

Viiveetön 5G-verkko tulevaisuuden teollisuuden perustana

Janne Andersson

Haaga-Helia ammattikorkeakoulu

Amk-opinnäytetyö

2021

Tradenomin tutkinto

Tiivistelmä

Tekijä(t) Janne Andersson
Tutkinto Tradenomi
Raportin/Opinnäytetyön nimi Viiveetön 5G-verkko tulevaisuuden teollisuuden perustana
Sivu- ja liitesivumäärä 29+1
<p>Tässä opinnäytetyössä tutustutaan 5G-verkkoon ja sen teknologioihin, teollisuuden neljännen vallankumoukseen sekä tekoälyn ohjaamaan automaatioon. 5G ja teollisuuden digitalisoituminen ovat mielenkiintoisia aiheita, jotka herättävät ihmisissä intohimoa, vastustusta ja epävarmuutta. Varmaa on kuitenkin se, että molempien historiaa kirjoitetaan parhaillaan ja niiden matka on vasta alussa.</p> <p>Opinnäytetyön ensimmäisessä luvussa käydään läpi muun muassa työn rakenne, tavoite ja tutkimusmenetelmä. Toinen, kolmas ja neljäs luku ovat tietoperustaa, jossa lukijalle selviää mitä tarkoittaa Teollisuus 4.0, kyberfysiset järjestelmät ja reunalaskenta. 5G-verkko tarjoaa tulevaisuudessa jopa kymmenen kertaa nopeamman datayhteyden, kuin nykyinen 4G LTE-verkko. Lisäksi 5G-verkko kykenee palvelemaan moninkertaisen määrän samankaisia yhteyksiä viiveettömästi, luotettavasti ja turvallisesti. Teollisuudessa ollaan kiinnostuneita 5G-verkon potentiaalista, koska sen avulla voidaan ratkaista monia etäyhteyteen liittyviä ongelmia. Tiettyjä aikakriittisiä tehtäviä, kuten etänä suoritettavaa kirurgista operaatiota ei nykyisillä yhteyksillä pystytä toteuttamaan, koska viive, luotettavuus ja turvallisuus eivät ole tarpeeksi korkealla tasolla. Tulevaisuudessa etäoperaatiot ja monet muut asiat ovat täysin mahdollisia, mutta ennen sitä 5G-infrastruktuurin täytyy kehittyä ja vakiinnuttaa asemansa ensisijaisena laajakaistayhteytenä.</p> <p>Viides luku käsittelee neljännen teollisen vallankumouksen merkitystä yrityksille ja digiloikan haasteita. Luvussa tehdään myös vertailua laajaverkossa toimivan 5G-teknologian ja lähiverkossa toimivan Wi-Fi 6:n kesken. Neljäs teollinen vallankumous on merkittävä askel, koska se tarkoittaa teollisuuden voimakasta digitalisoitumista, joka puolestaan tarkoittaa sitä, että perinteiset työtehtävät alkavat kadota robottien korvatussa ihmisen. Kääntöpuolena digitalisoituminen voi luoda täysin uusia yrityksiä ja sitä myöten työpaikkoja. Tulevaisuuden tehtaassa kaikki koneet, laitteet ja järjestelmät on liitetty verkkoon, jossa ne vaihtavat tietoja keskenään. Sensorit keräävät taukoamatta dataa, jota analysoimalla prosesseja voidaan optimoida. Lisäksi konenäkö ja tekoäly tekevät jatkuvasti pieniä muokkauksia prosesseihin.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena syntyy kirjallisuuskatsaus tulevaisuuden teollisuuden maailmaan, jonka tukipilari on 5G-verkko. Aihe ei ole helppo, koska moni 5G:hen ja Teollisuus 4.0:aan liittyvä kirjoitettu teksti perustuu teoreettiseen tilanteeseen, jossa konkretia on pienessä roolissa.</p>
Asiasanat 5G, Teollisuus 4.0, IoT, Tekoäly, Pilviteknologiat

Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Opinnäytetyön rakenne	1
1.2	Opinnäytetyön tavoite, rajaus ja tuotos	2
1.3	Tutkimusmenetelmä.....	2
1.4	Tutkimuskysymykset ja tutkimusongelma.....	2
1.5	Käsitteet.....	3
1.6	Lyhenteet.....	4
2	Neljäs teollinen vallankumous	7
2.1	Teollisuus 4.0:n tausta	7
2.2	Teollinen internet	8
2.3	Kyberfyysiset järjestelmät	9
3	5G-verkko	10
3.1	5G:n ja 4G:n erot	10
3.2	5G-verkkoarkkitehtuurin palvelut.....	11
3.2.1	Massive Machine Type Communication	11
3.2.2	Ultra-Reliable Low-Latency Communication.....	12
3.2.3	Enhanced Mobile Broadband	12
3.3	Johdanto 5G-verkon turvallisuuteen.....	12
3.3.1	Verkkoturvallisuus	12
3.3.2	Laite- ja käyttäjäturvallisuus	13
3.3.3	Pilvipalveluiden ja virtuaaliverkon turvallisuus	14
3.3.4	Kyberfyysisten järjestelmien turvallisuus	15
4	Muut teollisuus 4.0:aan liittyvät teknologiat.....	16
4.1	Tekoäly	16
4.1.1	Data-analyysi	16
4.1.2	Havainnointi ja tilannetietoisuus	17
4.1.3	Koneoppiminen	17
4.1.4	Robotiikka ja koneautomaatio	17
4.2	Pilviteknologiat.....	17
4.2.1	Reunalaskenta eli Edge Computing	18
4.2.2	Outer-Edge	19
4.2.3	Middle-Edge.....	19
4.2.4	Inner-Edge	19
5	Tulevaisuuden teollisuus	20
5.1	Neljännän teollisen vallankumouksen merkitys teollisuusyrityksille	20
5.1.1	Joustavuus ja yksilöllisyys.....	20
5.1.2	Päätöksen teon ja materiaalien käytön tehokkuus.....	21
5.1.3	Arvolupaus ja demograafiset muutokset.....	21

5.2	Teollisuuden digiloikan haasteet	22
5.2.1	Rahoitus ja investoinnit	22
5.2.2	Työvoima	23
5.2.3	Tietoturva	23
5.2.4	ICT-infrastruktuuri	24
5.3	Onko 5G välttämätön tulevaisuuden teollisuudessa?	24
5.4	Realistinen kuva seuraavan sukupolven tiedonsiirrosta	25
5.5	Esimerkki 1: Bosch Automotive	26
5.6	Esimerkki 2: Worcester Bosch	26
5.7	Esimerkki 3: Ericsson 5G Smart Factory	27
6	Yhteenveto ja oman oppimisen arviointi	28
	Lähteet	30
	Liitteet	34
	Liite 1: Autonomisuuden vaiheet	34

