkossa on turvallisempaa kuin sen siirtäminen internetin yli.

#### 3.10.2 Esimerkkejä pilvipalveluiden IoT-alustoista

Kolmen suurimman, Microsoft Azure, Amazon Web Services ja Google Cloud, pilvipalveluiden tarjonnasta löytyy myös suuri määrä muita palveluita kuin IoT-alustoja. Suurimmat eroavaisuudet alustojen välillä ovat hinta, sijainti ja palvelujen ominaisuudet.

##### 3.10.2.1 Amazon Web Services (AWS)

AWS IoT -alusta sisältää monia eri palveluita, yksinään AWS IoT mahdollistaa IoT-laitteiden yhdistämisen toisiinsa ja AWS:n palveluihin. Palvelu tarjoaa tiedonsiirtoon useamman protokollan, kuten MQTT, HTTPS ja LoRaWAN. Tiedonsiirron lisäksi palveluun voidaan sisällyttää data-analytiikkaa ja datan visualisointia, ottamalla käyttöön muita liitännäisiä palveluita. Dataa voidaan tuoda myös yrityksen muista sovelluksista MQTT:n tai rajapintojen avulla. (AWS 2021a.)

LG otti AWS IoT:in käyttöön joulukuussa 2017, ThinQ-tuotesarjan julkaisussa. AWS IoT Core:a käytetään ThinQ-laitteiden väliseen jatkuvaan yhteydenpitoon. LG kehitti itselleen ThinQ-alustan, käyttäen muitakin AWS:n palveluita. Suurin hyöty saatiin säästämällä kehittämiskustannuksissa, joista säästettiin jopa 80 %. Koska yhteydet hoidettiin valmiilla ratkaisuilla, kehittäjät pystyivät keskittyä toisiin haasteisiin. (AWS 2021b.)

### 3.10.2.2 Microsoft Azure

Azure IoT Hub on keskitetty viestintäkeskus kaksisuuntaiseen viestittelyyn laitteen ja sovelluksen välillä. IoT Hub tukee suojattuja yhteyksiä miljoonien IoT-laitteiden kanssa ja tukee samoja protokollia kuin AWS IoT, lisäksi AMQP. Myös Azure tarjoaa tämän lisäksi muita liitännäisiä palveluita, kuten analytiikkaa, koneoppimista, reunalaskenta ja paljon muita. (Microsoft 2019a.)

M&M Software kehitti IoT-ratkaisun energiayhtiö Avacon Naturille. Ratkaisu mahdollistaa koko energiantuotannon seuraamisen ja muutosten teon energian toimitukseen, jos sille on tarvetta, sekä ennustamaan tulevaa energian tarvetta. Azuren palveluiden avulla dataan pääsee käsiksi mistä vain turvallisesti. (Microsoft 2019b.)

### 3.10.2.3 Google Cloud

Google Cloud IoT Core tarjoaa samanlaista palvelua Azuren ja AWS:n tavoin. IoT-laitteet on helppo yhdistää yleisten protokollien avulla. Palvelun avulla voi yhdistää, hallita ja kerätä dataa miljoonilta laitteilta ympäri maailmaa. Palveluun voidaan myös lisätä muita palveluita, kuten koneoppimista tai data-analytiikkaa. Dataa pystytään visualisoimaan reaaliajassa. (Google 2021a.)

Oden Technologies siirsi pilvialustansa Googlelle vähentääkseen kuluja ja alustan monimutkaisuutta. Siirto lisäsi alustan tuloksellisuutta ja vähensi ylimääräistä datan analyysiä. Täten datan tallennus- ja analytiikkakuluihin saatiin 30 % säästö. Oden Technologies suunnittelee ja kehittää datan keräämislaitteita, joita voidaan asentaa lähes millaiseen laitteeseen tahansa. Datan keräämislaite lähettää datan langattomasti alustalle, jossa sitä analysoidaan. Analysoinnin perusteella dataa tuodaan käyttäjälle, josta käyttäjä voi esimerkiksi nähdä, jos laite tarvitsee huoltoa. (Google 2021b.)

## 3.10.3 Esimerkkitapauksia

Yritykset käyttävät entistä enemmän pilvipalveluja säästääkseen IT-kustannuksissa. Pilvipalvelut tuovat etuja myös tarjoamalla helpon skaalautuvuuden ja yrityksen eri yksiköiden välisen tiedonsiirron helpottumisen. Yhtenä huonona puolena pilvipalveluiden käytössä on yleensä se, että yrityksen tietojärjestelmien täytyy sallia tiedon siirtämistä internetin avulla ja tämä aiheuttaa tietoturva-asteita.

Pilvipalveluiden tarjoajat yleensä myös tarjoavat helpon tavan liittää IoT-laitteet osaksi tiedonkeruuta. Yrityksen ei näin ollen tarvitse itse järjestää omaa rajapintaa eri laitteille, vaan laitteet lähettävät tietonsa yhteen ulkopuoliseen rajapintaan pilvipalvelussa. Pilvipalvelujen ulkoistaminen palveluoperaattorille tuo toisaalta säästöjä, mutta lisää toisaalta haasteita tiedon suojaamisen ja tietoturvan osalta.

Tutkimusten mukaan isompien yritysten pilvipalveluiden käyttöönotto voi vähentää energian käyttöä ja hiilijalanjälkeä 30–60 prosenttia verrattuna omiin palvelinympäristöihin. Keskiuurilla yrityksillä lasku voi olla jopa 60–90 prosenttia. Pilvipalveluiden tarjoajat ovat edelläkävijöitä teknologian päästöjen vähentämisessä ja he hyödyntävät resurssien virtualisointia, jatkuvaa innovointia ja vahvoja palvelinympäristöjä. Omilla palvelinympäristöillä usein menetetään energiaa näiden ollessa alikäytöllä, mikä vähentää tehokkuutta ja lisää päästöjä. (Sloane 2015.)

Yritysten omien palvelinkeskusten käyttöaste on yleensä matala. Pilvipalveluiden tarjoajien palvelimet käyttävät virtualisointia jakamalla yhden palvelimen useammaksi alipalvelimeksi, mikä nostaa käyttöastetta ja vähentää energian kulutusta. Virtuaaliset palvelimet toimivat hetkellisen tarpeen mukaan ja sammuvat tai käynnistyvät tarvittaessa, mikä johtaa älykkääseen ja tehokkaaseen toimintaan. Pilvipalveluiden tarjoajat investoivat ajanmukaiseen laitteistoon, jota uusitaan tai päivitetään tasaisesti. Tällä tavoin parannetaan tehokkuutta sekä pienennetään energian kulutusta. Pilvipalvelun käyttäminen vähentää yrityksen kustannuksia ja tehostaa resurssien käyttöä. Saavutettavat hyödyt voivat myös inspiroida muita yrityksiä toimimaan samalla tavalla. (Oliveira 2015.)

Harvoin ymmärretään, kuinka paljon energiaa yrityksen oman palvelinympäristön ylläpitämiseen tarvitaan. Tähän tarvitaan jatkuvaa virransyöttöä ja riittävää jäähdytystä ylikuumenemisen ehkäisemiseksi. Lisäksi laitteiden elinkaaren päättyessä on edessä niiden poistaminen käytöstä. Tämä kaikki voidaan välttää ottamalla käyttöön pilvipalvelu, joiden tarjoajat ovat yleensä optimoineet kyseiset tarpeet hyvällä hyötysuhteella. Pilvi tarjoaa myös turvallisen paikan tiedostojen säilyttämiseen, mistä tiedostoja voidaan käyttää internetyhteydellä. Tiedostot on aina varmuuskopioitu, eikä niitä menetetä esimerkiksi palvelimen vioituessa. (Baskerville 2018.)

Suurimmat pilvipalveluiden tarjoajat ovat aloittaneet uusiutuvien energianlähteiden, kuten aurinko- ja tuulivoimien käytön palvelinympäristöjen energian tuottamiseen. Myös itse palvelinympäristöt ovat hyvin suunniteltuja ja optimoituja parhaimman energiatehokkuuden saavuttamiseksi. Yksi esimerkki tästä on palvelimien lämpötilan säätäminen optimaaliseksi. Pilvipalvelut on myös tämän hetken johtava tekijä uusiutuvan energian käyttöönotossa sekä energia tehokkuuden parantamisessa (Earth911 2017.)

### 3.11 5G:N HYÖDYNTÄMINEN TEOLLISUUDESSA

5G:n hyödyntämistä teollisissa sovelluskohteissa tukee langattomuus, suuri tiedonsiirtokapasiteetti ja lyhyet viiveet. Edellisiin sukupolviin ja teknologioihin verrattuna 5G mahdollistaa siis lähes reaaliaikaisen ja luotettavan tiedonsiirron, mikä mahdollistaa esimerkiksi robottien ja muiden autonomisten laitteiden reaaliaikaisen hallinnan. Sitä voidaan myös hyödyntää yhdessä virtuaalitodellisuuden ja lisätyn todellisuuden kanssa esimerkiksi kunnossapitotehtävissä ja perehdytyksessä. (Brown 2017.) and commercial 5G mobile broadband services are expected to launch in 2019. 5G NR, however, will enable many more commercial opportunities. This white paper discusses how, using the ultra-reliable low-latency communication (URLLC

5G on mobiilitiedonsiirron uusi sukupolvi ja tuo saataville suuremmat tiedonsiirtokapasiteetit kuin 4G LTE. Luotettavuuden ja suuremman tiedonsiirron lisäksi 5G mahdollistaa reunalaskennan käytön yleistymisen. Tällöin sensorien ei tarvitse sisältää laskentaa, ja siten saavutetaan sensorien pidempi akun kesto sekä alhaisemmat kustannukset. 5G mahdollistaa sensorien liikkuvuuden sekä helpomman ja halvemman asentamisen. Se mahdollisesti myös pidentää sensorin käyttöikää. (Brown 2017.) and commercial 5G mobile broadband services are expected to launch in 2019. 5G NR, however, will enable many more commercial opportunities. This white paper discusses how, using the ultra-reliable low-latency communication (URLLC

Vaatimusmäärittely ja lisätietoa on esitelty liitteessä 3.

#### 3.11.1 Esimerkkejä

Ericsson on kokeillut lisättyä todellisuutta (augmented reality, AR) huoltotehtävissä Tallinnan tehtaallaan. Huoltomiehet voivat korjata laitteita ilman, että heidän tarvitsee etsiä ja tutkia laitteen piirustuksia, vaan he saavat tarpeellisen tiedon AR-laseihinsa. Tämä vähentää huoltoon käytettyä aikaa sekä huoltomiesten koulutustarvetta. (Singtel 2021.)

Suunnittelemattomat tuotantokeskeytykset ovat iso menoaerä teollisuudessa. Kansainvälinen auto-osien valmistaja HIROTEC on integroinut IoT-pilvilustan ja reuna-analytiikan omaan tuotantoketjuunsa. Sensorien, reunalaskennan ja koneoppimisen avulla pystytään ennustamaan mahdolliset suunnittelemattomat tuotantokeskeytykset ja siten estämään ne. (Singtel 2021.)

Erittäin luotettavat ja alhaisen viiveajan tiedonsiirtomenetelmät (Ultra-reliable and low-latency communications URLLC) ovat tärkeässä asemassa tehdasautomaatiossa. Tilannekuvaa varten tarvittavan tiedonkeruujärjestelmän tulisi täyttää URLLC-kyvykkyydet, koska kyseessä ovat turvallisuuskriittiset sovellukset. URLLC mahdollistaa myös useamman autonomisen robotin ohjaamisen tehdasalueella pienemmällä ohjaukseen tarvittavalla energialla kuin aikaisemmin. (Jayaweera, Marasinghe, Rajatheva & Latva-Aho 2020.)

### 3.12 OPC UA

OPC UA on OPC Foundation -yhteisön jäsenten alun perin kehittämä tiedonsiirron arkkitehtuuri, joka on suunniteltu alustariippumattomaksi ja toimii tietoturvallisesti jo olemassa olevien tietoturvaratkaisujen, kuten palomuurien, kanssa. Se on ohjelmistoperustainen tiedonsiirtomenetelmä, jolla voidaan yhdistää eri valmistajien laitteita sekä järjestelmiä tiedonkeruuta ja ohjausta varten käyttämättä fyysistä väylä- tai protokollamuunninta. Eri valmistajien, eri alustoja käyttävien, laitteet, sensorit ja järjestelmät voidaan kytkeä OPC UA:n avulla yhdeksi kokonaisuudeksi. OPC UA -kommunikaatio perustuu tietoturvalliseen kättelyyn clientin ja serverin välillä. OPC UA:n avulla voidaan toteuttaa laitteiden välistä kommunikointia tietoturvallisesti eri sijaintien eli kohteiden välillä. Koska protokolla toimii turvallisesti myös internetin yli, voidaan sillä yhdistää myös eri toimipisteiden välistä kommunikaatiota uusia palveluja kehitettäessä. (RTAutomation 2021.)

OPC UA mahdollistaa sen, että esimerkiksi IoT-laitteet voidaan yhdistää suurten kompleksisten palvelinkokonaisuuksien kanssa. Tämän OPC UA mahdollistaa skaalautuvuuden, älykkään informaatiomallin ja useiden kuljetuskerroksien avulla. OPC UA:n liikenne voi olla mitä vain yksinkertaisesta sensorin tilatiedosta koko tehtaan käsittävään ohjaukseen. Kaikki MES (Manufacturing Execution System) - järjestelmistä ERP (Enterprise resource planning) - järjestelmiin voidaan integroida käyttäen yhtä standardia. (RTAutomation 2021.)

Älykkään informaatiomallin avulla voidaan mallintaa ja linkittää vaikkapa erillisiä toimipisteitä tarkasti ja toistettavasti. Mallin pohjana on objekti, joka voi olla tieto tai prosessi, järjestelmä tai jopa kokonainen tehdas. Objekti voi olla myös yhdistelmä metadataa, data-arvoja tai niiden suhteita. OPC UA -palvelin tarjoaa malleja datan, informaation, prosessien ja järjestelmien objekteina. Objekteihin voidaan myös viitata muissa objekteissa tai datamuuttujien tietotyypeissä. (RTAutomation 2021.)

Uutena OPC UA:ssa on siihen juuri lisätty Pub/Sub-mekanismi. Mekanismissa on julkaisija (publisher) ja kuuntelija (subscriber). Kuuntelija lähettää julkaisijalle tiedon, että se haluaa tulevaisuudessa päivityksen julkaisijan lähettämistä tiedoista. Kun arvo muuttuu julkaisija laitteella, lähetetään tästä tieto kaikille kyseisen arvон tilanneille kuuntelijoille. Pub/Sub-mekanismiin avulla voidaan OPC UA ulottaa vähän energiaa käyttäviin ja pienen viiveen sulautettuihin järjestelmiin. Pub/Sub-mekanismi mahdollistaa OPC UA:n käytön internetin yli käyttäen MQTT:n ja AMQP:n tiedonsiirtoprotokollia. (Hoppe & Stark 2019.)

OPC UA:han on työn alla TSN (time sensitive networking) yhteensopivuus. Käyttämällä hyödyksi TSN-mekanismia, voidaan priorisoida tärkeä liikenne (esim. sensoridata) muun verkkoliikenteen edelle (esim. turvakameroiden video). Tällöin saadaan pienennettyä tärkeiden yhteyksien viiveitä ja parannettua niiden laatua. (Blackman 2018.)

5G-teknologia tukee TSN-mekanismia, jolloin sen ja OPC UA:n avulla voidaan luoda langattomasti toimiva, nopea ja turvallinen verkko tuotantolaitoksen sisällä. OPC UA:n avulla 5G verkoissa liikkuvaa dataa voidaan myös siirtää vanhemmilla teknologioilla toimiviin verkkoihin. (Olding 2020.)

#### 3.12.1 Vaatimusmäärittely

Hankittaessa uusia laitteita kannattaa tarkistaa, tukevatko ne itse OPC UA:ta vai tarvitaanko niiden rinnalle OPC UA -muunnin. Vanhoihin laitteisiin, joissa ei ole OPC UA -tukea, voidaan myös lisätä OPC UA -muunnin käyttämällä esimerkiksi laitteessa olevaa Modbus-, PROFINET- tai ethernet-yhteyttä.

On hyvä huomioida, että OPC UA:ta on tarkoitettu käytettäväksi vain tiedonsiirtoon. Siirretyn tiedon analysointiin ja visualisointiin tarvitaan siihen tarkoitettu ohjelmistokokonaisuus.

#### 3.12.2 Esimerkkejä käyttökohteista ja hyötynäkökulmia

Esimerkkejä OPC UA:n hyödyntämiseen hiilijalanjäljen pienentämisessä täytyy yleensä etsiä välillisten hyötyjen kautta, koska OPC UA on tiedonsiirtoprotokolla. Tästä huolimatta sillä on merkittävä potentiaali eri järjestelmissä tehtaan ”lattialla” hajallaan olevan Big datan keräämisessä yhteen paikkaan. Mitä enemmän tietoa saadaan kerättyä ja koostettua yhteen paikkaan eli käytännössä yhteiseen tietokantaan, sitä suurempi potentiaali ja paremmat lähtökohdat luodaan digitalisaation menetelmien hyödyntämiseen tuotantolaitosten vähähiilisyyttä tukevassa analytiikassa ja prosessien ohjauksen optimoinnissa. OPC UA:n avulla tieto voidaan kerätä ja yhdistellä usean eri laitevalmistajan laitteista, koska laitteet lähettävät tietonsa sen avulla samanlaisessa formaatissa. Näin ollen yrityksen ei tarvitse tehdä useita rajapintoja ja kalliita ohjelmistointegraatioita. OPC UA:n avulla voidaan myös vanhojen laitteiden elinkaarta pidentää, koska niihin voidaan asentaa moderneja komponentteja OPC UA-kommunikaatiota hyväksikäyttämällä.

Eräissä tutkimuksissa selvitettiin teollisen prosessin laitteistojen energiankulutuksen ennustettavuutta. OPC UA:n käyttö mittaustietojen tiedonkeruussa mahdollisti sen, että prosessin laitteistoista saatiin kerättyä riittävä määrä Big dataa luotettavan vertailevan tutkimuksen toteuttamiseksi. (He, Wu, Wang, Tao & Hon 2020.)

OPC UA:n hyötyjä on myös se, että yhtenäisten toimintamallien ja rajapintojen avulla laitetoimittajat voivat tehdä tuotteistaan ja palveluistaan yhteensopivia eli helpommin integroitavia muiden valmistajien järjestelmiin. Tämä mahdollistaa myös eri valmistajien, ts. useita eri laitemerkkejä sisältävien kokonaisratkaisujen helpomman rakentamisen. Ohjelmistotalot ja järjestelmätoimittajat voivat yhdistää järjestelmiä keskenään eri toimittajien ja toimijoiden välillä, tarjoamalla OPC UA -rajapinnan omissa tuotteissaan. Laittevalmistajat voivat valmistaa sovelluksia, tuotteita ja palveluita, jotka ovat yhteensopivia muiden valmistajien kanssa, mikä tekee integroinnista aiempaa luotettavampaa.

OPC UA:n hyödyntäminen teollisuudessa tuottaa kustannussäästöjä ja ekologisuutta myös siten, että sillä voidaan pidentää ohjelmistojen, laitteiden ja järjestelmien elinkaarta. Esimerkiksi vanhaa elinkaarensa päässä olevaa laitetta voidaan edelleen hyödyntää, koska sille rakennettu OPC UA -sovellusrajapinta toimii ikään kuin ohjelmistopäivityksenä laitteelle. Tästä voidaan käyttää esimerkkinä Nestlén vanhojen tehtaiden modernisointia, jossa vanhojen tehtaiden järjestelmät saatiin lähettämään dataa uusien tehtaiden moderneille järjestelmille. (Olding 2019.)

Aalto-yliopisto on tehnyt osana CLAFIS-projektia tutkimuksen peltotyökoneiden yhdistämisestä Internetiin OPC UA:n avulla. Tutkimuksessa yhdistettiin ISO 11783 -standardia käyttäviä peltotyökoneita Internetiin. Tutkimuksessa havaittiin, että viestintä laitteelta Internetiin onnistuu automaattisesti OPC UA:ta hyväksikäyttäen. (Seilonen & Oksanen 2015.)

Valio on liittännyt pääasiassa OPC Classic sovelluksiin (OPC DA, AE ja HDA) pohjautuvat automaatiojärjestelmänsä valmistuksenohjausjärjestelmään sekä tuotannon tehokkuuden seuranta- ja ohjausjärjestelmään OPC UA:n avulla käyttäen OPC UA Gateway -applikaatioita. Automaatiojärjestelmät ovat laajoja hajautettuja järjestelmiä (DCS), suppeampia ohjelmoitavia logiikoita (PLC) sekä PC-pohjaisia ja sulautettuja ratkaisuja laitteiden ja tuotantolinjojen ohjauksessa. Valio on saavuttanut parannuksia tietoverkko- ja tietoturvaan siirtymällä OPC UA:n käyttöön. Turvallisemmat tietoyhteydet ovat mahdollistaneet heille paremman tiedonkulun koko tuotantojärjestelmässä ja tuotantopisteiden välillä. (Aro & Tahva-nainen 2015.)

Valio on myös yhdistänyt alihankkijoidensa järjestelmistä tulevaa tietoa omaan seuranta- ja ohjausjärjestelmäänsä. He ovat toteuttaneet hera- ja maitojauheen valmistuksessa käytettävään järjestelmään Neste Jacobsin valmistaman prosessinohjausjärjestelmän. Tällä prosessinohjauksella on saavutettu yli kymmenen prosentin parannus tuotantoon. Uusi prosessinohjausjärjestelmä on yhdistetty Valion prosessinohjausjärjestelmään OPC UA:n välityksellä. (Industrial News Service 2021.)



### 3.13 DIGITAALINEN TILANNEKUVA

Tilannekuvalla halutaan kuvata tuotannon läpinäkyvyyttä, jotta saadaan selkeä käsitys siitä, mitä tuotannossa tai muussa toimintaympäristössä tapahtuu. Tilannekuvaan kerätään dataa eri lähteistä ja toiminneista, jotta saataisiin joko tarkempi yleiskuva kokonaisuudesta tai vaihtoehtoisesti syvälle prosessin yksityiskohtiin porautumalla, esimerkiksi yksikköprosessi tai laitetasolla käsitys siitä, mitä tuotannosta tapahtuu. Tilannekuvaan voidaan myös kerätä työntekijöiden tuottamaa informaatiota, kuten hetkittäisiä huomioita prosessin tilasta/toiminnasta, jotka lisäävät tilannekuvan tarkkuutta.

Tilannekuva on osa järjestelmää, josta käyttäjä näkee joko valmiiksi analysoitua tietoa tai raakadataa, joista voidaan tehdä päätöksiä tai muutoksia tuotannon ohjaamisessa. Järjestelmä voi myös hoitaa tiedon analysoinnin itsenäisesti, kunhan tiedon konteksti on tiedossa. Tilannekuvajärjestelmä ei välttämättä tuota valmista tilannekuvaa käyttäjälle, vaan auttaa eli opastaa käyttäjää muodostamaan tilannekuvan itselleen. (Koistinen 2011.)

Tilannekuvan tehtävä on tehostaa tuotannollista toimintaa palvelemalla prosesseja ohjaavia operaattoreita helposti omaksuttavalla (visuaalisella) informaatiolla. Tehostuspotentiaalia syntyy siitä, että operaattoreille muodostuu mahdollisimman selkeä käsitys prosessin toiminnasta ja niistä suositelluista muutoksista, joilla kyseistä prosessia kyettäisiin edelleen tehostamaan. Datan visualisointi on tärkeä ominaisuus sen helppokäyttöisyyttä eli ymmärrettävyyttä kehitettäessä. (Harju 2017.)

Tilannekuvaa voidaan jalostaa digitaalisilla menetelmillä eli tuottamalla siihen mittauksen lisäksi prosessien manuaalista eli operaattorin toteuttamaa ohjausta tukevaa informaatiota. Jalostamisella tarkoitetaan tässä mittauksien analysointia esim. tekoälyn tai reunalaskennan avulla ja näiden pohjalta tuotettujen tulosten hyödyntämiseen perustuvaa päätöksentekoa ohjaavaa/opastavaa informaatiota. Tämän informaation perusteella ja tuella prosessioperaattori kykenee tekemään oikeita, prosessin ohjausta tarkentavia ja tehostavia (energia ja vähähiili) toimenpiteitä.

Isossa kuvassa tilannekuva tuottaa digikaksosen kaltaista, mahdollisimman visuaalista ja tuotantoprosessin käyttäjää vuorovaikutteisesti opastavaa informaatiota. Tuotannon tehostamisen kulmasta uutta potentiaalia syntyy siitä, että tässä toimintamallissa voidaan hyödyntää rinnakkain sekä käyttäjän parasta osaamista (hiljainen tieto), että laskennallisen analytiikan tuloksia (tekoäly).

#### 3.13.1 Vaatimusmäärittely

Digitaalisen tilannekuvan kehittäminen vaatii datan tuomista näkyville. Tähän näkymään tuotu data voi olla valmiiksi analysoitua tai raakadataa. Ennen kuin data saadaan tuotua näkymään, se pitää kerätä eri lähteistä. Tämä voi vaatia nykyisten laitteiden sensorointia, sekä uusien laitteiden hankintaa. Ennen kehittämistä on hyvä suunnitella, millaisia näkymiä eri käyttäjät tarvitsevat, toimitusjohtajan ja tehdastyöntekijän näkymät voivat olla hyvinkin erilaiset. Digitaalisen tilannekuvan kehittäminen voi tarkoittaa yksinkertaisimmillaan teolliseen prosessiin liittyvän mittauksien visualisointia prosessivalvomoon kaltaiseen käyttöliittymään. Mittauksien pohjalta informaatiosta syntyvää käsitystä yksikköprosessin tai kokonaisen tehtaan toiminnasta voidaan kutsua tilannekuvaksi. Digitaalinen tilannekuva voi myös sisältää digitaalisia kaksosia.

Digitaalista tilannekuvaa voidaan käyttää teollisuusprosessin nykytilan ja historian (trendit) tarkistamiseen. Digitaalista tilannekuvaa voitaisiin kehittää myös siten, että se sisältäisi prosessin ohjaustoiminnot suoraan tilannekuvasta. Tilannekuvaan on myös mahdollista liittää simulaatio (digitaalinen kaksonen) prosessista, jossa voidaan muuttaa prosessin nykyisiä asetuksia ja nähdä muutoksen vaikutus varsinaiseen prosessiin puuttumatta. Lopputulosta voidaan sitten verrata nykyiseen ja laskea sillä saavutettu hyöty. Tilannekuvaan kerätty data voi tulla eri lähteistä käyttäen eri tiedonsiirto ja -keruu protokollia, kuten esimerkiksi OPC UA. Saatua dataa kyetään hyödyntämään koneoppimisessa, jolla taas kyettäisiin edelleen optimoimaan prosessia.

#### 3.13.2 Käytännön esimerkkejä

Rakennusalailla tilannekuvaa on perinteisesti luotu työmaakierroksilta kerätyn tiedon perusteella, jota on sitten voitu jakaa eteenpäin. Digitaalisella tilannekuvalla mahdollistetaan parempi käsitys kaikille osapuolille. Työmaakierrokset on mahdollista tehdä 360-kameralla, joka on kiinnitetty kypärään, josta tallentuu videomateriaalia kuva-aineistoon. Sensoreita ja kameroita käyttäen voidaan mitata työn laatua ja tuottavuutta, näiden tietojen analysointiin voidaan hyödyntää tekoälyä. Tilannekuvaa voidaan hyödyntää työn suunnitteluun ja ohjaamiseen. (Seppänen 2020.)

Stirlingin kaupungissa Skotlannissa luotiin digitaalinen kaksonen suurimmasta osasta kaupunkia. Digitaalisessa kakso-  
sessa pystyy seuraamaan asuntokohtaista energian kulutusta, sekä näkemään aurinkoenergian keräämistä. Henkilöt  
pystyvät itse ilmoittaa asuntonsa mukaan hankkeeseen. Mukaan lähteneet henkilöt ovat voineet seurata oman asun-  
tonsa energian kulutusta, ja siten vaikuttamaan omiin hiilipäästöihinsä. (Macdonald 2019.)

Pakkausmateriaalin valmistaja TrakRap pitää digitaalista kaksosta tärkeänä liiketoiminnalleen. Digitaalisen kaksosen  
avulla TrakRap pystyy simuloimaan omien tuotantokoneiden jokaista osaa, ja mahdollistaa sen testaamisen. Simulaa-  
tiota käyttäen TrakRap on päässyt jopa yli 50 % säästöihin kuluissa. Data digitaaliseen kaksoseen kerätään IoT-senso-  
reilla. TrakRap käyttää digitaalista kaksosta myös tehdasympäristön suunnittelussa. (Williamson 2017.)

## 4 YHTEENVETO

Digitalisaatiolla voidaan todeta olevan suuri parannuspotentiali teollisten toimintojen materiaali- ja energiatehokkuuden, sekä laitteiden ja järjestelmien elinkaaren hallintaan ja sitä kautta vähähiilisyteen. Tähän raporttiin on koottu näistä keskeisimpiä digitalisaation menetelmiä, painottaen käytännön esimerkkejä.

Mittaustiedon määrä tulee lisäksi kasvamaan koko ajan, mikä entisestään kasvattaa nopeampien tietoverkkojen kehittymistarvetta. On kuitenkin tärkeää ymmärtää, että mittaustiedon määrä ei ole mikään tae kehityksestä vaan oleellista on löytää keskeinen informaatio – viime kädessähan esimerkiksi prosessin ohjauksuure puristetaan yhteen lukuarvoon. Datan louhintamenetelmät ovat keskeisessä roolissa, mutta myös reunalaskennan tyyppisillä ratkaisuilta oleellinen tieto voidaan tiivistää hyvin ytimekkäästi. Havainnollistava esimerkki voisi olla konenäköön perustuva mittaustiedon, joka siirtää suurikokoiset kuvat tietoverkkojen yli. Huomattavasti tehokkaampi ratkaisu on suorittaa kuvan informaation käsittely jo mittaustapahtuman yhteydessä, jolloin tiedonsiirtotarve olisi pienimmillään ainoastaan tilatiedolle (esimerkiksi 1: ok tai 0: vikatilanne). Suurempi määrä mittauksia kuitenkin saattaa mahdollistaa luotettavuusarvioinnin tai anturien vikatilanteiden määrittämisen. Esimerkiksi keskeisimmille muuttujille voidaan kehittää matemaattiset mallit, joiden arvoa verrataan todellisiin mittauksiin. Poikkeaman ollessa pieni voidaan varmistua mittaustiedon oikeellisuudesta, poikkeaman kasvaminen puolestaan indikoi esimerkiksi mittaustieturin likaantumisen. Jälkimmäisessä tapauksessa valvomohenkilökunnalle voidaan lähettää listaus tarvittavista toimenpiteistä, jos niitä ei voida suorittaa täysin automaattisesti. Tuotannon operaattorit hyötyisivät toimenpidekehotusten koonnin osalta tilannekuvasta, joka toimisi osana tuotannon tehostamista priorisoimalla toimintoja.

Kirjallisuusselvitykseen on koottu myös uusimpia digitalisaation menetelmiä, vaikka käytännön esimerkkejä teollisuudessa on vielä harvassa. Esimerkiksi 3D-varaosiin siirtyminen pienentää osien varastointitarvetta, poistaa niiden kuljetustarpeen, voi merkittävästi lyhentää seisakiaikoja ja tulee erityisesti yksittäisvalmistettuna tyyppisesti perinteisiä valmistustapoja edullisemmaksi ja vähähiilisemmäksi vaihtoehdoksi. 3D-tulostamalla osista voidaan saada merkittävästi perinteistä valmistustekniikkaa lujempia, vaikka samaan aikaan niihin käytetään vain osa raaka-aineesta. Tämä tarkoittaa merkittävää parannusta materiaalitehokkuuden suhteen. Esimerkiksi Airbus on asettanut tavoitteeksi pudottaa lentokoneen paino puoleen 3D-tulostuksen avulla. Vähähiilisyshyöty on huikaa paitsi valmistuksen yhteydessä myös valmiiden lentokoneiden polttoainesäätöjen myötä. VOIP (voice over internet protocol) ja ylipäätään etäyhteydet mahdollistavat ohjelmistot paitsi tehostavat työaikaa myös pienentävät matkustustarvetta, jolla on suora vähähiilisyysvaikutus. Etäyhteydet (esimerkiksi IoT-järjestelmät ja tilannekuva) mahdollistavat ja tulevat jatkossa lisäämään tuotantolaitosten etäohjausta, erityisesti kun tietoturvaan liittyviä riskejä saadaan vähennettyä. Autonomiset ajoneuvot tulevat korvaamaan ihmistyötä laitoksissa, mikä entisestään pienentää myös matkustustarpeita kodin ja työpaikan välillä. Autonomiset ajoneuvot tulevat muutenkin muuttamaan aiempia käytäntöjä. Esimerkiksi yhteiskäyttöisten autojen määrän ennustetaan kasvavan merkittävästi, jolloin voidaan pienentää ongelmia suurkaupunkien pysäköintitilan puutteen, liikennemäärien ja päästöjen suhteen. Autonomiset laivat voidaan suunnitella ilman miehistöle tarvittavia tiloja, jolloin rahtitilan osuutta voidaan lisätä.