1 Johdanto

Techradar.com-sivuston maaliskuussa 2022 julkaistussa uutisessa ”Mikä on 5G? Kokoimme kaiken tarpeellisen 5G-verkkoteknologiasta” kerrotaan tärkeimmät faktat ja visiot aiheesta 5G. Suomessa 5G-verkon alueella elää jo neljä miljoonaa ihmistä tarjoten suurimmalle osalle noin 100 megabittiä sekunnissa latausnopeuden riippuen liittymän tyypistä. Lähitulevaisuudessa nopeuksien odotetaan kasvavan jopa 1 gigabittiin sekunnissa, joka tarkoittaa latausnopeuksien kymmenkertaistumista nykyisestä. Erittäin nopeat yhteydet tulevat palvelemaan kuluttajien lisäksi teollisuutta, jossa ollaan hitaasti siirtymässä kohti tekoälyn ohjaamaa automatisointia. Asioiden internet (Internet of Things, IoT) mahdollistaa miljoonien sensorien ja laitteiden liittämisen langattomaan 5G-verkkoon, jossa viiveen luvataan olevan lähes olematon ja luotettavuuden sekä turvallisuuden huippuluokkaa. Suomen ensimmäiset 5G-verkot otettiin käyttöön vuonna 2019 ja verkon saatavuus laajenee jatkuvasti. (Mesiä 2022.) 5G-verkkojen esimerkkivaltiossa Yhdysvalloissa 5G-infrastruktuuriin on panostettu huomattavasti Suomea enemmän. Vuonna 2020 ruotsalainen informaatio- ja viestintäteknologioiden ja -palveluiden toimittaja Ericsson rakensi Yhdysvaltoihin tehtaan ja muutamia tutkimuslaitoksia, joissa valmistetaan ja tutkitaan 5G-tekniologiaa. (Ericsson).

Elämme vuonna 2022 teollisen vallankumouksen kolmatta aaltoa, jossa mikroprosessorit ja automaatio ovat arkipäivää. Seuraava askel on hyvin lähellä, mutta se vaatii vielä 5G-tekniologian laajempaa integroitumista yhteiskuntaan. Neljännessä teollisessa vallankumouksessa fyysisiä järjestelmiä ohjaa tietokone eli toisin sanoen robotit toimivat tekoälyn avulla ja ovat jatkuvasti yhteydessä verkkoon ja muihin verkossa oleviin robotteihin ja järjestelmiin. Teollisessa asioiden internetissä kaikki data analysoidaan automaattisesti ja analysoitua dataa hyödynnetään prosessien optimoinnissa. Ihmisen rooli tulevaisuuden teollisuudessa on toimia operaattorina valvoen järjestelmiä tai tekemällä töitä yhteistyörobottien (Cobot) kanssa, jossa robotti tekee raskaat työvaiheet. Etäohjaus, asioiden internet ja pitkälle viety automaatio, esimerkiksi itse ajavat autot, vaativat datayhteyksiltä suurta luotettavuutta, saatavuutta, nopeutta ja turvallisuutta. 5G-tekniologioiden uskotaan olevan ratkaisu kaikkiin vaatimuksiin, mutta saatavilla on myös muita langattoman tiedon siirron tekniikoita, kuten pian julkaistava lähiverkossa toimiva Wi-Fi 6.

1.1 Opinnäytetyön rakenne

Tämä opinnäytetyö sisältää seitsemän päälukua. Ensimmäinen pääluke on johdanto, jossa lukijalle kerrotaan tiivistetysti aiheesta, tutkimusmenetelmästä- ja ongelmista sekä miksi aiheeksi on valikoitunut 5G-verkon tulevaisuus teollisuudessa? Ensimmäiseen päälukeeseen sisältyy myös opinnäytetyön tavoite, rajaus, tuotos ja käsitteet sekä lyhenteet.

Toisessa ja kolmannessa pääluvussa avataan neljännen teollisen vallankumouksen eli Teollisuus 4.0:n ja 5G:n taustoja sekä syvennyttään tarkemmin 5G-verkon palveluihin ja turvallisuuteen. Neljännessä pääluvussa keskitytään muihin tulevaisuuden teollisuuteen liittyviin teknologioihin. Viides luku on tutkimusosa ja kuudes yhteenveto sekä oman oppimisen arviointi.

1.2 Opinnäytetyön tavoite, rajausta ja tuotos

Opinnäytetyön tavoite on vapaasti saatavilla olevaa kirjallisuutta ja dokumentteja hyödyntämällä selvittää, mitä 5G-verkko merkitsee tulevaisuuden teollisuudelle. Opinnäytetyöhön ei tule asiantuntijoiden haastatteluita tai kyselytutkimusta. Työn tuotoksena saadaan eri lähteistä koostettu yleiskuva tulevaisuuden älykkäästä ja joustavasta teollisuudesta, jonka perustana 5G-verkko on.

1.3 Tutkimusmenetelmä

Tutkimusmenetelmä on kuvaileva kirjallisuuskatsaus, jossa tutkimuskysymykset ohjaavat prosessia (Kuva 1). Tutkimuskysymyksiä seuraamalla pystytään rajaamaan käytettävästä aineistosta vain tutkimuksen kannalta oleellinen tieto. Tietoperustan ja empiirisen eli tutkivan osuuden sisältöjen yhtenäisyys on tärkeässä osassa ymmärrettävän kuvailun rakentamisessa.



Kuva 1. Kuvailevan kirjallisuuskatsauksen vaiheet. (Mukaillen Kangasniemi ym. 2013, 291).

1.4 Tutkimuskysymykset ja tutkimusongelma

Tutkimuskysymykset, joihin tässä opinnäytetyössä etsitään vastauksia ovat:

1. Mikä on neljännen teollisen vallankumouksen merkitys yrityksille?
2. Teollisuuden digiloikan haasteet?
3. Onko 5G välttämätön tulevaisuuden teollisuudessa?

Tutkimusongelma on tiedon saatavuus, koska käytännön toteutuksia on vielä liian vähän ja tutkimustieto 5G-teknologioista päivittyy ja lisääntyy jatkuvasti. Tiedon lisääntymisen ja päivittymisen takia tässä opinnäytetyössä esitetyt asiat voivat olla epärelevanttejä lähitulevaisuudessa.

1.5 Käsitteet

5G:	5 th Generation. 5G on viidennen sukupolven mobiilidatayhteys. 5G-tekniikka mahdollistaa noin kymmenenkertaisen tiedonsiirtonopeuden neljännen sukupolven mobiilidatayhteyksiin verrattuna.
5G-ACIA:	5G-Alliance for Connected Industries and Automation. Teollisuus yrityksille suunnattu foorumi.
4G LTE:	4 th generation Long Term Evolution. 4G on neljännen sukupolven mobiilidatayhteys ja sen viimeisimmästä kehitysversiona käytetään lyhennettä LTE.
Beamforming:	Keilanmuodostus perustuu päällekkäisten radioaaltojen lähettämiseen haluttuun suuntaan.
Beamtracking:	Keilanhaku on radiosignaalin jatkuvaa uudelleen reitittämistä, jotta se päätyisi kohteeseen, vaikka signaalin väliin tulisi este.
Big Data:	Iso data on useista eri lähteistä kerättyä dataa. Datamassaa analysoidaan systemaattisesti merkityksellistä informaatiota etsien.
Botnet:	Bottiverkko. Tietoverkon välityksellä toisiinsa kytkeytyneiden tietokoneohjelmien muodostama verkko.
Cloud Computing:	Pilvilaskenta eli datan prosessointi ja säilyttäminen internetin välityksellä hyödyntäen palvelinkeskuksia.
Cobot	Yhteistyörobotti on robotti, joka on tarkoitettu ihmisten ja robottien väliseen vuorovaikutukseen esim. teollisessa ympäristössä.