Mitkä digitalisaation kehitysastelehdit ovat sitten merkittävimpiä vähähiilisyysnäkökulmasta? Tähän on hankala antaa yksiselitteistä vastausta, sillä viime kädessä ratkaistava ongelma vaikuttaa tähän merkittävästi. Jossakin tapauksessa voi riittää nykyisten mittausten aikaisempaa parempi tehokkaampi hyödyntäminen tai niistä tuotettujen uusien piirteiden tuottama informaatio. Joskus tarvitaan myös mittausteknologian kehittymistä. Digitalisaation osa-alueet ovat myös vahvasti sidoksissa toisiinsa, jolloin aito digitalisaatiokehitys edellyttää lukuisten osa-alueiden rinnakkaista eteenpäin menemistä. Esimerkiksi tekoälyn tai älykkäiden datankäsittelymenetelmien perusedellytys on luotettava mittausteknologia ja sen tuottaman tiedon koonti yhteen erilaisten rajapintojen avulla. Täysin mullistava mittausteknologiakaan ei yksin auta, jos mittaustietoa ei saada ensin muun informaation kanssa yhteen eri järjestelmistä, jolloin esimerkiksi järjestelmäintegraatiot mahdollistava OPC UA -arkkitehtuurin käyttö voisi olla yksi keskeinen ratkaisun avain.

Raportissa on esitelty myös vähähiilisyysmäärittämismenetelmiä, jotka huomioivat erilaisia asioita ja täten vähähiilisyyslopputuloksella ei ole useinkaan yksiselitteinen. Tämä voi jopa antaa yrityksille vapausasteita valita itsensä kannalta parhaat menetelmät. Vähähiilisyysnäkökulmasta digitalisaatiolla on merkittäviä muitakin hyötyjä. Ne tehostavat liiketoimintaa monella tavalla ja näkyvät tyyppisesti myös rahallisina sekä ihmisten turvallisuutta lisäävinä hyötyinä. Esimerkiksi droneja voidaan hyödyntää vaarallisten toimintaympäristöjen prosessilaitteiden tarkastuksiin, ja etäkokoukset mahdollistavat terveysturvallisen yhteydenpitomahdollisuuden.

## LÄHTEET

- ABB. 2020a. Advanced Process Control of pulp digesters - ABB process control solutions for pulp and paper plants. Saatavissa: <https://new.abb.com/control-systems/industry-specific-solutions/pulp-and-paper/apc-continuous-pulp-digester>. Viitattu 18.9.2020.
- ABB. 2020b. Underground mine ventilation- how to improve safety and half energy costs. Saatavissa: <https://new.abb.com/mining/mineoptimize/digital-applications/advanced-process-control/abb-ability-ventilation-optimizer/underground-mine-ventilation-how-to-improve-safety-and-half-energy-costs>. Viitattu 18.9.2020.
- ABB. 2015. Ventilation on demand for a gold mine in Sweden. Saatavissa: <https://new.abb.com/mining/reference-stories/underground-stories/ventilation-on-demand-for-a-gold-mine-in-sweden>. Viitattu 18.9.2020.
- Afram, A., Janabi-Sharifi, F., Fung, A.S., Raahemifar, K. 2017. Artificial neural network (ANN) based model predictive control (MPC) and optimization of HVAC systems: A state of the art review and case study of a residential HVAC system. *Energy and Buildings* 141, 96-113. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.02.012>
- Ahlvik, R. 2018a. RPA – the digital colleague providing businesses with superpowers. Saatavissa: <https://www.wartsila.com/insights/article/rpa-the-digital-colleague-providing-businesses-with-superpowers>. Viitattu 5.6.2021.
- Ahlvik, R. 2018b. Everyone can be part of the digital transformation. Saatavissa: <https://www.wartsila.com/insights/article/everyone-can-be-part-of-the-digital-transformation>. Viitattu 5.6.2021.
- Aktaş, I. 2019. Cloud and edge computing in IoT: a short history. Blogi. Saatavissa: <https://blog.bosch-si.com/bosch-iot-suite/cloud-and-edge-computing-for-iot-a-short-history/>. Viitattu 31.3.2021.
- Alanen, P. 2019. How artificial intelligence is transforming the water sector: Case Ramboll. Saatavissa: <https://silo.ai/how-artificial-intelligence-is-transforming-the-water-sector-case-ramboll/>. Viitattu 5.6.2021.
- Alfaro, J.F., Sharp, B.E., Miller, S.A. 2010. Developing LCA techniques for emerging systems: Game theory, agent modeling as prediction tools. Teoksessa *Proceedings of the 2010 IEEE International Symposium on Sustainable Systems and Technology*, 1-6. Saatavissa: <https://doi.org/10.1109/ISSST.2010.5507728>
- Ali, S., Wang, G., White, B., Cottrell, R.L. 2018. A Blockchain-Based Decentralized Data Storage and Access Framework for PingER. Teoksessa *17th IEEE International Conference On Trust, Security And Privacy In Computing And Communications/ 12th IEEE International Conference On Big Data Science And Engineering (TrustCom/BigDataSE)*, 1303-1308. Saatavissa: <https://doi.org/10.1109/TrustCom/BigDataSE.2018.00179>
- AMFG 2021. Industry's Leading Additive Manufacturing Workflow Software. Saatavissa: <https://amfg.ai/>. Viitattu 7.5.2021.
- Aro, J. & Tahvanainen, H. 2015. OPC UA Enables Secure Data Transfer and System Integrationsin Private and Public Networks. Teoksessa S. Jämsä-Jounela (toim.) *Automaatio XXI proceedings*. Helsinki: Suomen Automaatioseura ry.
- AWS. 2021a. AWS IoT Analytics. Saatavissa: <https://docs.aws.amazon.com/whitepapers/latest/aws-overview/internet-of-things-services.html#aws-iot-analytics>. Viitattu 5.6.2021.
- AWS. 2021b. AWS Case Study: LG Electronics. Saatavissa: <https://aws.amazon.com/solutions/case-studies/lg-electronics/>. Viitattu 5.6.2021.
- Baskerville, S. 2018. 3 Major Ways That Green Cloud Computing Helps the Environment. Saatavissa: <https://www.proserveit.com/blog/environmental-impact-green-cloud-computing>. Viitattu 5.6.2021.
- Blackman, J. 2018. What is OPC UA TSN, and how does it work?. Saatavissa: <https://enterpriseiotinsights.com/20180604/channels/fundamentals/what-is-opc-ua-tsn-tag40-tag99>. Viitattu 5.6.2021.
- Bosch. 2020. Bosch IoT Gateway Software: Edge computing for IoT. Saatavissa: <https://developer.bosch-iot-suite.com/service/gateway-software/>. Viitattu 31.3.2021.

Brean, J. 2014. Technical issues with robot cars just engineering problems. The moral quandaries are harder to fix. National Post. Saatavissa: <https://nationalpost.com/news/technical-issues-with-robot-cars-just-engineering-problems-the-moral-quandaries-are-harder-to-fix>. Viitattu 20.12.2020.

Brown, G. 2017. Ultra-Reliable Low-Latency 5G for Industrial Automation. Heavy Reading.

BSI. 2011. Publicly Available Specification (PAS) 2050:2011. Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services.

Casali, A., Gonzalez, G., Torres, F., Vallebuona, G., Castelli, L., Gimenez, P. 1998a. Particle size distribution soft-sensor for a grinding circuit. *Powder Technology* 99, 15–21. Saatavissa: [https://doi.org/10.1016/S0032-5910\(98\)00084-9](https://doi.org/10.1016/S0032-5910(98)00084-9).

Casali, A., Gonzalez, G., Vallebuona, G., Perez, C., Vargas, R. 2001. Grindability soft-sensors based on lithological composition and on-line measurements. *Minerals Engineering* 14, 689–700. Saatavissa: [https://doi.org/10.1016/S0892-6875\(01\)00065-6](https://doi.org/10.1016/S0892-6875(01)00065-6).

Casali, A., Vallebuona, G., Bustos, M., Gonzalez, G., Gimenez, P. 1998b. A soft-sensor for solid concentration in hydrocyclone overflow. *Minerals Engineering* 11, 375–383. Saatavissa: [https://doi.org/10.1016/S0892-6875\(98\)00015-6](https://doi.org/10.1016/S0892-6875(98)00015-6).

Cerliani, M. 2019. Quality Control with Machine Learning. Saatavissa: <https://towardsdatascience.com/quality-control-with-machine-learning-d7aab7382c1e>. Viitattu 5.6.2021.

Chan, C.W. & Huang, G.H. 2003. Artificial intelligence for management and control of pollution minimization and mitigation processes. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 16, 75–90. Saatavissa: [https://doi.org/10.1016/S0952-1976\(03\)00062-9](https://doi.org/10.1016/S0952-1976(03)00062-9).

Clic. 2015. BEST Final Report. Saatavissa: <http://bestfinalreport.fi/#%2Ffiles>. Viitattu 9.6.2020.

Coelingh, E. & Solyom, S. 2012. All Aboard the Robotic Road Train. *IEEE Spectrum*. Saatavissa: <https://spectrum.ieee.org/transportation/advanced-cars/all-aboard-the-robotic-road-train>. Viitattu 9.6.2020.

Crosser. 2021. Crosser Edge Analytics & Integration Software. Saatavissa: <https://crosser.io/>. Viitattu 31.3.2021.

Cui, S., Asghar M.R. & Russello, G. 2018. Towards Blockchain-Based Scalable and Trustworthy File Sharing. Teoksessa 27<sup>th</sup> International Conference on Computer Communication and Networks (ICCCN), 1–2. Saatavissa: <https://doi.org/10.1109/ICCCN.2018.8487379>.

Data science project management. 2020. CRISP-DM. Saatavissa: <https://www.datascience-pm.com/crisp-dm-2/>. Viitattu 31.3.2021.

Davis, J. 2014. This Is The World's First 3D Printed Electric Car. *Business Insider*. Saatavissa: <https://www.businessinsider.com/this-is-the-worlds-first-3d-printed-electric-car-2014-12>. Viitattu 9.6.2020.

Dogo, E.M., Salami, A.F., Aigbavboa, C.O. & Nkonyana, T. 2018. Taking Cloud Computing to the Extreme Edge: A Review of Mist Computing for Smart Cities and Industry 4.0 in Africa. Teoksessa: Al-Turjman, F. (Ed.) *Edge Computing: From Hype to Reality*. Springer International Publishing, Cham, 107–132. Saatavissa: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-99061-3\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-99061-3_7).

Du Plessis, B. 2001. Grinding control strategy on the conventional milling circuit of Palabora Mining Company. *Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy* 101, 165–168.

Earth911. 2017. How the Cloud Is Going Green.

Enmac. 2016. Teollinen 3D-tulostus mullistaa tuotteet ja tuotekehityksen.

European commission. 2020. Resource Efficiency. Saatavissa: [https://ec.europa.eu/environment/resource\\_efficiency/](https://ec.europa.eu/environment/resource_efficiency/). Viitattu 20.2.2020.

European commission. 2018. A Clean Planet for all - A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy. Saatavissa: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52018DC0773>. Viitattu 20.2.2020.

- Evans, P. & Annunziata, M. 2012. Industrial Internet: Pushing the boundaries of minds and machines.
- Ferrari, L., Goodhart, S., Rutter, B. & Friedman, Z. 2012. LOR Crude unit 1 APC.
- Finnsementti. 2020. Finnsementti ympäristöraportti 2020.
- Flovik, V. 2018. How to use machine learning for production optimization. Saatavissa: <https://towardsdatascience.com/machine-learning-for-production-optimization-e460a0b82237>. Viitattu 5.6.2021.
- Fruhlinger, J. & Shaw, K. 2019. What is a digital twin and why it's important to IoT. Network World. Saatavissa: <https://www.networkworld.com/article/3280225/what-is-digital-twin-technology-and-why-it-matters.html>. Viitattu 9.6.2020.
- Fryar, J. 2013. 3D laser scanning, as simple as X, Y, Z.
- Garlo-Melkas, N. 2019. Teollisuuden tarkastukset kustannustehokkaasti ja turvallisesti. Promaint-lehti. Saatavissa: <https://promaintlehti.fi/Kunnonvalvonta-ja-kayttovarmuus/Teollisuuden-tarkastukset-kustannustehokkaasti-ja-turvallisesti>. Viitattu 9.6.2020.
- Gonzalez, G.D., Miranda, D., Casali, A. & Vallebuona, G. 2008. Detection and identification of ore grindability in a semiautogenous grinding circuit model using wavelet transform variances of measured variables. International Journal of Mineral Processing 89, 53–59. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2008.09.002>.
- Google. 2021a. Cloud IoT Core. Saatavissa: <https://cloud.google.com/iot-core>. Viitattu 5.6.2021.
- Google. 2021b. Oden Technologies Case Study. Saatavissa: <https://cloud.google.com/customers/oden-technologies>. Viitattu 5.6.2021.
- Grabel, M. 2019. An introduction to edge computing and use case examples. Cisco Blogs. Saatavissa: <https://blogs.cisco.com/internet-of-things/an-introduction-to-edge-computing-and-use-case-examples>. Viitattu 31.3.2021.
- Gugel, K.S. & Moon, R.M. 2007. Automated mill control using vibration signal processing. Teoksessa IEEE Cement Industry Technical Conference Record, 17–25. Saatavissa: <https://doi.org/10.1109/CITCON.2007.358983>.
- Halenius, L. 2021. GAIA-X rakentaa datamarkkinoiden kivijalkaa. Saatavissa: <https://www.sitra.fi/artikkelit/gaia-x-rakentaa-datamarkkinoiden-kivijalkaa/>. Viitattu 5.6.2021.
- Hallituksen esitys eduskunnalle Pariisin sopimuksen hyväksymisestä ja sopimuksen lainsäädännön alaan kuuluvien määräysten voimaansaattamisesta. HE 200/2016. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/esitykset/he/2016/20160200>. Viitattu 6.5.2021.
- Harju, V. 2017. Tuotannon läpinäkyvyys. Saatavissa: <https://leanware.fi/fi/tuotannon-lapinakyvyys/>. Viitattu 5.6.2021.
- He, Y., Wu, P., Wang, Y., Tao, F. & Hon, B.K.K. 2020. An OPC UA based framework for predicting energy consumption of machine tools. Procedia CIRP 90, 568–572. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.02.133>.
- Hellevi, M. 2016. Drone-lennokeilla posti perille? UPS-kuriiripalvelu käyttää jo.
- Arvopaperi. Saatavissa: <https://www.arvopaperi.fi/uutiset/drone-lennokeilla-posti-perille-ups-kuriiripalvelu-kayttaja/bfee10df-3b81-3992-a866-a7d4595a9611>. Viitattu 21.12.2020.
- Hietaharju, P., Ruusunen, M., Leiviskä, K. & Paavola, M. 2019. Predictive optimization of the heat demand in buildings at the city level. Applied sciences 9(10), 1994. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2019052216612>.
- Hietaharju, P. & Ruusunen, M. 2019. Forecasting and optimization of the heat demand at city level. Teoksessa E. Juuso (toim.) Automaatiopäivät 23 proceedings. Helsinki: Suomen Automaatioseura ry, 85–90.
- Hietaharju, P. & Ruusunen, M. 2018. Peak Load Cutting in District Heating Network. Proceedings of The 9<sup>th</sup> EUROSIM Congress on Modelling and Simulation, EUROSIM 2016, The 57<sup>th</sup> SIMS Conference on Simulation and Modelling SIMS 2016. Linköping Electronic Conference Proceedings 142(14), 99–104. Saatavissa: <http://dx.doi.org/10.3384/ecp1714299>.

- Hietaharju, P. & Ruusunen, M. 2015. A concept for cutting peak loads in district heating. Teoksessa S. Jämsä-Jounela (toim.) *Automaatio XXI proceedings*. Helsinki: Suomen Automaatioseura ry.
- Hietaharju, P., Ruusunen, M. & Leiviskä, K. 2019. Enabling Demand Side Management: Heat Demand Forecasting at City Level. *Materials* 12(2), 202. Saatavissa: <https://doi.org/10.3390/ma12020202>.
- Hietaharju, P., Ruusunen, M. & Leiviskä, K. 2018. A Dynamic Model for Indoor Temperature Prediction in Buildings. *Energies* 11, 1477. Saatavissa: <https://doi.org/10.3390/en11061477>.
- Hippinen, I. & Suomi, U. 2012. Yksittäisen kohteen CO<sub>2</sub> -päästöjen laskentaohjeistus sekä käytettävät CO<sub>2</sub>-päästökertoimet.
- Hoppe, S. & Stark, A. 2019. IoT Basics: What is OPC UA?. Saatavissa: <https://www.spotlightmetal.com/iot-basics-what-is-opc-ua-a-842878/>. Viitattu 5.6.2021.
- Huang, P., Jia, M. & Zhong, B. 2009. Investigation on measuring the fill level of an industrial ball mill based on the vibration characteristics of the mill shell. *Minerals Engineering* 22, 1200-1208. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2009.06.008>.
- Huang, Q., Tang, B. & Deng, L. 2015. Development of high synchronous acquisition accuracy wireless sensor network for machine vibration monitoring. *Measurement* 66, 35-44. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2015.01.021>.
- Ikävalko, K. 2019. Suomalaisten lentämisen päästöistä näkyy vain murto-osa – lentokoneet saastuttavat jo saman verran kuin autot. *Yle Uutiset*. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-10595412>. Viitattu 9.6.2020.
- Ilmastolaki. 22.5.2015/609. Saatavissa: <https://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2015/20150609>. Viitattu 24.1.2020.
- Industrial Edge. 2021. Siemens. Saatavissa: <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/topic-areas/industrial-edge.html>. Viitattu 31.3.2021.
- Consequential LCA. 2015. The ISO 14040 standards for consequential LCA. Saatavissa: <https://consequential-lca.org/clca/why-and-when/the-iso-14040-standards-for-consequential-lca/>. Viitattu 27.8.2020.
- Isokangas, A. 2010. Analysis and management of wood room. Oulu: Oulun yliopisto. Väitöskirja. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:ISBN:9789514262616>.
- Jantunen, E., Karaila, M., Hästbacka, D., Koistinen, A., Barna, L., Juuso, E., Pereira, P.P., Besseau, S. & Hoepffner, J. 2017. Application system design - Maintenance. Teoksessa J. Delsing (Ed.) *IoT Automation: Arrowhead Framework*. CRC Press, 247-280. Saatavissa: <https://doi.org/10.1201/9781315367897-9>.
- Jayaweera, N., Marasinghe, D., Rajatheva, N. & Latva-Aho, M. 2020. Factory Automation: Resource Allocation of an Elevated LiDAR System with URLLC Requirements Teoksessa 2020 2nd 6G Wireless Summit (6G SUMMIT), 1-5. Saatavissa: <https://doi.org/10.1109/6GSUMMIT49458.2020.9083914>.
- Juhanko, J., Jurvansuu, M., Ahlqvist, T., Ailisto, H., Alahuhta, P., Collin, J., Halen, M., Heikkilä, T., Kortelainen, H., Mäntylä, M., Seppälä, T., Sallinen, M., Simons, M. & Tuominen, A. 2015. Suomalainen teollinen internet – haasteesta mahdollisuudeksi. Elinkeinoelämän tutkimuslaitos.
- Kaplan, R.S. & Norton, D.P. 2004. *Strategiakartat*. Helsinki: Talentum.
- Keränen, M. 2019. Bosch pyrkii ensimmäisenä teollisuuden suuryhtiönä hiilineutraaliksi jo 2020 – Näin yhtiö irtautuu miljardilla eurolla kompensatiosta 2030. *Tekniikkatalous*. Saatavissa: <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/bosch-pyrkii-ensimmaisena-teollisuuden-suuryhtiona-hiilineutraaliksi-jo-2020-nain-yhtio-irtautuu-miljardilla-eurolla-kompensatiosta-2030/270ab932-69e6-30e9-86c4-1922e8788a0b>. Viitattu 10.5.2020.
- Keränen, M. 2018. Digitaalinen kaksonen on iot:n seuraava vaihe - tuottopotentiaalia on vielä vaikea näyttää. *Tekniikkatalous*. Saatavissa: <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/digitaalinen-kaksonen-on-iotn-seuraava-vaihe-tuottopotentiaalia-on-viela-vaikea-nayttää/b628a399-2c0b-3091-bb32-f3da804486b7>. Viitattu 3.12.2019.

Koistinen, A. & Juuso, E. 2018. Information From Centralized Database to Support Local Calculations in Condition Monitoring. Teoksessa Proceedings of the 9th EUROSIM Congress on Modelling and Simulation. Linköping Electronic Conference Proceedings 142(165), 1122–1128. Saatavissa: <http://dx.doi.org/10.3384/ecp171421122>

Koistinen, M. 2011. Tilannetietoisuus ja tilannekuva operatiivisessa liikenteenhallinnassa. Helsinki: Liikennevirasto.

Kokkolan kaupunki. 2011. Keski-pohjanmaan ilmastostrategia 2012–2020.

Kritzinger, W., Karner, M., Traar, G., Henjes, J. & Sihn, W. 2018. Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. IFAC-PapersOnLine 51(11), 1016–1022. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.474>.

Kube, G. 2016. The Digital Twin for Business. IndustryWeek. Saatavissa: <https://www.industryweek.com/innovation/research-development/article/22007864/the-digital-twin-for-business>. Viitattu 5.12.2019.

Köhler, M. 2018. Industry 4.0: Condition monitoring use cases in detail. Bosch. Blogi. Saatavissa: <https://blog.bosch-si.com/industry40/industry-4-0-condition-monitoring-use-cases-in-detail/>. Viitattu 31.3.2021.

LaFrance, A. 2015. Driverless Cars Could Save Tens of Millions of Lives This Century. The Atlantic. Saatavissa: <https://www.theatlantic.com/technology/archive/2015/09/self-driving-cars-could-save-300000-lives-per-decade-in-america/407956/>. Viitattu 21.12.2020.

Liikenne- ja viestintäministeriö. 2019. Tieto- ja viestintäteknologia-alan ilmasto- ja ympäristöstrategian valmistelu alkaa. Saatavissa: <https://www.lvm.fi/-/tieto-ja-viestintateknologia-alan-ilmasto-ja-ymparistostrategian-valmistelu-alkaa-1022292>. Viitattu 7.4.2020.

Liu, Y., Marcella, N., Timoshenko, J., Halder, A., Yang, B., Kolipaka, L., Pellin, Michael.J., Seifert, S., Vajda, S., Liu, P. & Frenkel, A.I. 2019. Mapping XANES spectra on structural descriptors of copper oxide clusters using supervised machine learning. J. Chem. Phys. 151, 164201. Saatavissa: <https://doi.org/10.1063/1.5126597>.

Luu, L., Narayanan, V., Zheng, C., Baweja, K., Gilbert, S. & Saxena, P. 2016. A Secure Sharding Protocol For Open Blockchains. Proceedings of the 2016 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security, 17–30. Saatavissa: <https://doi.org/10.1145/2976749.2978389>.

Lähde, M. 2020. Lohkoketjuteknologian mahdollisuudet toimitusketjun hallinnassa. Lappeenranta: LUT-yliopisto. Tuotantotalous. Kandidaatintyö.

Maaseutu.fi. 2020. Vähähiilinen talous. Saatavissa: <https://www.maaseutu.fi/maaseutuverkosto/teemat/vahahiilinen-talous>. Viitattu 9.6.2020.

Macdonald, K. 2019. "Digital twin" tech to cut Stirling's carbon emissions. BBC News. Saatavissa: <https://www.bbc.co.uk/news/uk-scotland-48556413>.

Martiala, K. 2018. Vuosaari mukana autonomisen liikenteen kehityksessä. Port of Helsinki. Saatavissa: <https://www.portofhelsinki.fi/verkkolehti/vuosaari-mukana-autonomisen-liikenteen-kehityksessa>. Viitattu 9.6.2020.

Metso Outotec. 2020. MillSense mill charge sensor system. Saatavissa: <https://www.mogroup.com/portfolio/millsense-mill-charge-sensor-system/>. Viitattu 31.3.2021.

Metsäalan ammattilehti. 2016. Valmet ottaa käyttöön 3D-tulostusteknologian valmistusprosesseissaan. Saatavissa: <https://www.ammattilehti.fi/uutiset.html?a3600=75825>. Viitattu 9.6.2020.

Metsä Groupin biotuotetehtaan logistiikkaketju on valmis. 2017. Äänekosken kaupunkisanomat. Saatavissa: <https://aksa.fi/metsa-groupin-biotuotetehtaan-logistiikkaketju-on-valmis/>. Viitattu 9.6.2020.

Microsoft. 2019a. Introduction to Azure IoT Hub. Saatavissa: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/iot-hub/about-iot-hub>. Viitattu 5.6.2021.

Microsoft. 2019b. Boosting green energy intelligence with IoT in Germany. Saatavissa: <https://customers.microsoft.com/en-us/story/avacon-natur-power-and-utilities-azure-germany>. Viitattu 5.6.2021.

Mittal, A. 2018. Top NodeJS Libraries and Tools For Machine Learning.



- Mittauslaitelaki. 1.7.2011/707. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/smur/2011/20110707>. Viitattu 7.5.2021.
- Morris, D. 2016. Want to know why Uber and automation really matter? Here's your answer. Fortune. Saatavissa: <https://fortune.com/2016/03/13/cars-parked-95-percent-of-time/>. Viitattu 21.12.2020.
- Motiva. 2021. CO<sub>2</sub>-päästökertoimet. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto\\_suomessa/co2-paastokertoimet](https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto_suomessa/co2-paastokertoimet). Viitattu 7.5.2021.
- Mussomeli, A., Parrot, A. & Warshaw, L. 2017. Meet Manufacturing's Digital Twin. The Wall Street Journal. Saatavissa: <https://deloitte.wsj.com/cio/2017/08/09/meet-manufacturings-digital-twin/>. Viitattu 9.12.2019.
- Mykkänen, J. 2017. Maailman ensimmäinen autonominen laiva seilaa jo ensi vuonna. Blogiteksti. Saatavissa: <https://www.jokamies.fi/maailman-ensimmainen-autonominen-laiva-seilaa-jo-ensi-vuonna/>. Viitattu 9.12.2019.
- Mäkinen, J. 2019. Prosessilaitosten reaaliaikainen elinkaariarviointi. Automaatioväylä 35(4), 30-31. Saatavissa: [https://www.automaatiovayla.fi/site/assets/files/4823/automaatiovayla\\_4\\_2019.pdf](https://www.automaatiovayla.fi/site/assets/files/4823/automaatiovayla_4_2019.pdf).
- Neste. 2019. Vastuullisuusraportti 2019. Saatavissa: <https://www.neste.com/fi/konserni/uutiset-media/materiaalit>. Viitattu 20.5.2020.
- Nikula, R.-P. 2019. Digitaalinen kaksonen tarvitsee ajantasaista adaptaatiota. Automaatioväylä 35(4), 14-15. Saatavissa: [https://www.automaatiovayla.fi/site/assets/files/4823/automaatiovayla\\_4\\_2019.pdf](https://www.automaatiovayla.fi/site/assets/files/4823/automaatiovayla_4_2019.pdf).
- NVIDIA. 2021. Self-Driving Cars Technology & Solutions from NVIDIA Automotive. Saatavissa: <https://www.nvidia.com/en-us/self-driving-cars/>. Viitattu 9.6.2020.
- Oiva, L. 2020. Hiilijalanjäljen laskenta on ensimmäinen askel kohti päästöjen pienentämistä pysyvästi. EcoReal. Saatavissa: <https://www.ecoreal.fi/hiilijalanjaljen-laskenta-on-ensimmainen-askel-kohti-paastojen-pienentamista-pysyvasti/>. Viitattu 6.5.2021.
- Olding, M. 2020. How OPC UA Over TSN and 5G Converge. Saatavissa: <https://www.exorint.com/en/blog/how-opc-ua-over-tsn-and-5g-converge>. Viitattu 7.5.2021.
- Olding, M. 2019. How OPC UA can help with the Challenges of Brownfield Industrie 4.0 Implementation. Saatavissa: <https://www.exorint.com/en/blog/how-opc-ua-can-help-with-the-challenges-of-brownfield-industrie-4-0-implementation>. Viitattu 5.6.2021.
- Oliveira, A. 2015. 4 ways moving to cloud reduces the IT energy footprint. Saatavissa: <https://www.ibm.com/blogs/cloud-computing/2015/03/25/4-ways-moving-to-cloud-can-reduce-the-it-energy-burden/>. Viitattu 5.6.2021.
- Osuolale, F.N. & Zhang, J. 2016. Energy efficiency optimisation for distillation column using artificial neural network models. Energy 106, 562-578. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.03.051>.
- Ovenden, J. 2017. Beginner's Guide To Digital Twin Technology. Saatavissa: <https://channels.theinnovationenterprise.com/articles/a-beginner-s-guide-to-digital-twin-technology>. Viitattu 9.6.2020.
- Overton, J. & Brigham, J.C. 2018. The digital twin data-driven simulations innovate the manufacturing process.
- Oxford Martin School 2015. Technology at Work: The Future of Innovation and Employment. Oxford Martin School. Saatavissa: <https://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/publications/technology-at-work-the-future-of-innovation-and-employment/>. Viitattu 9.6.2020.
- Pani, A.K. & Mohanta, H.K. 2014. Soft sensing of particle size in a grinding process: Application of support vector regression, fuzzy inference and adaptive neuro fuzzy inference techniques for online monitoring of cement fineness. Powder Technology 264, 484-497. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2014.05.051>.
- Pani, A.K. & Mohanta, H.K. 2013. A hybrid soft sensing approach of a cement mill using principal component analysis and artificial neural networks. Teoksessa 3<sup>rd</sup> IEEE International Advance Computing Conference (IACC), 713-718. Saatavissa: <https://doi.org/10.1109/IAdCC.2013.6514314>.
- Peltola, A. 2014. Metsätilastollinen vuosikirja 2014. Vantaa: Metsäntutkimuslaitos.

Pihlajamäki, J. 2014. Haastattelu Yle Uutisten artikkeliin. 26.5.2014.

Powell, M.S., van der Westhuizen, A.P. & Mainza, A.N. 2009. Applying grindcurves to mill operation and optimisation. *Minerals Engineering* 22(7-8), 625-632. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2009.01.008>.

PwC. 2017. By 2030 the transport sector in Europe will require 80 million fewer cars than today. Saatavissa: <https://www.pwc.de/en/presse/press-releases/2017/by-2030-the-transport-sector-in-europe-will-require-80-million-fewer-cars-than-today.html>. Viitattu 9.12.2019.

Rahkola, K. 2019. Konenäkö on älykkään automaation väsymätön silmä. *Protacon*. Saatavissa: <https://www.protacon.com/protacon-blogi/konenako-on-alykkaan-automatoin-vasymaton-silma/>. Viitattu 16.1.2020.

Rathore, S., Sharma, P.K. & Park, J.H. 2017. XSSClassifier: An Efficient XSS Attack Detection Approach Based on Machine Learning Classifier on SNSs. *Journal of information processing systems* 13, 1014-1028. Saatavissa: <https://doi.org/10.3745/JIPS.03.0079>.

Rolnick, D., Donti, P.L., Kaack, L.H., Kochanski, K., Lacoste, A., Sankaran, K., Ross, A.S., Milojevic-Dupont, N., Jaques, N. & Waldman-Brown, A. 2019. Tackling climate change with machine learning. *arXiv preprint arXiv:1906.05433*.

Rong, H., Zhang, H., Xiao, S., Li, C. & Hu, C. 2016. Optimizing energy consumption for data centers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 58, 674-691. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.283>.

Rotman, D. 2013. How Technology Is Destroying Jobs. *MIT Technology Review*. Saatavissa: <https://www.technologyreview.com/2013/06/12/178008/how-technology-is-destroying-jobs/>. Viitattu 9.6.2020.

RTAutomation. 2021. OPC UA Overview. Saatavissa: <http://www.rtautomation.com/technologies/opcu/>. Viitattu 5.6.2021.

Ruonaniemi, A. 2019. Kolmiulotteinen tulostus on mullistamassa Suomen teollisuutta: ”Suurin osa tuotteistamme löytyy ihmisten suista”. *Yle Uutiset*. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-10621007>. Viitattu 9.6.2020.

Ruusunen, M. 2008. Real-time moisture content monitoring of solid biomass in grate combustion. *IFAC Proceedings Volumes* 41(2), 10652-10656. Saatavissa: <https://doi.org/10.3182/20080706-5-KR-1001.01805>.