Digitalisaatio:	Digitalisoituminen/digitalisaatio tarkoittaa digitaalisen tietotekniikan yleistymistä arkielämän toiminnoissa.
Edge Computing:	Reunalaskenta. Data käsitellään mobiiliverkkoon kytkettyjä laitteita hyödyntäen lähellä varsinaista datan lähdettä, jolloin viive pysyy pienenä.
Fog Computing:	Periaatteeltaan käytännössä sama, kuin reunalaskenta (kts. Edge Computing).
Kyberturvallisuus:	Digitaalisten resurssien, laitteiden ja tietojen turvaaminen ulkopuolisia uhkia vastaan.
Malware:	Haittaohjelma. Tietokoneelle asentuva ohjelma, joka voi joko vakoilla koneen käyttöä tai kaapata koko koneen.
Millimetriaallot:	Millimetriaallot ovat 26–28 gigahertsin taajuista mikroaaltosäteilyä.
Network Slicing:	Verkon viipalointi, verkon virtualisointi.
Ransomware:	Kiristyshaittaohjelma. Lukitsee koneen tai salaa tiedostot ja pyytää maksamaan tietyn summan, jolla saa lukitun koneen tai salatut tiedostot avattua.

1.6 Lyhenteet

4IR:	4th Industrial Revolution, neljäs teollinen vallankumous eli Teollisuus 4.0.
AAA:	Authentication (todentaminen), Authorization (valtuutus), Accounting (tilastointi).
AI:	Artificial Intelligence, tekoäly.
AR:	Augmented Reality, lisätty todellisuus.
CPS:	Cyber-Physical Systems, kyberfyysiset järjestelmät.

DoS:	Denial of Service, palvelunestohyökkäys.
eMBB:	Enhanced Mobile Broadband, edistynyt mobiililaajakaista.
EPC:	Evolved Packet Core, kehittynyt pakettiyhdin.
IoT/IIoT:	Internet of Things/Industrial Internet of Things, asioiden internet/teollinen asioiden internet.
IaaS:	Infrastructure as a Service. Pilvipalvelun muoto, joka tarjoaa virtualisoituja laskentaresursseja verkon yli.
IP:	Internet Protocol huolehtii IP-tietoliikennepakettien toimittamisesta perille pakettikytkentäisessä verkossa.
LAN:	Local Area Network, lähiverkko on rajoitetulla maantieteellisellä alueella toimiva tietoliikenneverkko.
MEC:	Multi-Access Edge Computing. Vapaasti suomennettuna monipääsyreunalaskenta.
mMTC:	Massive Machine Type Communications. Massiivinen laitteiden muodostama verkko.
MIMO:	Multiple Input Multiple Output. Sekä lähetykseen, että vastaanottoon käytetään samanaikaisesti useampaa kuin yhtä antennia.
PaaS:	Platform as a Service tarkoittaa sovellusalustaa palveluna eli palveluntuottaja tarjoaa käytettävän alustan, jossa kaikki tarpeellinen on valmiina.
SaaS:	Software as a Service. Pilvipalvelun muoto, joka tarjoaa virtualisoituja ohjelmistoresursseja verkon yli.
SDN:	Software Defined Networking. Ohjelmiston määrittämä verkko-toiminta.

URLLC: Ultra-Reliable Low-Latency Communication. Pienen viiveen erittäin luotettava yhteys.

2 Neljäs teollinen vallankumous

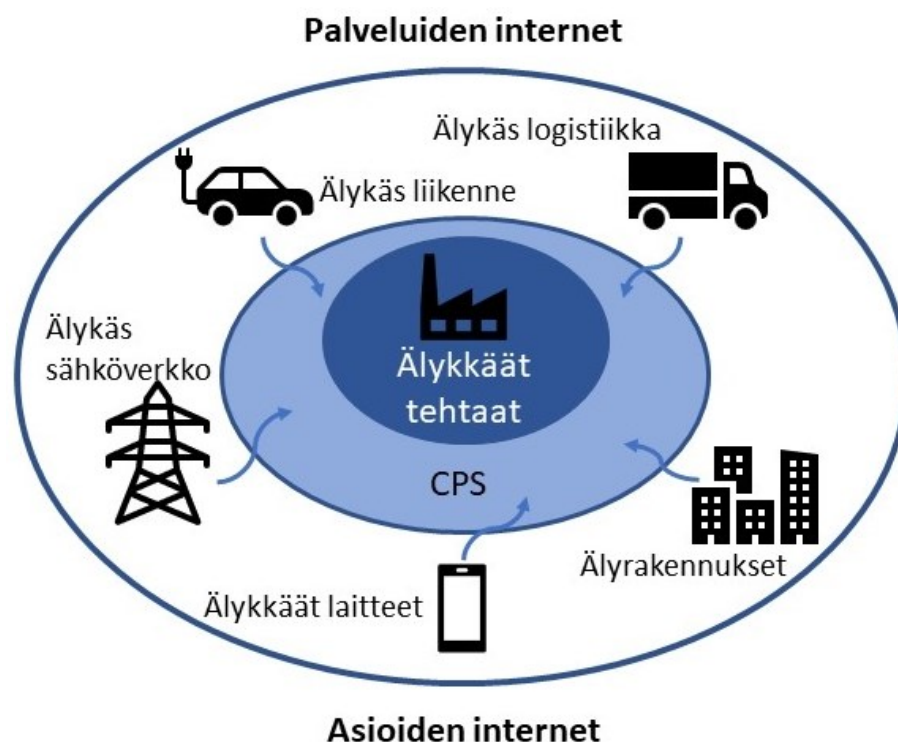
Ensimmäinen teollinen vallankumous alkoi 1700-luvun lopulla, kun yritykset ryhtyivät hyödyntämään vesi- ja höyrykäyttöisiä koneita valmistuksessa. Seuraava käännekohta sijoittuu 1900-luvun alkuun, kun sähkö ja kuljetushihna valjastettiin teollisuuden tarpeisiin.

Tällä hetkellä elämme kolmannen teollisen vallankumouksen aikaa, joka alkoi 1900-luvun loppupuolella, kun mikroprosessorista tuli erottamaton osa valmistusprosesseja. Seuraavasta eli neljännessä vallankumouksesta puhutaan yleisesti Teollisuus 4.0:na, vaikka kyseinen termi ei olekaan vakiinnuttanut paikkaansa tutkimuslaitosten ja yliopistojen sanavarastossa. Huippunopean ja viiveettömän 5G-verkon uskotaan olevan tärkein yksittäinen tekijä, joka tulee käynnistämään seuraavan vaiheen. (Hermann, Otto, Pentek 2015, 3.) Seuraavissa luvuissa kerrotaan tarkemmin teollisuuden neljännessä vallankumouksesta, teollisesta internetistä ja kyberfyyysisistä järjestelmistä.