Räisänen, J. 2017. Kolmiulotteisen astian mallin tekeminen ja tulostus 3D-tekniikalla. Oulu: Oulun yliopisto. Kandidaatintyö.

Salmi, M., Partanen, J., Tuomi, J., Chekurov, S., Björkstrand, R., Huotilainen, E., Kukko, K., Kretzschmar, N., Akmal, J., Jalava, K., Koivisto, S., Vartiainen, M., Metsä-Kortelainen, S., Puukko, P., Jussila, A., Riipinen, T., Reijonen, J., Tanner, H. & Mikkola, M. 2018. *Digitaaliset varaosat*. Espoo: Aalto yliopisto. Raportti.

Sbarbaro, D., Ascencio, P., Espinoza, P., Mujica, F. & Cortes, G. 2008. Adaptive soft-sensors for on-line particle size estimation in wet grinding circuits. *Control Engineering Practice* 16(2), 171-178. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2007.01.007>.

Segan, S. 2019. Nokia CEO Says 5G Will Boost US Economy by 30 Percent. *PCMag UK*. Saatavissa: <https://uk.pcmag.com/news/119798/nokia-ceo-says-5g-will-boost-us-economy-by-30-percent>. Viitattu 20.12.2020.

Seilonen, I. & Oksanen, T. 2015. Peltotyökoneiden yhdistäminen Internetiin OPC UA:n avulla. Teoksessa S. Jämsä-Jounela (toim.) *Automaatio XXI proceedings*. Helsinki: Suomen Automaatioseura ry.

Seppo, S. 2019. St1 tutkii hiilinielujen hyödyntämistä Marokossa. *Business Finland*. Saatavissa: <https://www.businessfinland.fi/ajankohtaista/caset/2019/st1-tutkii-hiilinielujen-hyodyntamista-marokossa/>. Viitattu 9.6.2020.

Seppälä, A. & Pennanen, R. 2014. 3D-tulostus mahdollistaa yksilölliset tuotteet ja halvat prototyypit. *Yle Uutiset*. Saatavissa: [http://yle.fi/uutiset/3d-tulostus\\_mahdollistaa\\_yksilolliset\\_tuotteet\\_ja\\_halvat\\_prototyypit/7263686](http://yle.fi/uutiset/3d-tulostus_mahdollistaa_yksilolliset_tuotteet_ja_halvat_prototyypit/7263686). Viitattu 9.6.2020.

Seppänen, O. 2020. Digitaalinen tilannekuva mahdollistaa tuottavuusloikan. Saatavissa: <https://www.rakennuslehti.fi/blogit/digitaalinen-tilannekuva-mahdollistaa-tuottavuusloikan/>. Viitattu 5.6.2021.

- Shome, S.K., Datta, U. & Vadali, S.R.K. 2012. FPGA based Signal Prefiltering System for Vibration Analysis of Induction Motor Failure Detection. *Procedia Technology* 4, 442–448. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2012.05.070>.
- Siitonen, S. 2018. Ilmastobisnes.fi-sivustolta askelmerkkejä pk-yritysten ympäristötoimiin. Clonet Oy. Saatavissa: <https://www.clonet.fi/ilmasto/ilmastobisnes-fi-sivustolta-askelmerkkeja-pk-yritysten-ymparistotoimiin/>. Viitattu 6.5.2021.
- Singtel. 7 use cases for 5G in manufacturing. Saatavissa: <https://www.singtel.com/business/articles/7-use-cases-for-5g-in-manufacturing>. Viitattu 5.6.2021.
- Sitra. 2018. Hiilikädenjälki. Saatavissa: <https://www.sitra.fi/tulevaisuussanasto/hiilikadenjalki/>. Viitattu 9.6.2020.
- Sloane, K. 2015. The Green Case for the Cloud: Environmental Benefits of Cloud Computing. Saatavissa: <https://www.eci.com/blog/15779-the-green-case-for-the-cloud-environmental-benefits-of-cloud-computing.html>. Viitattu 5.6.2021.
- Snatkin, A., Karjust, K., Majak, J., Aruväli, T. & Eiskop, T. 2013. Real time production monitoring system in SME. *Estonian Journal of Engineering* 19(1), 62-75. Saatavissa: <https://doi.org/10.3176/eng.2013.1.06>.
- Sorvali, J. 2017. Pellon yllä lentävä drone rekisteröi monenlaista tietoa. Luonnonvarakeskus. Saatavissa: <https://www.luke.fi/uutinen/pellon-ylla-lentava-drone-rekisteroi-monenlaista-tietoa/>. Viitattu 9.6.2020.
- SSAB annual report. 2019. SSAB. Saatavissa: <https://www.ssab.fi/ladattavat-tiedostot?dcFilter=vuosikertomukse&dcSearch>. Viitattu 9.6.2020.
- Standish, R. 2018. Congratulations, It's a Digital Twin!. *IndustryWeek*. Saatavissa: <https://www.industryweek.com/technology-and-iiot/article/22026161/congratulations-its-a-digital-twin>. Viitattu 9.12.2019.
- Stewart, J. 2014. Robot cars get ready to roll. *BBC*. Saatavissa: <https://www.bbc.com/future/article/20120424-robot-cars-ready-to-roll>. Viitattu 20.12.2020.
- Strobel, P. 2019. Tackling climate change with machine learning [part 5] - Industry & carbon dioxide removal. Saatavissa: <https://blog.codecentric.de/en/2019/09/tackling-climate-change-with-machine-learning-industry-carbon-dioxide-removal/>. Viitattu 5.6.2021.
- Svensson, M., Boberg, C. & Kovács, B. 2018. Distributed cloud: A key enabler of automotive and industry 4.0 use cases. *Ericsson*. Saatavissa: <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/ericsson-technology-review/articles/distributed-cloud>.
- Tammilehto, P. 2019. Wing lennättää ruokapakkauksia droneilla Vuosaaressa jo ensi kuussa – Drone-kuljetuksista tulossa iso bisnes. *Talouselämä*. Saatavissa: <https://www.talouselama.fi/uutiset/wing-lennattaa-ruokapakkauksia-droneilla-vuosaaressa-jo-ensi-kuussa-drone-kuljetuksista-tulossa-iso-bisnes/7b683cae-426d-4784-b5e3-5e19de2454a6>. Viitattu 21.12.2019.
- Tang, J., Chai, T., Yu, W. & Zhao, L. 2012. Feature extraction and selection based on vibration spectrum with application to estimating the load parameters of ball mill in grinding process. *Control Engineering Practice* 20(10), 991-1004. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2012.03.020>.
- Tang, J., Zhao, L., Zhou, J., Yue, H. & Chai, T. 2010. Experimental analysis of wet mill load based on vibration signals of laboratory-scale ball mill shell. *Minerals Engineering* 23, 720–730. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2010.05.001>.
- Tano, K.T., Pålsson, B.I. & Sellgren, A. 2005. On-line lifter deflection measurements showing flow resistance effects in grinding mills. *Minerals Engineering* 18, 1077–1085. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2005.02.005>.
- Tardo, F. & Stickel, M. 2012. *IEEE News*. *IEEE news*. Saatavissa: <https://www.ieee.org/about/news/2012/5september-2-2012.html>. Viitattu 16.6.2020.
- Tekniikka&Talous. 2015. 3d-tulostin suolsi äkäisen moottorin: pyörä 33 000 kierrosta minuutissa. *Tivi*. Saatavissa: <https://www.tivi.fi/uutiset/3d-tulostin-suolsi-akaisen-moottorin-pyorii-33-000-kierrosta-minuutissa/b55278cb-818d-3a39-a8ec-f29d1a36100d>. Viitattu 9.6.2020.

- Tikka, T. 2015. Teollinen internet - mikä se on?. Tivi. Saatavissa: <https://www.tivi.fi/kumppaniblogit/tieto/teollinen-internet-mika-se-on/7527cb6f-715b-314e-b5ed-420e57214b54>. Viitattu 5.6.2021.
- Tilastokeskus. 2016. Kasvihuonekaasuinventaarion sanasto. Saatavissa: [https://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut\\_sanasto.html](https://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut_sanasto.html). Viitattu 9.6.2020.
- Torikka, R. 2017. 3D-laserskannaus mullistaa maisema- ja rakennussuunnittelun. Yle Uutiset. Saatavissa: <http://yle.fi/uutiset/3-9602953>. Viitattu 9.6.2020.
- Turunen, T. 2018. Pullonkauloja ja haasteita energiatehokkuusdatan jalostamisessa. Blogi. Elomatic. Saatavissa: <https://blog.elomatic.com/fi/pullonkauloja-ja-haasteita-energiatehokkuusdatan-jalostamisessa/>. Viitattu 12.6.2019.
- Työ- ja elinkeinoministeriö. 2019. Vähähiilisyden tausta-aineisto hankekäsittelijöille.
- Uotila, E. 2019. Ohjelmistorobotiikka grityksen taloushallinnossa. Lappeenranta: LUT-yliopisto. Tuotantotalous. Kandidaatintyö.
- van der Giesen, C., Cucurachi, S., Guinée, J., Kramer, G.J. & Tukker, A. 2020. A critical view on the current application of LCA for new technologies and recommendations for improved practice. *Journal of Cleaner Production* 259, 120904. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120904>.
- Vartia, A. 2017. Sellutonnit ripeästi maailmalle. Port of Helsinki. Saatavissa: <https://www.portofhelsinki.fi/verkkolehti/sellutonnit-ripeasti-maailmalle>. Viitattu 21.12.2020.
- Vettenranta, J., Smeds, S., Yli-Opas, K., Sourander, M., Vanhamäki, V., Aaljoki, K., Bergman, S. & Ojala, M. 2006. Dynamic real-time optimization increases ethylene plant profits. *Hydrocarbon Processing* 6, 59-64.
- Vite-Frias, J., Romero-Troncoso, R. de J. & Ordaz-Moreno, A. 2005. VHDL core for 1024-point radix-4 FFT computation. 2005 International Conference on Reconfigurable Computing and FPGAs (ReConFig 2005), 4-24. Saatavissa: <https://doi.org/10.1109/RECONFIG.2005.36>.
- What is 3D printing, 2019. 3D Printing. Saatavissa: <https://3dprinting.com/what-is-3d-printing/>. Viitattu 9.6.2020.
- Wiedmann, T. & Minx, J. 2007. A definition of Carbon footprint. Teoksessa C.C. Pertsova (Ed.) *Ecological Economics Research Trends*. Nova Publishers, 1-11.
- Wikipedia. Perseverance. Saatavissa: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Perseverance>. Viitattu 5.6.2021.
- Wikipedia. Laserkeilaus. Saatavissa: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Laserkeilaus>. Viitattu 9.12.2019.
- Williamson, J. 2017. Digital twin helps us to reduce costs by over 50%. Saatavissa: <https://www.themanufacturer.com/articles/digital-twin-helps-us-to-reduce-costs-by-over-50/>. Viitattu 5.6.2021.
- Wills, B. 2006. *Wills' Mineral Processing Technology - An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery*. 7. painos. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Yamamoto, T., Hayama, H., Hayashi, T. & Mori, T. 2020. Automatic Energy-Saving Operations System Using Robotic Process Automation. *Energies* 13(9), 2342. Saatavissa: <https://doi.org/10.3390/en13092342>.
- Ymparisto. 2021. Ymparisto. Saatavissa: <https://www.ymparisto.fi/fi-FI>. Viitattu 5.6.2021.
- Ymparisto. 2013. Elinkaariarviointi, jalanjäljet ja panos-tuotosmalli. Saatavissa: [https://www.ymparisto.fi/fi-fi/kulutus\\_ ja\\_tuotanto/tuotesuunnittelu\\_ ja\\_tuotteet/elinkaariarviointi\\_jalanjaljet\\_ ja\\_panostuotosmalli](https://www.ymparisto.fi/fi-fi/kulutus_ ja_tuotanto/tuotesuunnittelu_ ja_tuotteet/elinkaariarviointi_jalanjaljet_ ja_panostuotosmalli). Viitattu 27.8.2020.
- Ympäristöministeriö. 2020. Kansainväliset ilmastoneuvottelut. Saatavissa: <https://ym.fi/kansainvaliset-ilmastoneuvottelut>. Viitattu 7.5.2021.
- Zheng, W., Liu, R., Zhang, M., Zhuang, G. & Yuan, T. 2014. Design of FPGA based high-speed data acquisition and real-time data processing system on J-TEXT tokamak. *Fusion Engineering and Design* 89(5), 698-701. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2014.01.027>.

Älykäs ohjelmisto mullistaa hera- ja maitojauheen tuotannon. 2021. Industrial News Service. Saatavissa: <https://www.ins-news.com/fi/100/865/2325/%C3%84lyk%C3%A4s-ohjelmisto-mullistaa-hera--ja-maitojauheen-tuotannon.htm>. Viitattu 5.6.2021.

## LASKUREITA

SimaPro, kaupallinen sovellus tuotteiden ja palveluiden ympäristövaikutusten arviointiin ja elinkaarianalyysien tuottamiseen. Lisää tietoa sovelluksesta ja siihen kuuluvista tietokannoista löytyy SimaPro:n kotisivuilta:  
<https://simapro.com/>

Ilmastobisnes, hiilijalanjälkilaskuri pk-yrityksille  
saatavissa: <https://www.ilmastobisnes.fi/paastolaskuri/>

Y-HIILARI Hiilijalanjälki  
Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) kehittämä työkalu yrityksen hiilijalanjäljen laskentaan  
saatavissa: [https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus\\_kehittaminen/Kulutus\\_ja\\_tuotanto/Laskurit/YHiilari](https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Kulutus_ja_tuotanto/Laskurit/YHiilari)

Ilmastodieetti  
Lähinnä yksityishenkilöiden päästöjen laskentaan sekä seurantaan.  
saatavissa: <https://ilmastodieetti.ymparisto.fi/ilmastodieetti/>

KEKO  
Kaupunkien ja kuntien alueellinen ekolaskuri.  
Saatavissa: [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/KEKO\\_Kaavoituksen\\_ekolaskuri](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/KEKO_Kaavoituksen_ekolaskuri)

JUHILAS  
Julkisten hankintojen hiilijalanjälkilaskuri kunnille ja yrityksille.  
Saatavissa: [https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus\\_kehittaminen/Kulutus\\_ja\\_tuotanto/Laskurit/Juhilas](https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Kulutus_ja_tuotanto/Laskurit/Juhilas)

WWF:n Ilmastolaskuri.  
Saatavissa: <http://www.ilmastolaskuri.fi/fi>

Ilmastobisnes -päästölaskuri.  
Pk -yrityksille tarkoitettu.  
Saatavissa: <https://www.ilmastobisnes.fi/paastolaskuri/>

## LENTOIHIN LIITTYVIÄ LASKUREITA:

ICAO  
Saatavissa: <https://www.icao.int/environmental-protection/CarbonOffset/Pages/default.aspx>

Carbon Neutral Flights  
Saatavissa: <https://calculator.carbonfootprint.com/calculator.aspx>

Finnairin päästölaskuri  
Saatavissa: <https://www.finnair.com/fi/fi/emissions-calculator>

Lufthansan päästölaskuri  
Saatavissa: [https://lufthansa.myclimate.org/en/flight\\_calculators/new](https://lufthansa.myclimate.org/en/flight_calculators/new)

## A NOVEL APPROACH TO TRANSFORM ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO BLOCKCHAIN VIA MYDATA TO REDUCE CARBON EMISSION

**Abstract:** Blockchain is one the most hyped innovations these days, and it has been gaining a lot of popularity as a horizontal technology to be widely adopted in various fields (Maxmen. 2018). Artificial Intelligence (AI) plays a substantial role in making analytic tools and delivers a scalable and precise analysis of data in real-time. The massive production and generation of data by sensing systems, IoT devices, social media, and web applications have contributed to the rise of AI (Koch. 2018). Such data can be utilized to perform various machine learning and deep learning techniques to variety of analytics methods. Blockchain supports a decentralized architecture. The primary goal of our study is the integration of Blockchain and AI to support secure, decentralized data analysis for IoT applications in Industries. (Singh et al. 2020). This study contributes the integration of artificial intelligence especially machine learning (for collecting data from industry), the hash of those data will be shared in blockchain, and the real data will be secured with MyData. Finally, the application of different smart technologies leads to a less carbon emission environment.