2.1 Teollisuus 4.0:n tausta

Käsite Teollisuus 4.0 tai 4IR (4th Industrial Revolution) nostettiin ensimmäisen kerran esille vuonna 2011 Saksan hallituksen toimesta yhtenä tärkeimmistä korkean teknologian strategioista. (Kagermann, Wahlster, Helbig 2013, 77). IR4 on iso kynnys monille yrityksille ja se vaatii myös suuria taloudellisia panostuksia, sekä täysin uudenlaista liiketoiminnan ajattelutapaa. Positiivisena puolena nähdään talouden kasvu, kun tuottavuus paranee ja valmistus on joustavampaa ja tehokkaampaa. (Kagermann, Wahlster, Helbig 2013, 16)

4IR:n keskeisiä käsitteitä ovat teollinen asioiden internet (IIoT), digitalisaatio ja tekoälyn ohjaamat koneet. Tarkoituksena on, että verkkoon kytketyt älykkäät koneet ja koneisiin liittyvät ohjelmistot, pystyvät kommunikoimaan keskenään. Käyttökohteita on loputtomasti alkaen älykkäistä sähköverkoista älykkääseen logistiikkaan ja tehtaisiin. (Kagermann, Wahlster, Helbig 2013, 21.) Älykkäät tehtaat eivät yksinään muodosta teollista asioiden internetiä tai teollista asioiden ja palveluiden internetiä, vaan kokonaisuuteen kuuluvat edellä mainitun sähköverkon ja logistiikan lisäksi myös älykkäät laitteet, ajoneuvot ja rakennukset. (Kuva 2) (Kagermann, Wahlster, Helbig 2013, 21)

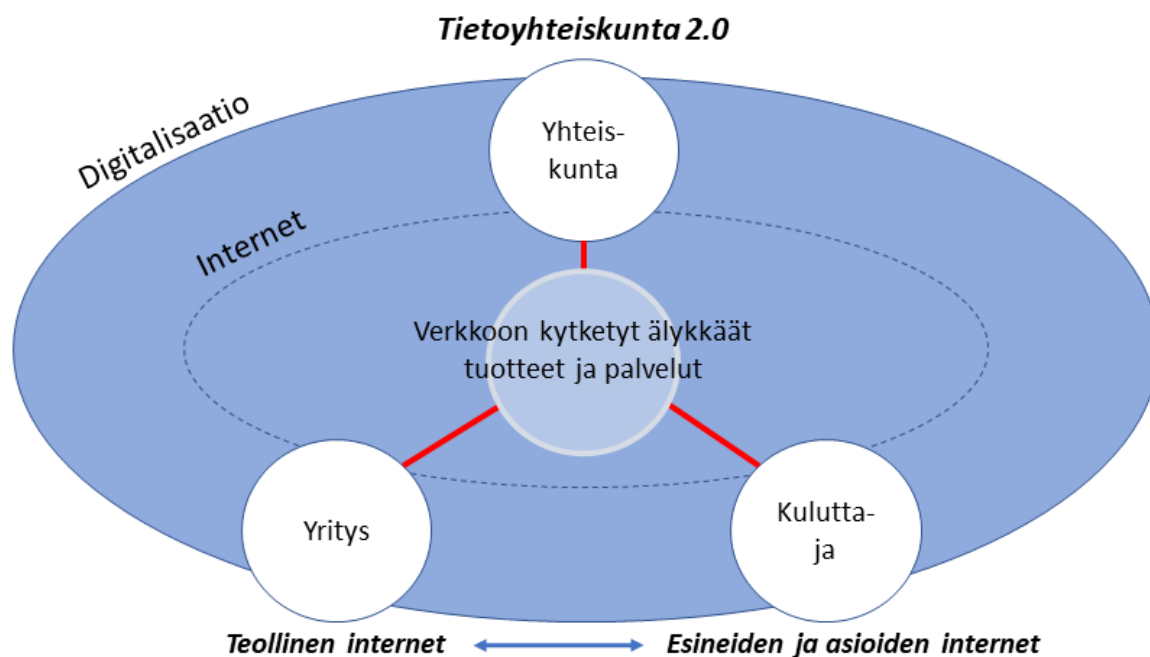


Kuva 2. Teollisuus 4.0 ja älykkäät tehtaات osana asioiden ja palveluiden internetiä. (Mukaillen Kagermann, Wahlster, Helbig 2013, 19).

2.2 Teollinen internet

Teollinen internet ei ole täysin uusi termi, vaan osa laajempaa digitaalista kehitystä, jonka juuret ulottuvat 1950-luvulle asti. Tuorein digitalisaation aalto toi käyttöömme älykkäät verkkoon kytketyt palvelut ja tuotteet, jotka tuottavat reaaliaikaista dataa niiden luonnollisessa toimintaympäristössä eli asiakkaan luona. Yritykset voivat kerättyä dataa hyödyntämällä optimoida asiakkaan käyttämien tuotteiden ja palveluiden käyttökokemusta eli kerta-luonteisesta toimittamisesta siirtytään jatkuvaan ylläpidon malliin. Yhteiskunnan, yritysten ja kuluttajien lähentyminen digitalisaation myötä mahdollistaa täysin uudenlaiset palveluinnovaatiot, jotka perustuvat datan keräämiseen ja analysointiin. (Kuva 3) (Ailisto, Heikkilä ym. 2014, 11).

Yrityksille digitalisaatio näkyy teollisena asioiden internetinä eli liiketoimintaprosessien, tuotteiden ja palveluiden verkkoon kytkeytymisenä. Tällä hetkellä tuotteiden älykkyys muodostuu niihin integroitujen ohjelmistojen kautta, mutta jatkossa tuotteiden ja ohjelmistojen vuorovaikutus on kaksisuuntaista. Teollisessa internetissä tuotantolaitosten jokainen sensori, prosessi ja palvelu tuottaa tietoa, jota voidaan hyödyntää työn ennustettavuudessa ja automaation kehittämisessä. Jotta jokainen tuotannon prosesseihin liittyvä asia ja esine voi välittää dataa verkon välityksellä, tulee niillä olla digitaalinen tunnistus eli IP-osoite (Internet Protocol). (Ailisto, Heikkilä ym. 2014, 11).



Kuva 3. Yrityksillä, yhteiskunnalla ja kuluttajalla on omat roolinsa digitalisaatiossa. (Mukaillen Ailisto, Heikkilä ym. 2014, 11).

2.3 Kyberfysiset järjestelmät

Cyber-Physical Systems (CPS) eli kyberfysiset järjestelmät ovat joukko fyysisiä järjestelmiä, joita ohjaa tietokone. Elementit kykenevät tekemään havaintoja ja itsenäisiä päätöksiä tekoälyä hyödyntäen. Kyberfysisten järjestelmien toiminnan ehtona on laskentatehon kasvu ja nopeammat datayhteydet, joista 5G-verkko on erityisen tärkeässä osassa, koska se mahdollistaa muun muassa itsenäisesti ajavat autot. (Mittal, Torp 2019.)

Sulautetut järjestelmät toimivat usein CPS-järjestelmien rinnalla esimerkiksi itse ajavissa autoissa. Lukkiutumattomat ABS-jarrut kuuluvat sulautettuihin järjestelmiin, jotka reagoivat fyysiseen tapahtumaan ennalta määrätyllä tavalla. Jarrut pyrkivät maksimaaliseen jarrutustehoon pyörien lukkiutumatta. CPS-järjestelmiin lukeutuvat kaikki ympäristöä aktiivisesti tarkkailevat sensorit, jotka tekevät loogisia päätöksiä päästäkseen tavoitteisiinsa, eli esimerkiksi milloin jarrutetaan ja ohjataan auto sivuun törmäyksen välttämiseksi. Järjestelmien pitää ottaa huomioon myös vallitsevat ajo-olosuhteet ja muut tekijät. (Mittal, Torp 2019.) Taulukossa 1 (Liite 1.) on selitetty autonomisen kyberfysisen järjestelmän tavoitteet. Kyberfysiset järjestelmät ovat monimutkaisia hybridejä, jotka ovat vuorovaikutuksessa niin fyysisen, kuin digitaalisen maailman kanssa. (Mittal, Torp 2019).

3 5G-verkko

5G-verkko eli viidennen sukupolven mobiilidatayhteys on megatrendi, jonka ympärille ollaan luomassa digitaalista yhteiskuntaa ja teollisuutta. Matkapuhelinverkon historia ulottuu 1980-luvulle, jolloin päivänvalon näki analoginen 1G-verkko (*First Generation, pohjoismaissa nimellä NMT, Nordisk Mobiltelefon*). Sitä seurasi digitaalinen toisen sukupolven 2G-verkko ja siitä eteenpäin sukupolvenvaihdoksia on nähty noin 10 vuoden välein. Vuodesta 2010 lähtien 4G-verkko on ollut tärkein mobiilidatan siirtoteknologia sen laajan peittoalueen takia. 4G-verkko tulee säilyttämään asemansa vielä pitkään, koska 5G-tekniikan mahdollisuudet teollisuudessa ovat vielä varsin rajallisia ja hintavia. (Järvinen 2013, 8-11.) Telia otti vuonna 2021 käyttöön ensimmäiset 26 gigahertsin taajuudella toimivat tukiasemansa Helsingin seudulla ja Elisa ensimmäisenä pohjoismaalaisena teleoperaattorina 5G-Standalone-tukiasemat, joissa dataliikenteen ohjaus ei tapahdu 4G-tukiasemien kautta. (Lehtiniitty 2021). Seuraavissa luvuissa käsitellään 5G:n ja 4G:n eroja, 5G-verkko-arkkitehtuurin palveluita ja turvallisuus näkökulmia.

3.1 5G:n ja 4G:n erot

4G-tekniologiassa käytetään kantoaaltoina pitkiä aallonpituuksia, joka mahdollistaa tukiasemien sijoittamisen suhteellisen väljästi. 5G-verkko käyttää aluksi 3,5 Ghz:n mikroaaltotaajuutta (vrt. 4G käyttää 2,6 Ghz:n taajuutta), mutta suunnitelmassa on ottaa laajemmin käyttöön 26 Ghz:n taajuus, joka tuottaa millimetriaaltoja. Millimetriaallot eivät ole kovinkaan kantavia (noin 100-200 metriä) ja esteen osuessa niiden tielle, yhteys häiriintyy. Tämä ongelma vaatii tukiasemien rajua lisäystä ja joissakin tapauksissa rakennusten sisätilojen suunnittelemista 5G:n ehdoin. Aluksi 5G-verkko toimii parhaiten kaupunkien keskustoissa, joihin tukiasemia voidaan sijoittaa helpommin, kuin haja-asutusalueille. (Myllymäki 2019).

5G-tukiasema ei eroa fyysiseltä kooltaan 3G- tai 4G-tukiasemista, mutta ero tulee antennien lukumäärässä. 5G-verkko hyödyntää MIMO:a (Multiple Input, Multiple Output) eli se pystyy käsittelemään samanaikaisesti suuren määrän yhteyksiä ja dataa sekä vastaanottaessa, että lähettäessä. 5G:n yhteydessä puhutaan myös massiivisesta MIMO:sta, jossa antennien lukumäärä voi olla jopa tuhansia suhteellisen pienessä tilassa. 5G-antenni on huomattavasti pienempi, kuin 4G-antenni, joten tuhannet pienet antennit mahtuvat saman kokoluokan kotelointiin, jossa 4G-antennin ovat. 5G-tukiaseman tekniikka mahdollistaa myös antennien automaattisen suuntaamisen ja keilan haun (Beamtracking), jotta signaali kulki mahdollisimman esteetöntä reittiä käyttäjälle asti. Antennien suuntaaminen ja keilanmuodostus (Beamforming) parantavat myös tehokkuutta vähentäen radio-signaalien sekoittumista. (5G explained – how 5G works.)

3.2 5G-verkkoarkkitehtuurin palvelut

5G-verkkoarkkitehtuurin suunnittelussa esiin nousee kolme keskeistä palvelualueetta; Massive Machine Type Communication (mMTC), Ultra-Reliable Low-Latency Communications (URLLC) ja Enhanced Mobile Broadband (eMBB). 5G-verkon on tarkoitus toimia siten, että jokainen kolmesta palvelualueesta on ikään kuin oma erillinen verkkonsa, mutta ne käyttäisivät samaa fyysistä infrastruktuuria. Verkon viipalointi (Network Slicing), jota kutsutaan myös ohjelmiston määrittämäksi verkkotoiminnaksi tai SDN-tekniikaksi (Software Defined Networking), on järjestelmä, jossa kaistanleveys jaetaan esimerkiksi edellä mainittujen kolmen palvelualueen kesken, mikä mahdollistaa eri palvelutoimintojen mukauttamisen. Toisin sanoen se tarkoittaa sitä, että jokainen palvelu voi käyttää vaadittua resursia samanaikaisesti omalla tasollaan. (Antenova 2021.) Kuvassa 4 on esitetty ajatus, miten 5G-verkon liikenne voitaisi jakaa virtuaalisille kerroksille, jolloin jokaiselle käyttäjäryhmälle olisi aina saatavilla riittävästi tiedonsiirtokapasiteettia. Edellisen sukupolven (4G) mobiilitiedonsiirrossa jokaisen verkkoa käyttävän laitteen data- ja puhelinliikenne kulkee samaa reittiä, jolloin varsinkin suurissa yleisötapahtumissa yhteydet hidastuvat tai lakkaavat toimimasta. Verkon viipaloinnissa myös teollisuuden automaatiolle, itse ajaville ajoneuvoille ja viranomaisille on oma kerroksensa. (Nokia 2022).



Kuva 4. Verkon viipalointi eri käyttäjäryhmille. (Nokia 2022).