**Introduction:** Rui Zhao et.al studied and published that the reduction of CO2 emissions to China's 41 industrial sectors by using a method by combining an input-output analysis and entropy weighting. This was done in two ways in which the first way tries to calculate the carbon emission intensity and the second way was to find the emissions reduction weighting of each industry/sector. The main finding is that the electric power and heat supply sector has the largest share of emission reduction, with an expected emission reduction of 1825.98 million tons (for emission intensity reduction targets of 60%) and 2673.69 million tons (for emission intensity reduction targets of 65%) by 2030, followed by the sectors of non-metallic mineral products, the chemical industry, metal smelting and pressing, the transport and storage industry, agriculture/forestry/animal husbandry/fishery, the food and tobacco processing industry, and the production and distribution of fuel gas (Zhang et al. 2019).

Blockchain is a pioneering technology authorizing the benign and reliable storage and transmission of data, among its other advantages. Artificial Intelligence, on the other hand, is an innovative technology that can learn by its own to analyze and determine patterns in enormous amounts of data. So, there is a natural reciprocity between the two technologies, as blockchain securely provide trustworthy data while AI requires huge amounts of reliable data to discover patterns and learn. The concept of decentralized AI has been recently emerging. Decentralized AI is basically a combination of AI and blockchain (Nebula AI Team. 2018). The decentralized AI helps in processing and analyzing on trusted, digitally signed, and secure shared data that has been transacted and stored on the blockchain without Trusted Third Parties or intermediaries. AI is known to work with huge volumes of data, and blockchain has now been expected as a trusted platform to store such data. The feature of blockchain smart contracts gives the ability to program the blockchain to govern transactions among participants involved in decision making and accessing the data (Wood. 2014). Smart contract-based autonomous systems and machines can learn and adapt to changes over time and make trusted and accurate decision outcomes that are verified and validated by all mining nodes of the blockchain. Such decisions cannot be countered, and can be traced, tracked, and verified by all participating entities. The aim of this study is:

- A concrete integration of machine learning algorithms with blockchain leads to better QoS characteristics, reduce power consumption and reduction in overall cost.
- Reducing the challenge of storing large files in blockchain thereby reducing latency
- The first two steps help in achieving a less carbon emission environment.

**Background:** The background of this study is based on four main know-hows a) Blockchain b) Artificial Intelligence c) Transformation of Blockchain to Artificial Intelligence d) MyData.

**Blockchain:** The new technology that redefine the way that how transactions are happening through internet. It is a transformation that already begun. Block chain has the potential to change the way we buy and sell, interact with government, and verify the authenticity of everything from property to organic vegetables. The organizations and the intermediaries at the risk of disintermediation will need to be prepared as technology matures. Block chain gives everyone a safer and faster way to verify key information and establish trust.

Conventional blockchain is a very expensive medium for storing enormous amounts of data. For example, storing large files or documents on Bitcoin blockchain is very expensive as the size limit per block is limited to one megabyte (Hartman et al. June 1999). To solve this problem, a decentralized storage medium is used for storing such data and hashes of the data are linked with the blockchain blocks or used within the blockchain smart contract code. Among the popular decentralized storage technologies are the Interplanetary File System (IPFS), Swarm, Filecoin (Psaras & Dias. 2020), BigChainDB (McConaghy et al. 2016), Storj (Wilkinson et al. 2014), and many others. IPFS is a peer-to-

peer, distributed and decentralized file system that is connected across nodes of computers that share a common file system. It is content addressable, which means that the contents of IPFS can be accessed using IPFS hash addresses. Moreover, this file system becomes indisputable since it works similar to the blockchain network by having a list of nodes and does not allow any tampering of files (Psaras & Dias. 2020).

A smart contract is a computer program consists of a set of rules run on the block chain. The state of a block chain is updated when a valid transaction is recorded on chain and smart contracts can be used to automatically trigger transactions under certain condition. Smart contracts can be of two types-public smart contracts and permissioned smart contracts. Public block chain set no requirements for peer to participate hence all peers have the right to deploy smart contracts. In order to prevent spamming when instantiating or invoking smart contracts on a block chain is often required to pay a fee (Brincat et al. 2019) e.g.: health care and medical records, identity management, scaling block chains. Permissioned smart contracts are residing on permissioned block chains. Compared to the inefficient and expensive validation process of public block chain, permissioned block chains are more suitable for business collaborations.eg. banking, provenance and supply chain, voting, insurance. The security of a smart contract needs to be built properly in order for it to be considered safe to use. Smart contracts have certain advantages for many industry sectors such as reducing overhead costs, providing transparency, and saving time. They are more reliable, secure, efficient, and trustworthy as compared to paper contracts. The working of smart contract depicts in figure 2. The figure 3 shows the benefits of using blockchain.

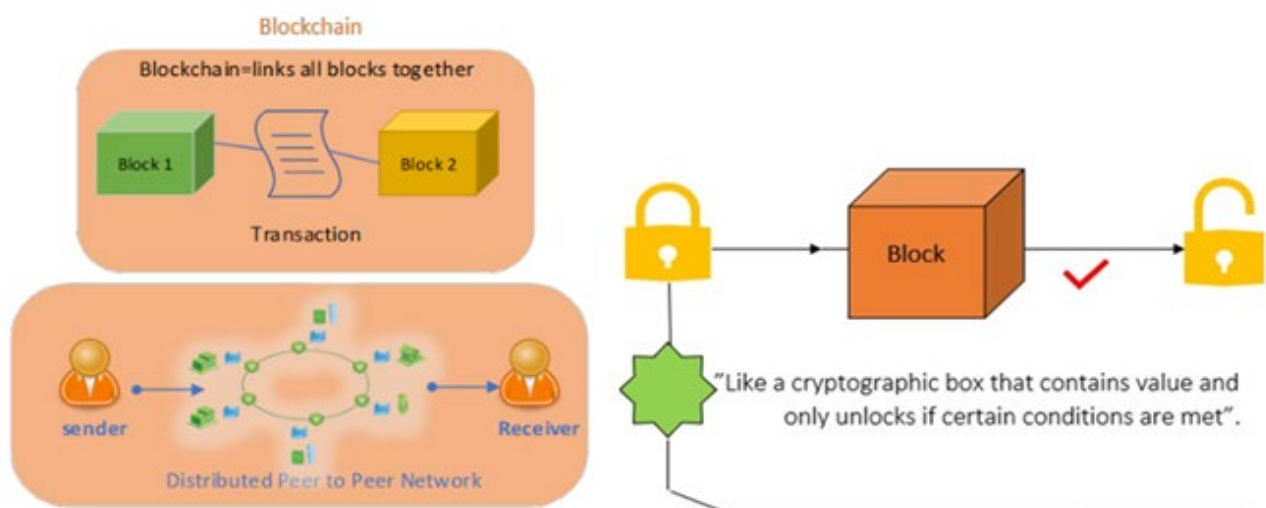


FIG 2. Blockchain and working of smart contract.



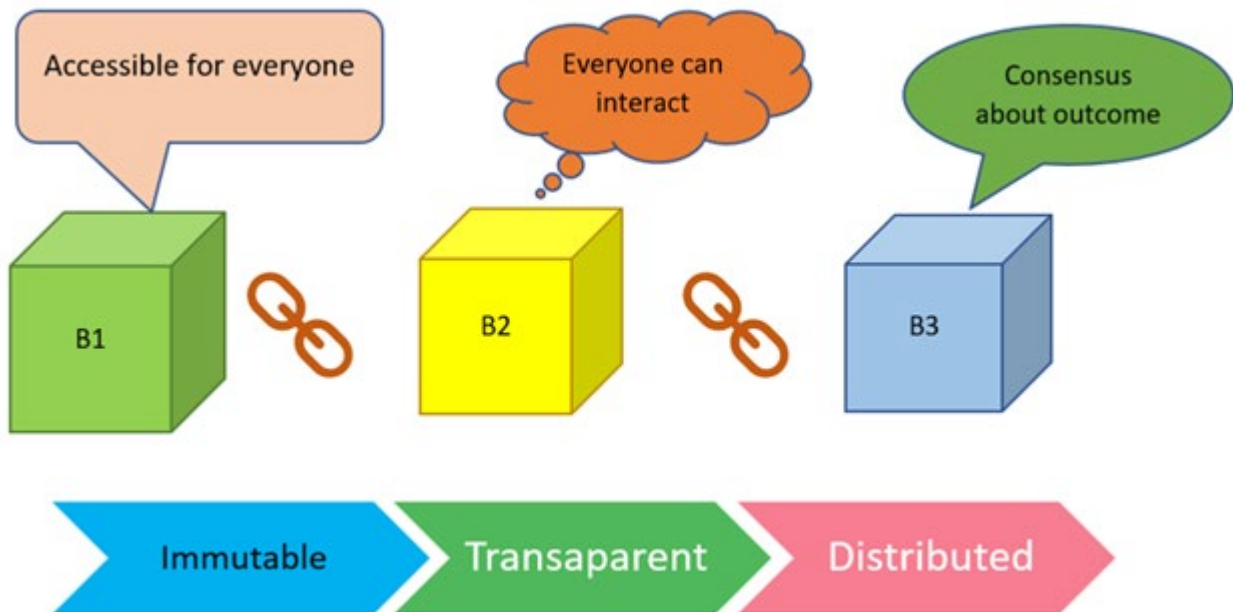


FIG 3. Benefits of using blockchain.

**Artificial Intelligence:** Any automatic machine can perform various functions such as perceiving, learning, reasoning, and solve the problem automatically is known as artificial intelligence.

Machine learning, deep learning, and neural network are using for solving the complex problem automatically, and the benchmark for AI is the human level concerning reasoning, speech, and vision. Peer to peer blockchain node in device intelligence is used for data collection and recorded (Singh et al. 2020).

Intelligence machines are used to remove the tasks of human in many fields such as medical science, automatic sensing devices, automated vehicle driving, and mechanized farming (Dogo et al. 2018). AI takes raw data as input and performs decision making, and finally gives the maximum outputs for a specific purpose (Rathore et al. 2017).

Machine learning is used to identify patterns, anomalies, and make a prediction based on a massive amount of data which is generated by IoT application such as healthcare, transportation, weather forecasting, and industrial IoT. With the use of automated decision-making capability and control activities like streamline decision making, optimize the operations in devices; manage warehouses, decrease downtime, and repairs in transportation management.

With ML-based IoT authentication, it provides IoT security solution based on machine learning techniques which include supervised, unsupervised and reinforcement learning, access control, secure offloading, and malware detection schemes to protect data privacy (Alli & Alam. 2019, Gupta et al. 2017). The methods like genetic algorithms, supervised machine learning and even deep reinforcement learning to optimize these objective functions (Dawoud et al. 2018, Marwala & Xing. 2018). The figure 4 shows the different ways of artificial intelligence methods and its benefits.

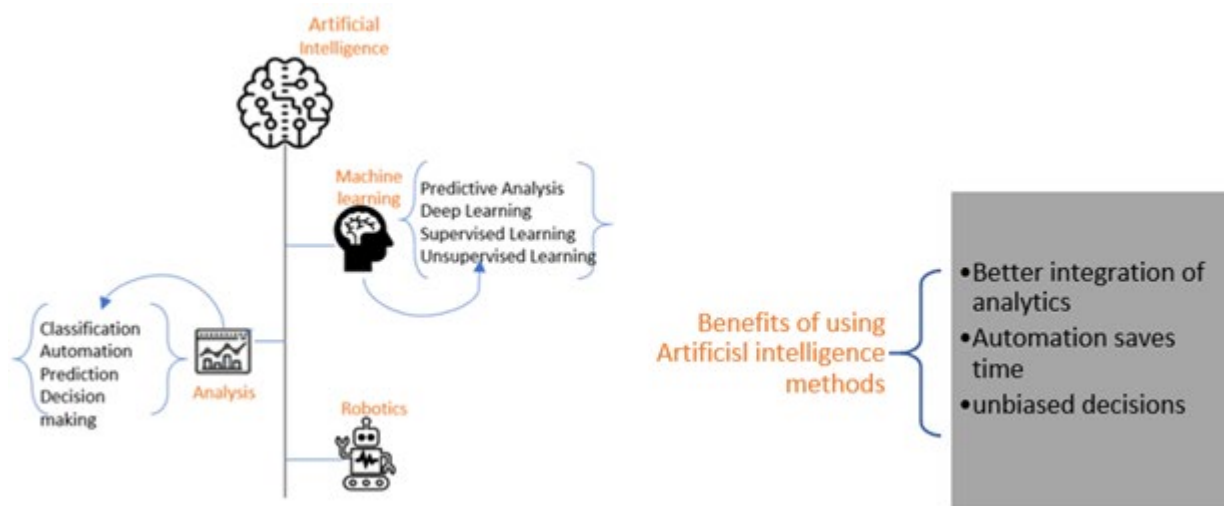


FIG 4. Artificial intelligence methods and benefits.

**Transformation of Blockchain to Artificial Intelligence:** AI algorithms rely on data or information to learn, infer, and make final decisions. The machine learning algorithms work better when data are collected from a data repository or a platform that is reliable, secure, trusted, and credible. Blockchain serves as a distributed ledger on which data can be stored and transacted in a way that is cryptographically signed, validated, and agreed on by all mining nodes. Blockchain data are stored with high integrity and resiliency and cannot be tampered with. When smart contracts are used for machine learning algorithms to make decisions and perform analytics, the outcome of these decisions can be trusted and undisputed. The consolidation of AI and blockchain can create secure, immutable, decentralized system for the highly sensitive information that AI-driven systems must collect, store, and utilize (Singh et al. 2020). This concept results in significant improvements to secure the data and information in various fields, including medical, personal, banking, and financial, trading, and legal data (Salah et al. 2019).

**MyData:** The term MyData refers 1) to a new approach, a paradigm shift in personal data management and processing that seeks to transform the current organization centric system to a human centric system, 2) to personal data as a resource that the individual can access and control. Personal data that is not under the respective individual's own control cannot be called MyData. The aim is to provide individuals with the practical means to access, obtain, and use datasets containing their personal information, such as purchasing data, traffic data, telecommunications data, medical records, financial information and data derived from various online services and to encourage organizations holding personal data to give individuals control over this data, extending beyond their minimum legal requirements to do so. MyData is an infrastructure-level approach for ensuring data interoperability and portability – open infrastructures make it possible for individuals to change service providers without proprietary data lock-ins. Sector independent – there is currently significant progress being made in individual sectors, such as health and finance, but a cooperative approach could work across all sectors. Consent-based data management and control – it is not necessary for the individual to store all his/her data in centralized repositories in order to control the data flow (Poikola et al. 2015).

**Proposed Method:** The application of the latest digital methods to improve the energy and material efficiency of selected production processes in large-scale industry is unique at the national and international levels.

A key challenge in developing a low carbon industrial strategy is that route to a low carbon energy system is typically uncertain. This uncertainty is due to a lack of skills, lack of necessary resources, experimentation, and practical experience. However, eco-friendliness and sustainability are increasingly influencing both individually and business to business operations. In industry, it is important to identify the economic benefits of ecological operations such as material savings and efficiency, streamlining of processes, the company's brand, and reputation. These all are financially rewarding parts of a business. So, saving energy through sustainable processes means saving money and even extra profit.

From a low-carbon perspective, it is very illustrative that modifying environments mainly means updating and developing software. Data is gathered from the sensors placed in pilot plants (industries). The collected data which is processed using machine learning algorithms are secured using blockchain technology and stored using

MyData. The data are analyzed using artificial intelligence (AI). Those data are then accessible from the application programming interface (API) which then can be shown to user through the user interface. The design overview of the proposed BlockIntelligenceData architecture is shown in fig.5.

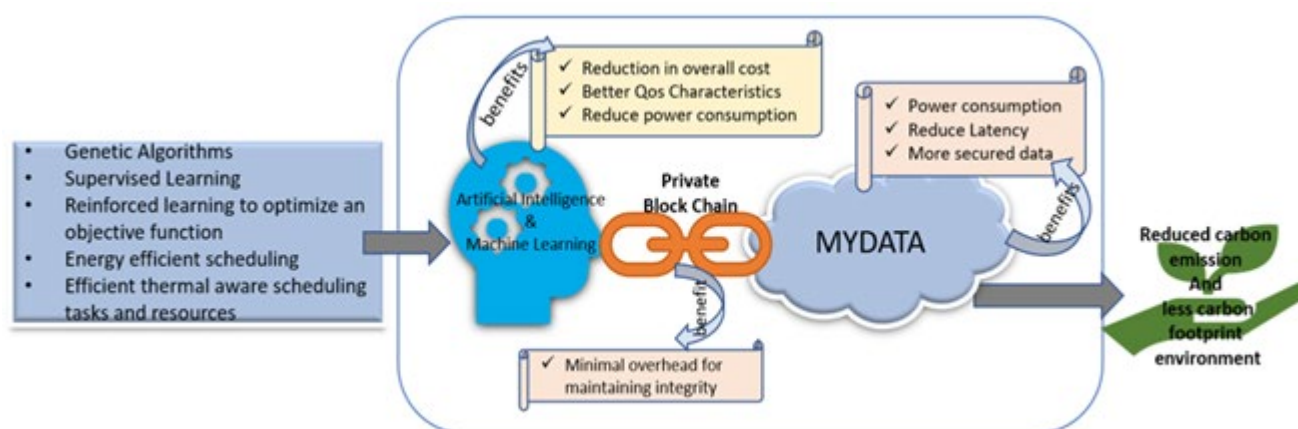


FIG 5. Design overview of the proposed BlockIntelligenceData architecture.

## METHODS

**Artificial Intelligence:** The AI has a wide application in connecting the stacks of information inside the system of record or from a silo of database and predicts the next action. This helps to collect, interpret, select, and organize data from different environmental systems using a centralized approach which leads to a huge collection of data.

Conventional learning models are trained and deployed using centralized infrastructure to achieve global intelligence. The decentralized learning models can help in achieving highly distributed and autonomous learning systems that support fully coordinated local intelligence across all verticals in modern AI systems (Kim et al. 2018, Shafagh, Hithnawi et al. 2017).

Twenty-two AI researchers, including Andrew Ng and Yoshua Bengio, published a paper on industry and carbon dioxide removal explains different solutions to reduce the carbon emission (Strobel. 2019).

In a novel approach that could help reduce carbon emissions, a team of scientists led by Stony Brook's Anatoly Frenkel have described a way to use artificial intelligence (AI) (Frenkel Anatoly et al. 2019) to facilitate the conversion of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) into methane. By using this method to track the size, structure, and chemistry of catalytic particles under real reaction conditions, the scientists can identify which properties correspond to the best catalytic performance, and then use that information to guide the design of more efficient catalysts.

(Saleh et al. 2016) proposed a SVM model for predict expenditure of carbon (CO<sub>2</sub>) emission. The energy consumption such as electrical energy and burning coal is input variable that affect directly increasing of CO<sub>2</sub> emissions were conducted to build the model.

Besides, the blockchain enables immutable and highly secure versioning of learning models by maintaining provenance and historical aspects of data. However, considering the permanent nature of smart contracts, learning models need to be trained and verified well prior to deployment on blockchain (Cui et al. 2018).

**Private Blockchain:** A substantial number of state-of-the-art applications based on blockchain technology and the great interest of business firms, government authorities and common people is due to the ability of block chain technology to assure trust between peer that do not know each other, assurance of the safety of transactions and confirm to the trustworthiness of the information.

The centralized data storage becomes highly vulnerable in terms of privacy and security when it involves personal and sensitive data about users, locations, activities, and financial information. In addition, large-scale data collection discloses the scaling and capacity related issues of centralized infrastructure where AI applications need

to process, transform, and store big datasets. Blockchain based decentralized storage infrastructure facilitate in cryptographically secure data storage across the participating networks (Luu et al. 2016, Ozyilmaz & Yurdakul. 2019, Zamani et al. 2018).

The blockchain smart contracts use cases includes the use in issuing prescriptions in hospitals, storing receipts, general stock management, storing test results, and so on. Some of the examples explaining the smart contract are discussed in the devteam blog. (Davies. 2020)

Seong-Kyu Kim et.al proposed a blockchain-based carbon emission rights verification system to study proven data further by using the governance system analysis and blockchain main net engine to reduce the environmental pollution and carbon emission.

Gamze Gursoy et.al studied in the 2019 iDASH (Integrating Data for Analysis, Anonymization, and Sharing) competition for Secure Genome Analysis challenged participants to develop time- and space-efficient Ethereum smart contracts for gene-drug relationship data. (Gürsoy et al. 2020) This solution demonstrates the potential for blockchain technology in the medical research community but could be applied to a variety of other store and query problems.

Rui Zhang, Rui Xue et.al summarize all the security and privacy techniques using in blockchain with suitable application examples They detailed the paper into two parts first, they characterized the security and privacy attributes of blockchain into two broad categories: inherent attributes and additional attributes in the context of online transactions. Second, they described the security and privacy techniques for achieving these security and privacy attributes in blockchain-based systems and applications, including representative consensus algorithms, mixing, anonymous signatures, encryption, secure multiparty computation, non-interactive zero-knowledge proof, and secure verification of smart contracts (Rui Zhang et al. 2019).

The Food and Agriculture organization of the United Nations and the international Telecommunication union published a book in 2019 titled “Blockchain for agriculture, Opportunities and challenges” describes the basic idea of blockchain and its working (Sylvester. 2019).

Carbon Foot printing is the total amount of carbon dioxide emitted to the surrounding by companies, individuals, event, or product. A “smart contract” refers to transactional terms and conditions embedded in computer code which consent to automatic execution of the relevant transaction once specific agreement with those terms and conditions has been established. An industry solution by “Trace Harvest” describes Energy Usage Tracking and Carbon Credit (CO<sub>2</sub>) Calculation. This solution explains the measure and calculate the annual report of the carbon impact of the industry, perform cost benefit analysis and automate and monetize carbon credits (BlockApps. 2021).

A blockchain enabled carbon foot printing solution is demonstrated by (The team of blockchain experts at LeewayHertz. 2018). In this solution they described a blockchain enabled carbon foot printing process. Here the incoming data are processed by using a smart contract to generate the carbon footprint report of a company, individual or a product.

A case study implementation in the Danish energy industry shows a blockchain technology for monitoring and reporting of carbon emission trading. The objective of this study is the conceptual model of blockchain that will be presented will be limited to only monitoring and reporting of CO<sub>2</sub> emission trading for the Danish energy industry. The model will only include the identification of stakeholders, and their relationship within the network, high level agreements and processes, document workflows and an overview of the smart contract capabilities (Osuiji Nkechi Victoria. 2020)

A study of blockchain technology that contribute to the circular economy (Upadhyay et al. 2021) explains that it can be able to reduce transaction costs, enhance performance and communication along the supply chain, ensure human rights protection, enhance healthcare patient confidentiality and welfare, and reduce carbon footprint.

A new distributed and secure wireless power transfer architecture by utilizing blockchain (Jiang et al. 2019) gives a broad demonstration of the application of blockchain.

Blockchain provides a basic change from Internet of Information (IOI) to Internet of value (IOV). The business models like Amazon, Google, Facebook are disrupted best examples following the technologies from the year of 2000. For the industrial purposes like banking, payments and money transfers, securities trading, healthcare, and other industrial purposes, blockchain is a trending technology (Makridakis et al. 2018).

The benefit of using blockchain to store the data is, it is harder to hack. By storing information through a network of computers, the task of compromising data is tedious for hackers. Instead of having to break just one server, making a fraudulent transaction on a blockchain can only be achieved if the majority of the network is compromised. Even for the most skilled cybercriminals, hacking a single server is extremely difficult (Namasudra et al. 2020). Changing the records in the blockchain is impossible, especially as hackers would need to infringe each node simultaneously. The attractive feature of using distributed ledger system in blockchain benefits in high level of security.

The data collected and analyzed through machine learning techniques. The outputs from the machine learning approach will be the inputs to the blockchain based storage system. Inside the blockchain based system the data will be encrypted with its private key and send it with signature to the blockchain as storage request. The aim here is to design a decentralized, secure, and reliable storage method that can achieve consensus in a trustless environment and finally assure that data records cannot be tampered with. Ethereum has a more powerful ecosystem and makes the development of smart contracts and business logic very simple than a hyper ledger. Besides, Hyperledger is meant to store confidential data and is known as private consortium blockchain.

**Machine Learning:** Learning plays key role in AI applications to understand the environment from current data and perform informed decision making based on new data. Generally, learning models are trained and tested before actual deployment in the real systems. The centralized training is costly because the models need to learn from the whole datasets and produce outputs based on memorized data, however, modern AI applications need to handle continuously evolving data streams.

Machine Learning methods are used for the reduction of greenhouse gas emissions in the transport & logistics sector. In short, Artificial intelligence can help large companies to reduce their environmental impact and can improve the efficiency in production, transportation and thereby reducing carbon emissions and cutting costs.

Decentralized learning algorithms take the input datasets from relevant swarms and shard. In addition, blockchain technologies can facilitate the maintenance of provenance of data as well as immutable history of learning models which may evolve over a certain period of time. Further the decentralized learning models could become benchmark for similar clients in the blockchain network where the users do not need to train the model from scratch, rather, they can incrementally build their own models by tuning and training new models. Once trained efficiently, the learning models could be tested using multiple smart contracts in decentralized applications (Shafagh, Burkhalter et al. 2017).

The real performance of a trained model is assessed after deployment in production environments. However, the deploying a new model is a frequent and iterative process whereby developers need to produce a specific set of decisions by ignoring rest of possible decisions to get highly effective and learnt decisions.

The deployment of the model in centralized systems is a straightforward iterative process especially when deploying in a decentralized system (Makridakis et al. 2018). Smart contract-based model deployment addresses these challenges by permanently recording the changes and maintaining the immutable versioning of different models. Also, model sharing between different AI applications becomes secure and more trustworthy since the developers can track the source and all footprints of any specific version of a model (Salah et al. 2019).

**MyData:** MyData is an infrastructure-level approach for ensuring data interoperability and portability. The machine learnt large files of data from could be stored in a human centric system called MyData (Poikola et al. 2015). The hash values of those data will be stored on the blockchain, and data are managed across the network using token-based incentives for nodes storing different shards or participating in the swarms (Hartman et al. June 1999).

The figure6. explains the flow of data between blockchain, machine learning and MyData.

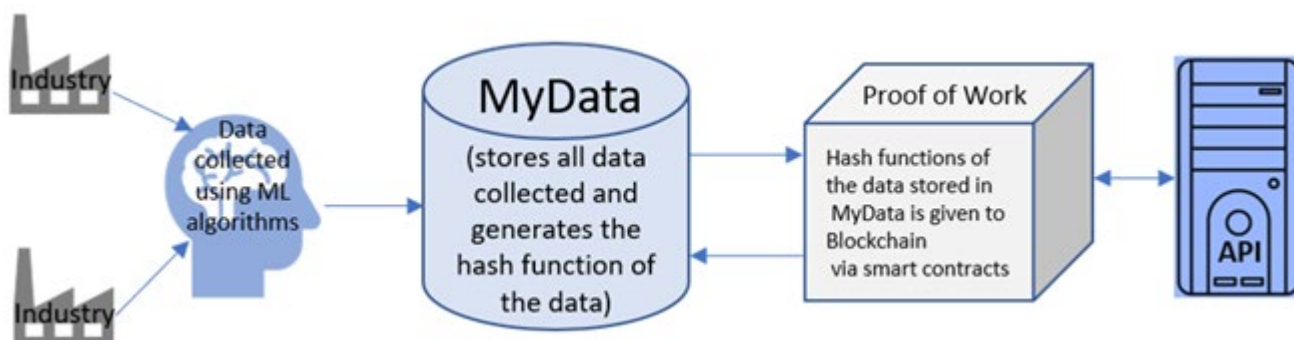


FIG 6. Flow of BlockIntelligenceData architecture.

## BENEFITS OF BLOCKCHAIN BASED CARBON FOOTPRINT REPORTING

1. Immutability  
Once the data is moved to the Blockchain, it can never be deleted or altered by anyone involved in the network.
2. Trust  
As the smart contracts have a feature of controlling the data the industries can trustfully exchange carbon footprinting reports with the units they intend.
3. Transparency  
Every authorized person within the network can access the carbon footprint reports generated through smart contracts, bringing transparency to the ecosystem.
4. Lower cost  
Reducing the workforce needed to the process of calculating carbon footprint decreases the cost and improves the efficiency.
5. Traceability  
Manual records are hard to trace, but with the use of Blockchain, it becomes easy. The Blockchain can help to validate the authenticity of records while preventing the hackers.
6. Smart Contracts  
Smart contracts support in generating an inevitable and precise carbon foot printing reports. (The team of blockchain experts at LeewayHertz. 2018)
7. Once the blockchain is adopted in the carbon footprint report generation, it can have a significant impact on the overall industry.

## CONCLUSION

Featuring the integration of smart technologies like machine learning, artificial intelligence and blockchain for reducing carbon emission. This can be performed by the analysis of energy consumed and monitor it using machine learning algorithms and propose certain alarm by artificial intelligence and can secured using blockchain technology and thereby leads to reduction in carbon emission. The goal of the proposed BlockIntelligenceData architecture which tries to converge artificial intelligence, blockchain and MyData may resolves the problem of accuracy, latency, and issues. A decentralized approach is using to get an improved energy consumption, scalability, interoperability, security and privacy, efficiency, resource management, the integrity of data flows.

## REFERENCES

- Alli AA & Alam MM. (2019) SecOFF-FCIoT: Machine learning based secure offloading in Fog-Cloud of things for smart city applications. *Internet of Things* 7: 100070.
- BlockApps. (2021) Energy Usage Tracking and Carbon Credit (CO<sub>2</sub>) Calculation.
- Brincat AA, Lombardo A, Morabito G & Quattropiani S. (2019) On the use of Blockchain technologies in WiFi networks. *Computer Networks* 162: 106855.
- Cui S, Asghar MR & Russello G. (2018) Towards Blockchain-Based Scalable and Trustworthy File Sharing. : 1-2.
- Davies A. (2020) 10 Use Cases of Smart Contracts | DevTeam.Space.
- Dawoud A, Shahrstani S & Raun C. (2018) Deep learning and software-defined networks: towards secure IoT architecture. *Internet of Things* 3-4: 82-89.
- Dogo EM, Salami AF, Aigbavboa CO & Nkonyana T. (2018) Taking Cloud Computing to the Extreme Edge: A Review of Mist Computing for Smart Cities and Industry 4.0 in Africa. In: Al-Turjman F (ed) *Edge Computing*. : Springer, Cham: 107-132.
- Frenkel Anatoly, Liu yang & Liu Ping. (2019) Machine-Learning Analysis Could Help Reduce Carbon Emissions.
- Gupta H, Vahid Dastjerdi A, Ghosh SK & Buyya R. (2017) iFogSim: A toolkit for modeling and simulation of resource management techniques in the Internet of Things, Edge and Fog computing environments. *Software: Practice and Experience* 47(9): 1275-1296.
- Gürsoy G, Brannon CM & Gerstein M. (2020) Using Ethereum blockchain to store and query pharmacogenomics data via smart contracts. *BMC medical genomics* 13(1): 1-74.
- Hartman JH, Murdock I & Spalink T. (June 1999) The Swarm Scalable Storage System. 19th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems. Austin: IEEE: 74-81.
- Jiang L, Xie S, Maharjan S & Zhang Y. (2019) Blockchain Empowered Wireless Power Transfer for Green and Secure Internet of Things. *IEEE Network* 33(6): 164-171.
- Kim H, Park J, Bennis M & Kim S. (2018) On-Device Federated Learning via Blockchain and its Latency Analysis. ArXiv.
- Koch M. (2018) Artificial Intelligence Is Becoming Natural. *Cell (Cambridge)* 173(3): 531,533.
- Luu L, Narayanan V, Zheng C, Baweja K, Gilbert S & Saxena P. (2016) A Secure Sharding Protocol for Open Blockchains. New York: Association for Computing Machinery: 17-30.
- Makridakis S, Polemitis A, Giaglis G & Louca S. (2018) Blockchain: The Next Breakthrough in the Rapid Progress of AI. *Artificial Intelligence - Emerging Trends and Applications*.
- Marwala T & Xing B. (2018) Blockchain and Artificial Intelligence. arXiv preprint arXiv:1802.04451.
- Maxmen A. (2018) AI researchers embrace Bitcoin technology to share medical data. *Nature* 555(7696): 293-294.
- McConaghy T, Marques R, Müller A, De Jonghe D, McConaghy T, McMullen G, Henderson R, Bellemare S & Granzotto A. (2016) Bigchaindb: a scalable blockchain database.
- Namasudra S, Deka GC, Johri P, Hosseinpour M & Gandomi AH. (2020) The Revolution of Blockchain: State-of-the-Art and Research Challenges. *Archives of computational methods in engineering*.
- Nebula AI Team. (2018) NEBULA AI (NBAI) — DECENTRALIZED AI BLOCKCHAIN WHITEPAPER.
- Osuiji Nkechi Victoria. (2020) BLOCKCHAIN TECHNOLOGY FOR MONITORING AND REPORTING OF CARBON EMISSION

TRADING. A Case Study on its Possible Implementation in the Danish Energy Industry. AALBORG UNIVERSITY.