3.2.1 Massive Machine Type Communication

Suomeksi konetyyppinen viestintä tarkoittaa miljoonien IP-pohjaisten (Internet Protocol) laitteiden, koneiden ja asioiden yhdistämistä toisiinsa 5G-verkon välityksellä. Palvelu mahdollistaa laitteiden keskinäisen kommunikoinnin joko suoraan laitteelta laitteelle tai tietyn solmukohdan kautta. Asioiden, koneiden ja laitteiden välistä kommunikointia kutsutaan myös nimellä asioiden internet. (Osseiran, Boccardi jne. 2014).

Matkaviestinnän seuraava aalto tuo mukanaan teollisuuden prosessien automatisoinnin ja mobilisoinnin, jonka kulmakivenä ovat sulautetut viestintäominaisuudet ja integroidut anturit, jotka voivat välittää jatkuvasti dataa laitteen tilasta käyttäjälle ja muille laitteille. (NGMN Alliance 2015).

3.2.2 Ultra-Reliable Low-Latency Communication

Erittäin luotettavat ja alhaisen latenssin viestintäyhteydet palvelevat erityisesti teollisuutta ja lääketiedettä, joissa sitä voidaan hyödyntää etänä suoritettavissa vaativissa leik-
kausoperaatioissa tai muissa tehtäväkriittisissä prosesseissa, kuten älysähköverkkojen operoinnissa. URLLC on kiinnostanut tutkijoita jo hyvän tovin, koska sen toteuttaminen suuressa mittakaavassa on monimutkaista, mutta välttämätöntä, mikäli 5G-verkon kuvitel-
laan olevan automatisoituvan teollisuuden tai tulevaisuuden lääketieteen kantava voima. (Lema, M.A., Laya, A. jne. 2017).

3.2.3 Enhanced Mobile Broadband

Edistynyt mobiililaajakaista on 4G-verkon seuraava kehitysaskel, joka tulee palvelemaan myös kuluttajien tarpeita. Tiedonsiirtonopeuksien kasvaessa samalle tasolle, kuin olemme tottuneet kiinteissä yhteyksissä, mahdollistuu erittäin korkealaatuisen videokuvan suora-
toisto sekä virtuaali- ja lisätty todellisuus mobiiliverkon välityksellä. EMBB on käytännössä 5G-verkon ensimmäinen vaihe eli se tarjoaa katkeamattoman ja korkean datansiirtokapa-
siteetin sekä ulko-, että sisätiloissa, tiheästi asutuilla alueilla ja massatapahtumissa. Li-
säksi eMBB mahdollistaa mobiililaajakaistan sujuvan käytön nopeasti liikkuvissa kulku-
neuvoissa kuten, autoissa, junissa tai lentokoneissa. (Kavanagh 2021).

3.3 Johdanto 5G-verkon turvallisuuteen

Tulevaisuuden mobiililaajakaistan ajatellaan tarjoavan huippunopeita pienen viiveen da-
tayhteyksiä siitäkin huolimatta, että langattomien datayhteyttä käyttävien laitteiden määrä
kasvaa kiihtyvällä tahdilla. 5G-verkon myötä verkossa eivät ole ainoastaan älypuhelimet,
tietokoneet ja muut kannettavat laitteet, vaan käytännössä kaikki sähköllä toimivat asiat
teollisuuden tuotantolaitteista kotoisaan jääkaappiin. Tämä asettaa täysin uudenlaisia
haasteita verkkoturvallisuudelle, kun erilaiset verkkohyökkäykset ovat lisääntyneet merkit-
tävästi viime vuosikymmenen aikana. (Liynage ym. 2018, 75).

3.3.1 Verkkoturvallisuus

Salaustekniikat perustuvat yleensä julkiseen ja yksityiseen salausavaimeen (epäsymmet-
rinen salaus) tai salaisuuteen, jonka tietävät vain luotetut toimijat (symmetrinen salaus).
Edellä mainitut salaustekniikat toimivat langattoman verkon ylimmillä kerroksilla suojaten

tiedon niin, että siitä ei voida muodostaa mitään merkityksellistä tietoa. Salaustapa ei kuitenkaan suojaa tietojen urkkimisy yrityksiltä, jotka kohdistuvat alkuperäisen signaalin erottamiseen moduloidusta signaalista. Molemmat edellä mainitut salaustekniikat olettavat, että hakkerilla ei ole tarpeeksi laskentatehoa viestin purkamiseen kohtuullisessa ajassa, mutta oletamus on osoittautumassa vanhanaikaiseksi, kun laskentatehoa voidaan valjastaa käyttöön pilvipalveluna. (Liynage ym. 2018, 119-120).

5G-verkon odotetaan mahdollistavan massiivisen laitteiden ja asioiden muodostaman verkon, jossa jokainen käyttäjä (ihminen tai kone) on osa sitä. Kriittiset infrastruktuurin palaset, kuten voimalaitokset ja liikenne on erityisen tärkeitä suojata mahdollisilta hyökkäyksiltä fyysisellä kerroksella. Fyysisen kerroksen turvallisuuteen ollaan kehittämässä erilaisia signaalin käsittelyyn liittyviä ratkaisuja, jotka voivat toimia myös itsenäisissä/riippumattomissa verkkoon kytketyissä järjestelmissä. Langattoman tiedonsiirron tärkeimmät tavoitteet ovat luottamuksellisuus, eheys ja saatavuus sekä todentaminen. Fyysisen tason turvallisuuden kehittäminen tähtää luottamuksellisuuteen kohdistuvien tietoturvauehkien kitkemiseen. (Liynage ym. 2018, 119-120).

3.3.2 Laite- ja käyttäjäturvallisuus

5G-verkko on heterogeeninen eli se koostuu sekalaisesta joukosta erilaisia uusia teknologioita ja palveluita. Lisäksi edellisen neljännen sukupolven arkkitehtuurin tunnetut uhat ovat uhkia myös 5G:ssä. 5G-arkkitehtuurin suunnittelussa on otettava huomioon sekä vanhat, että uudet uhat ja selvitettävä niiden syntymekanismi. (Liynage ym. 2018, 250.)

Verkkoon yhdistettyjen laitteiden räjähdysmäinen kasvu tarkoittaa sitä, että dataa liikkuu verkossa entistä enemmän. Lisääntynyt data kiinnostaa myös hakkereita, joiden määrä on lisääntynyt selvästi viime vuosien aikana. Käyttäjälle laiteturvallisuus tai sen puute tulee ilmi siinä vaiheessa, kun jotain odottamatonta tapahtuu esimerkiksi auton ajotietokoneessa. Eräs automerkki kutsui yli miljoona autoaan huoltoon ajoneuvojen ohjelmistossa havaitun haavoittuvuuden takia. Hakkerit voivat käyttää ohjelmiston haavoittuvuuksia hyväkseen esimerkiksi lukitsemalla tai avaamalla auton ovia tai puuttumalla sen hallintalaitteiden toimintaan. Seuraavan sukupolven teollisuudessa tilanne on vielä huolestuttavampi, mikäli hakkerit hyökkäävät tuotannon verkkoon kytkettyjä laitteita, ohjelmistoja, sensoreita ja automatiikkaa vastaan. Käytännössä hyökkäys voisi lamauttaa koko tuotannon, jolla voi olla merkittäviä taloudellisia vaikutuksia. Myös saastunut IoT-laite voi vahingoittaa toisia samaan verkkoon liitettyjä laitteita. (Liynage ym. 2018, 251.)