Ozyilmaz KR & Yurdakul A. (2019) Designing a Blockchain-Based IoT With Ethereum, Swarm, and LoRa: The Software Solution to Create High Availability With Minimal Security Risks. *IEEE Consumer Electronics Magazine* 8(2): 28-34.

Poikola A, Kuikkaniemi K & Honko H. (2015) MyData – A Nordic Model for human-centered personal data management and processing.

Pсарas Y & Dias D. (2020) The InterPlanetary File System and the Filecoin Network. : IEEE: 80.

Rathore S, Sharma PK & Park JH. (2017) XSSClassifier: An Efficient XSS Attack Detection Approach Based on Machine Learning Classifier on SNSs. *Journal of Information Processing Systems* 13(4): 1014-1028.

Rui Zhang, Rui Xue & Ling Liu. (2019) Security and Privacy on Blockchain. *ACM journals, ACM Computing Surveys* 52(3): Article 52: 1-34.

Salah K, Rehman MHU, Nizamuddin N & Al-Fuqaha A. (2019) Blockchain for AI: Review and Open Research Challenges. *IEEE Access* 7: 10127-10149.

Saleh C, Dzakiyullah NR & Nugroho JB. (2016) Carbon Dioxide Emission Prediction using Support Vector Machine. : IOP Publishing 114: 012148.

Shafagh H, Burkhalter L, Hithnawi A & Duquennoy S. (2017) Towards Blockchain-Based Auditable Storage and Sharing of IoT Data. : ACM Digital library: Pages 45–50.

Shafagh H, Hithnawi A & Duquennoy S. (2017) Towards Blockchain-based Auditable Storage and Sharing of IoT Data. *CCSW@CCS*.

Singh SK, Rathore S & Park JH. (2020) BlockIoTIntelligence: A Blockchain-enabled Intelligent IoT Architecture with Artificial Intelligence. *Future Generation Computer Systems* 110: 721-743.

Strobel P. (2019) Tackling climate change with machine learning [part 5] - Industry & carbon dioxide removal. 2021(Mar 12,).

Sylvester G. (2019) E-agriculture in action: Blockchain for agriculture Opportunities and Challenges. The team of blockchain experts at LeewayHertz. (2018) Blockchain Reducing Carbon Footprints - Environmental Impact.

Upadhyay A, Mukhuty S, Kumar V & Kazancoglu Y. (2021) Blockchain technology and the circular economy: Implications for sustainability and social responsibility. *Journal of Cleaner Production* 293: 126130.

Wilkinson S, Boshevski T, Brandoff J & Buterin V. (2014) Storj A Peer-to-Peer Cloud Storage Network.

Wood G. (2014) ETHEREUM: A SECURE DECENTRALISED GENERALISED TRANSACTION LEDGER. : 1-32.

Zamani M, Movahedi M & Raykova M. (2018) RapidChain: Scaling Blockchain Via Full Sharding. 25th ACM Conference on Computer and Communications Security. Toronto: ACM Digital Library: Pages 931-948.

Zhang R, Xue R & Liu L. (2019) Security and Privacy on Blockchain. Vol. 52, Article 51(3).



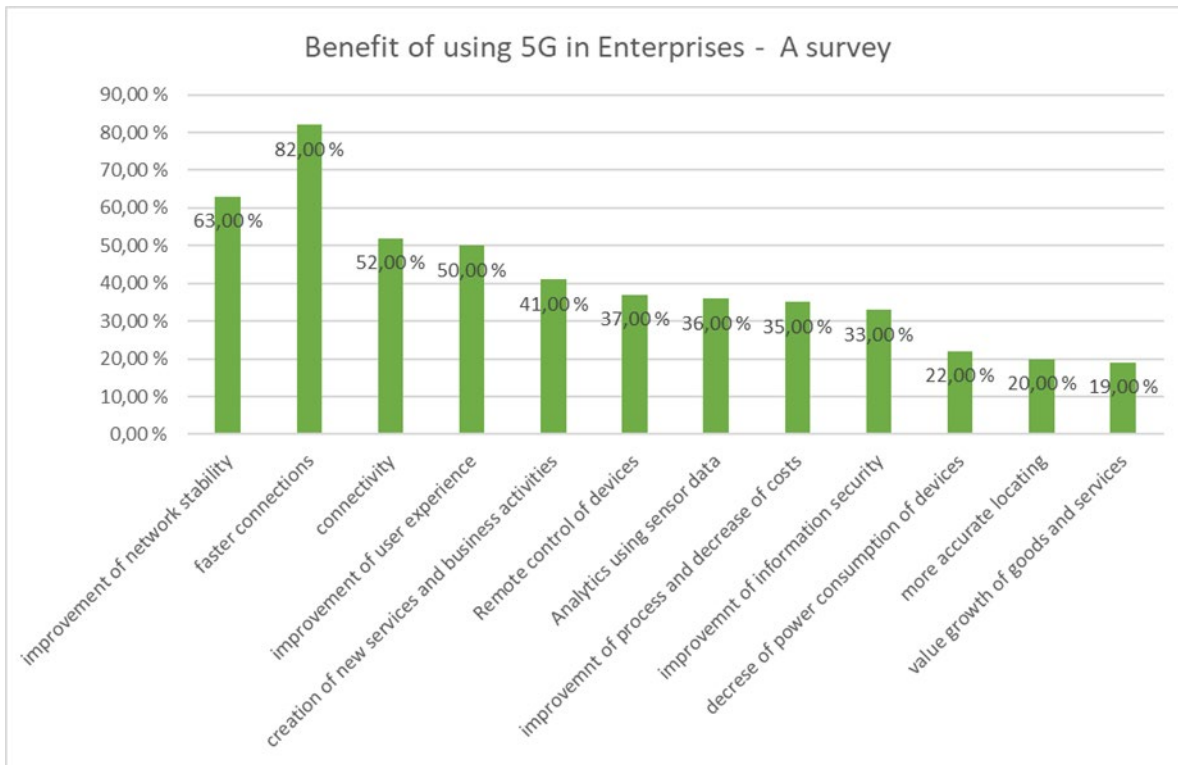
5G is the fifth-generation mobile network that has started deploying worldwide in 2019. With 5G technology, a novel approach of connecting people, objects, machines, and devices. This latest technology has the capacity to support lots of devices at superfast speeds and has the potential to take industrial automation and smart manufacturing to the next level of advancement. The use of 5G technology helps to breaks the industrial enterprise operations that affect safety and security.

(Kiseleva Anna. 2020)All the older generations of mobile networks contributed to the development of 5G, which delivers 100 times faster speed than LTE, ultra-low latency, reliability, enormous connections, and energy efficiency, leads to create more user-friendly environment. It offers higher performance and improved efficiency to empower new user experiences and connect new industries. Compared to 4G, 5G can support all spectrum types, bands, and a wide range of deployment models. This opens new ways to interconnect, such as device-to-device and multi-hop mesh. Not to mention that with speed tops out at 10 Gbps, 5G is much faster than all the previous generations. That is 10 to 50 times more than 4G LTE.

(Traficom. 2021) released a news that the collected data from telecommunications operators, the Finnish Transport and Communications Agency Traficom has published the first 5G coverage data. "At the end of 2020, 100 Mbps 5G connections were available to 67% of Finnish households, covering slightly more than 2% of the country's land area.". At the same time mobile networks offering speeds of 300 Mbps were available to 60% of households in about 1% of Finland's land area. 5G base stations, which numbered almost 3,000 in total, could be found in 109 municipalities. Also, 100 Mbps 4G networks covered 17% of the land area and 93% of households. These speeds are available in ideal conditions, i.e. when network congestion is low, no obstacles are present between the user and the base station, and the connected device is compatible with fast data transfer rates. The agency summarized in the press release that in ideal conditions, more than 1.8 million Finnish households had access to fast 100 Mbps 5G connections at the end of last year, representing 67% of all households. The availability of 5G is concentrated in population centers and around arterial roads.

(O'Dea. 2021) explains 5G started to hit the market in 2019, with Huawei and Samsung being the frontrunners of the 5G smartphone race. This may take a few more years for 5G to roll out on a broader scale. By 2024, forecasts predict that there will be around 1.9 billion 5G subscriptions worldwide. Developed Asia and North America are expected to embrace the 5G technology faster than the other regions: by 2025, around half of overall mobile connections are projected to be 5G-enabled in these two regions.

According to the 2020 survey, 82 percent of the Finnish companies stated that the 5G technology will allow faster connections for their business. Other major benefits of 5G included improvement of network stability, connectivity, and user experience.5G is used to describe the fifth-generation cellular network technology providing broadband access. This technology is believed to offer fast speeds and reliable connections to devices using mobile networks. The survey statistics is shown as follows.



(Singtel. 2020) explores seven use cases for 5G in manufacturing. The 5G technology paves the way Industry 4.0 manufactures to manufacture and deliver goods. The manufactures are making use of the technology like process automation, remote monitoring, and collaborative robots. For instance, Singapore is supporting the development of 5G with plans to roll out commercial 5G services (Choudhury. 2019) throughout the year in an effort to establish the “backbone of the digital economy.” The country’s telecommunication regulator aims for at least 50% of the city-state to be covered with a standalone 5G network by the end of 2022.

5G is next generation wireless technology, which is supposed to make a tremendous transformation in the way people live and work. This technology will be faster and more competent to handle more connected devices than the existing 4G LTE network. This enhancement will enable new series of tech products. Companies are battling to have the fully functional fastest and largest 5G network. This is because this new technology is expecting to make a miracle in the field of businesses, infrastructure, and defense applications. The benefits of this technology are with its speed, bandwidth and enable more connected smart devices. Some of the industrial research study examples are explained as follows.

(Jayaweera et al. March 2020) discussed about Ultra-reliable and low-latency communications (URLLC) play a vital role in factory automation. To share the situational awareness data collected from the infrastructure as raw or processed data, the system should guarantee the URLLC capability since this is a safety-critical application. They also explain the resource allocation problem for an infrastructure-based communication architecture that has been studied which can support the autonomous driving in a factory floor. The decoder error probability and the number of channels uses parameterize the reliability and the latency in the considered optimization problems. A maximum decoder error probability minimization problem and a total energy minimization problem have been considered in this work to analytically evaluate the performance of the ELiD system under different vehicle densities.

(Ordóñez-Lucena et al. October 2019) explains the use of 5G non-public networks to support Industry 4.0 developments. This study provides an overall idea of non-public networks, their applicability to the industry 4.0 ecosystem. The development of this study shows 3GPP Rel-16 specifications, that identify a number of deployment options relevant for non-public networks and discuss their integration with mobile network operators’ public networks. Also, this study gives comparative analysis assessing their feasibility according to different criteria, including technical, regulatory, and business aspects and thereby help industry players concerned in using non-public networks to decide which is the most appropriate deployment option for their use cases.

(Zafeiropoulos et al. June 2020) describes a detailed approach in a real IIOT use case which is important to profiling of a set of 5G network functions. This approach involves the realization of benchmarking experiments and the extraction

of insights based on the analysis of the collected data. Such insights are considered the bases for the development of AI models that can lead to optimal infrastructure usage along with assurance of high QoS provision.

(Khatib & Barco. 2021) explores developments, challenges, proposes 5G technology as a global unified connectivity solution. This article proposes a system for exploiting the application-specific optimization capabilities of 5G networks to better serve for the needs of Smart Logistics. An application traffic modeling process along with a proactive approach to network optimization that can improve the Quality of Service and reduce connectivity costs is explained.

(Wang et al. 2021) aims at exploring the idea of the dependence structure among Chinese firms across the emerging 5G industry at various stages to provide some strategic insights for market participants. This study adopts macroeconomic fundamentals and the log-returns of 45 listed firms in the Chinese 5G industry to construct the weighted adjacency matrix by measuring the correlation parameters and then use the triangulated maximally filtered graph (TMFG) algorithm to construct the dependence network. It analyses the topological structure of the constructed networks to obtain the dependence characteristics for each firm in the whole industrial supply chain at different levels.

## REFERENCES

- Choudhury SR. (2019) Singapore to roll out commercial 5G services by 2020. 2021(May 6,).
- Jayaweera N, Marasinghe D, Rajatheva N & Latva-Aho M. (March 2020) Factory Automation: Resource Allocation of an Elevated LiDAR System with URLLC Requirements. : 1-5.
- Khatib EJ & Barco R. (2021) Optimization of 5G Networks for Smart Logistics. *Energies* 14(6).
- Kiseleva Anna. (2020) 5G is Here: New Horizons for Industrial Automation. 2021(May 6,).
- O'Dea S. (2021) 5G - Statistics & Facts. 2021(May 6,).
- Ordóñez-Lucena J, Chavarria JF, Contreras LM & Pastor A. (October 2019) The use of 5G Non-Public Networks to Support Industry 4.0 Scenarios. 2019 IEEE Conference on Standards for Communications and Networking (CSCN). Spain: IEEE: 1-7.
- Singtel. (2020) 7 use cases for 5G in manufacturing.
- Traficom. (2021) Fast 5G already available to more than 1.8 million Finnish households.
- Wang L, Jia F, Chen L, Xu Q & Lin X. (2021) Exploring the dependence structure among Chinese firms in the 5G industry. *Industrial management + data systems* 121(2): 409-435.
- Zafeiropoulos A, Fotopoulou E, Peuster M, Schneider S, Gouvas P, Behnke D, Müller M, Bök P, Trakadas P, Karkazis P & Karl H. (June 2020) Benchmarking and Profiling 5G Verticals' Applications: An Industrial IoT use Case. 2020 6th IEEE Conference on Network Softwarization (NetSoft). Ghent,Belgium: IEEE: 310-318.

# MAJAKKA STATE OF THE ART -SELVITYS

## Digitalisaation työkalupakista eväitä vähähiiliseen teollisuuteen

Suomi on sitoutunut EU:n päätöksen mukaisesti vähentämään merkittävästi hiilipäästöjään seuraavien vuosikymmenten aikana. Ilmastonmuutokseen ja ympäristön suojeluun liittyvät asiat ovat muutenkin korostuneet merkittävästi viime aikoina. Teollisella toiminnalla on tähän varsin suuri merkitys, minkä vuoksi tuotantoprosessien vähähiilisyysnäkökulmaan tulee kiinnittää entistä enemmän huomiota. Digitalisaatio onkin tunnistettu yhdeksi potentiaalisimmista vaihtoehtoista vähähiilisyysvaikutuksen kannalta. Esimerkiksi säätö- ja automaatiojärjestelmien avulla voidaan tuottaa yhä tasalaatuisempia tuotteita sekä minimoida energian ja raaka-aineiden kulutusta. Haasteena on yleensä mittaustiedon luotettavuus.

Uudet mittausteknologiat voivat parantaa merkittävästi prosessien ymmärrystä, jolloin niitä voidaan ohjata optimaalisissa olosuhteissa. Toisaalta myös olemassa olevasta mittausaineistosta voidaan tiedonkäsittelymenetelmien avulla löytää uutta informaatiota laskennallisten suureiden avulla ja hyödyntää niitä prosessien ohjauksessa ja säädössä. Vähähiilisyystavoitteeseen päästään käytännössä tuotantolaitteiden pidemmällä elinkaarella sekä paremman energia- ja resurssitehokkuuden kautta. Esimerkiksi reunalaskennan avulla voidaan vähentää siirrettävän tiedon määrää jatkaen nykyisten väyläratkaisujen elinkaarta.

Elinkaarenhallinnan keinoja ovat laitteiden ja järjestelmien tehostettu yllä- ja kunnossapito. Digitalisaatio mahdollistaa esimerkiksi sen, että olemassa olevaa laitekantaa saadaan päivitettyä ja integroitua ohjelmallisesti. Samalla tiedonkeruuta ja tiedon jalostusta tehostetaan. Näin ollen säästöjä syntyy myös ennakoivia toimia hyödyntämällä, joka on keskiössä huoltotoimenpiteiden ja kunnossapidon osalta. Tiedon jalostamisen keinona voidaan hyödyntää tiedon analysointia, tekoälyä ja koneoppia.

Tässä kirjallisuusselvityksessä kartoitetaan digitalisaation menetelmiä, joilla voidaan vaikuttaa vähähiilisyysvaikutukseen. Perinteinen teollisuus on varsin konservatiivista, kun taas esimerkiksi 3D-teknologia ja autonomiset ajoneuvot etenevät kehityksen eturintamassa. Uusien digitaalisten teknologioiden sovellusesimerkkejä löytyy tämän vuoksi pääasiassa perinteisen teollisuuden ulkopuolelta. Kirjallisuusselvitykseen on tämän vuoksi sisällytetty arvioita, kuinka niitä voitaisiin hyödyntää jatkossa myös perinteisemmässä teollisuudessa.