Laite- ja käyttäjäturvallisuuden säilyttämiseksi IoT-laitteiden tulisi lähettää tietoja poikkeavuuksista samaan tapaan, kuin ne ilmoittavat mahdollisesta viasta. Nopea analysointi

ja tunnistaminen helpottaa uhkien eristämistä. Uhat voidaan jaotella kolmeen ryhmään, AAA-protokolla (Authentication, Authorization, Accounting), saatavuus (Availability) ja yhtenäisyys (Integrity), jotka on selitetty taulukossa (Taulukko 2). AAA-ryhmään kuuluu muun muassa mies välissä -hyökkäys, jossa hyökkääjä pyrkii asettumaan kahden dataa siirtävän luotetun toimijan väliin kaapatakseen luottamuksellista tietoa. Availability-ryhmässä ovat kaikki datan häviämiseen tai resurssien käytön estämiseen liittyvät toimet. Integrity-ryhmään kuuluu haittaohjelmat, jotka voivat vahingoittaa ja muuttaa dataa tai toimia tietovuodon työkaluina. (Liynage ym. 2018, 253-255.)

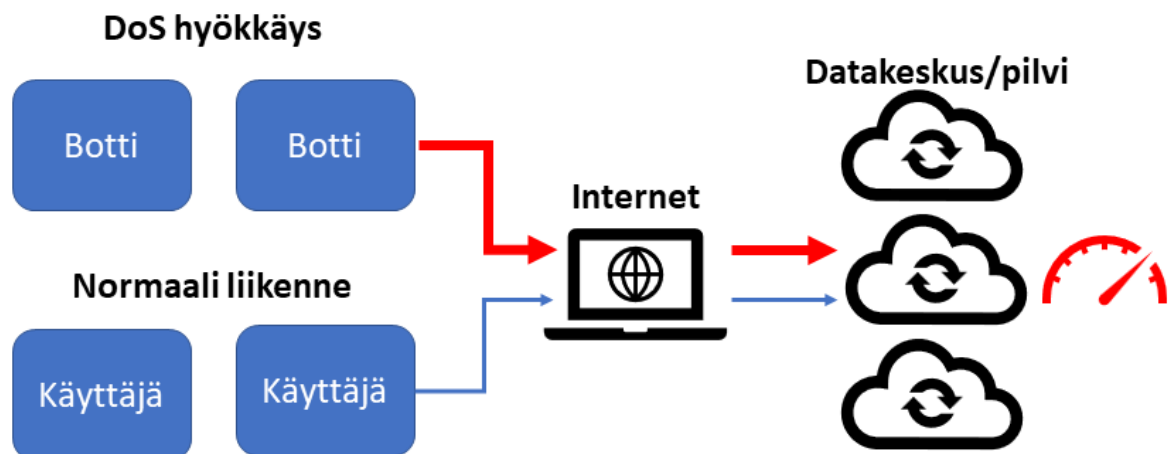
Taulukko 2. Tietoturva-uhkien kolme luokkaa. (Mukaillen Liynage ym. 2018, 253-255).

AAA	Availability	Integrity
Tietojen kalastelu	Järjestelmävikä	Botnet
Etäyhteys	Palvelunestohyökkäys (DoS)	Malware
Mies välissä -hyökkäys	Kokoonpanon menetys	Korruptoitunut sovellus
IP-osoitteen väärentäminen	Virheellinen kokoonpano	Ransomware
Spyware		
Injektiohyökkäys		

3.3.3 Pilvipalveluiden ja virtuaaliverkon turvallisuus

5G-verkossa olevat laitteet muodostavat paikallisen pilven, joka mahdollistaa laskentatehon kasvattamisen siellä missä dataa käytetään eniten, esimerkiksi lisätyn todellisuuden tarpeisiin. Pilvipalveluita (sekä paikallisia, että kaukana olevia) tarvitaan datamäärien ja virtualisoinnin lisääntyessä. Monille saattaa olla epäselvää mihin käyttäjän tiedostot tallentuvat tai mihin älylaite siirtää käyttäjän tietoja automaattisesti. Pilvessä oleva data ei ole täysin turvassa niin kauan, kun siihen pääsee käsiksi avoimen verkon kautta. Palvelinkeskukseen voi kohdistua esimerkiksi palvelunestohyökkäys (DoS), data voi päätyä väärään paikkaan tai voi tapahtua tietomurto. (Liynage ym. 2018, 385-386.)

DoS hyökkäykseltä on vaikea välttyä, mutta siihen voi varautua tekemällä suunnitelman, miten hyökkäyksen tapahtuessa toimitaan. Suunnitelman lisäksi työyhteisössä nimitetään tietyt henkilöt, joille vastatoimet kuuluvat hyökkäyksen tapahtuessa. Tärkeimmät ennaltaehkäisevät toimet ovat järjestelmien päivittäminen, mahdollisten virheiden korjaaminen ja suojaustyökalujen asentaminen. (DNSstuff, 2019.) Esimerkkikuvassa (Kuva 5) on valjastettu lukuisia tietokoneita käsittävä bottiverkko suorittamaan DoS hyökkäystä, jonka kohteena on datakeskus. Hyökkäys kuormittaa datakeskuksen servereitä, jolloin normaali liikenne takkuilee. Tästä voi olla suurta haittaa minkä tahansa palvelun toiminnassa, koska käytännössä kaikki palvelut ja järjestelmät hyödyntävät pilveä tänä päivänä.



Kuva 5. DoS hyökkäys. (Mukaillen DNSstuff 2019).

3.3.4 Kyberfyysisten järjestelmien turvallisuus

CPS-järjestelmät ovat tärkeä osa nykypäivän autoja, joissa ne suorittavat erilaisia havainnointiin ja ajoneuvon kontrollointiin liittyviä tehtäviä. Useat modernit ajoneuvot on liitetty verkkoon viihdejärjestelmien kautta, joka luo merkittävän turvallisuusuhan, sillä ajoneuvon tärkeisiin turvallisuus- ja hallintajärjestelmiin voidaan hyökätä sitä kautta. Kyberfyysiset järjestelmät ovat rantautuneet myös lääketieteeseen, jossa laitteet voivat automaattisesti muuttaa potilaalle annettavaa lääkannostusta perustuen diagnostiikkaan. Verkkoon kytkettynä nämä automaattisesti toimivat laitteet ovat alttiina virheelliselle diagnostiikkadatalle, joka voi uhata potilaan terveyttä. (Mittal, Tork 2019.) Autonomiset ja älykkäät järjestelmät ovat tämän hetken megatrendejä, jotka lisääntyvät voimakkaasti lääketieteessä ja teollisuudessa 5G:n myötä. (Gartner 2022). Kyberhyökkäykset monimutkaisia autonomisia järjestelmiä kohtaan ovat lisääntyneet ja turvallisuuden takaamiseksi markkinoille tulevat laitteet pitäisi olla valmiiksi suojattu verkon välityksellä tapahtuvilta hyökkäyksiltä. (Mittal, Tork 2019).

4 Muut teollisuus 4.0:aan liittyvät teknologiat

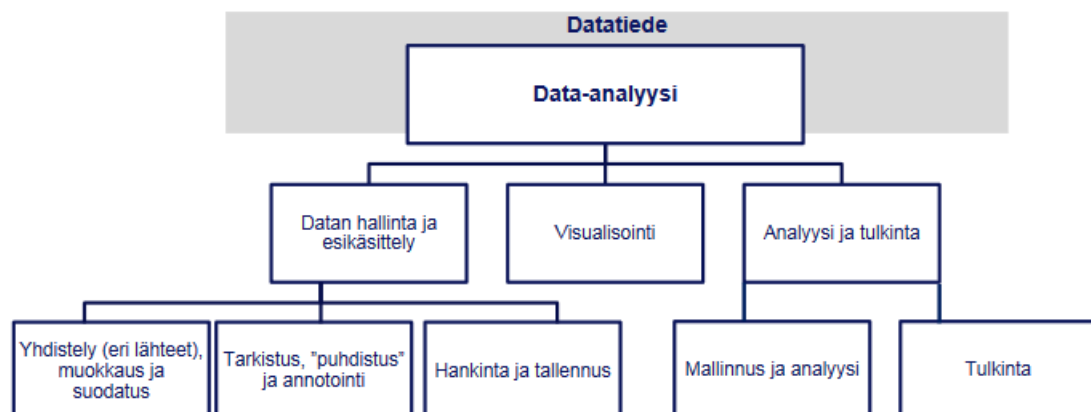
Teollisuuden autonomisuuden ja automaation selkärangan muodostaa tekoälyyn pohjautuva päätöksien tekeminen, jossa analysoitava data saadaan erilaisilta sensoreilta ja jossa koneoppiminen näyttelee merkittävää roolia. Tässä osiossa kerrotaan teknologioista, jotka tukevat 5G-verkkoon kytkettyjen teollisuuden IoT-laitteiden autonomista toimintaa.

4.1 Tekoäly

Tekoäly eli Artificial Intelligence (AI) on laaja käsite, joka edustaa useita eri teknologioita ja tieteenaloja, kuten kieli- ja neurotieteitä, matematiikkaa, fysiikkaa ja insinööritieteitä. Tekoälyn kehitystyötä määrittelee ns. tekoälyn etiikka, sillä tekoäly vaikuttaa koko yhteiskuntaan. (Ailisto, Heikkilä ym. 2018, 6-7). Valtioneuvoston kanslian julkaisemassa raportissa Tekoälyn kokonaiskuva ja osaamiskartoitus lainataan Russellia ja Norvigia: ”Tekoälyn avulla koneet, laitteet, ohjelmat, järjestelmät ja palvelut voivat toimia tehtävän ja tilanteen mukaisesti järkevällä tavalla.” (Russell, Norvig 2014).

4.1.1 Data-analyysi

Data-analyysin tarve ja merkitys korostuu, kun verkkoon kytketyt IoT-laitteet tuottavat valtavia määriä käsittelemätöntä dataa (ns. Big Data). Data-analyysissä dataa pyritään jalostamaan merkitykselliseksi tiedoksi, jota voidaan hyödyntää erilaisten johtopäätösten tekemisessä esimerkiksi robotiikassa ja koneautomaatiossa, sekä koneoppimisessa, joita käsitellään omissa luvuissaan. Data voi olla mitä tahansa aina kirjoitetusta tekstistä teollisuuden antureiden tuottamaan dataan. Data-analyysin ensimmäisessä vaiheessa data tarkistetaan ja puhdistetaan ennen sen analysointia, tulkintaa ja mallintamista. Esimerkkikuva (Kuva 6) esittelee kaaviomuotoisena data-analyysin vaiheet. (Ailisto, Heikkilä ym. 2018, 8-9.)



Kuva 6. Data-analyysin vaiheet. (Ailisto, Heikkilä ym. 2018, 8).

4.1.2 Havainnointi ja tilannetietoisuus

Edistynyt teollisuusautomaatio vaatii roboteilta ihmisen kaltaista toimintaa, jossa tunnustetaan erilaisia tilanteita ja tunnetaan työstettävä asia. Tilannetietoisuus liittyy tietoteknisiin menetelmiin eli datan ja mallien hyödyntämiseen, kun taas havainnointi liittyy sensoreihin ja konenäköön. Jälkimmäisen ja muiden koneaistien avulla robotti kykenee suorittamaan vaativatkin tehtävät yhtä hellävaraisesti, kuin ihmiskäsi. Teollisuusrobotiikka voi hyödyntää tehtävissään sellaisiakin aisteja, joita ihmisellä ei ole, kuten sähkövirran mittaamista ja materiaalien paksuuden mittaamista ultraääntä hyödyntämällä. (Ailisto, Heikkilä ym. 2018, 9-11.)

4.1.3 Koneoppiminen

Koneoppiminen perustuu järjestelmän kykyyn oppia uusia tehtäviä sille syötetystä datasta. Erityisen käyttökelpoinen kohde koneoppimiselle on joustavat tuotantolaitokset, joissa sama robotti voi valmistaa useita erilaisia tuotteita vaihtamalla käytettävää dataa. Järjestelmän algoritmi opettelee uusia asioita säätämällä algoritmin sisäiset parametrit vastaamaan toivottua lopputulosta. Tulevaisuuden tehtaassa koneet voivat jakaa tietojaan toisten koneiden kanssa, jolloin muutkin tehtaan osa-alueet mukautuvat uuteen tehtävään. Koneoppimisen ylemmällä tasolla vaikuttaa tekoäly, jonka eri osa-alueita hyödyntämällä teollisuuden automaatio tulee toimimaan. (Ailisto, Heikkilä ym. 2018, 14-16.)

4.1.4 Robotiikka ja koneautomaatio

Tekoälyyn perustuvien järjestelmien fyysisen ulottuvuuden muodostavat robotiikka ja koneautomaatio. Tietokoneohjelmat ohjaavat robottien toimintaa ja robotit saavat tietoa ympäristöstään hyödyntämällä konenäköä ja sensorien sekä anturien tuottamaa dataa. Robottien liikkeen mahdollistavat sähkömoottorit, pneumaattiset moottorit ja erilaiset mekaaniset osat nivelistä varsiin. Kehittyneessä robotiikassa pyritään siihen, että robotti tunnistaa oman sijaintinsa ja asennon lisäksi käsiteltävien asioiden laadun ja rakenteen. Lisäksi Teollisuus 4.0:ssa robottien automatiikan odotetaan tekevän itsenäisiä päätöksiä ja reagoimaan muuttuvaan ympäristöön. (Ailisto, Heikkilä ym. 2018, 19-21.)

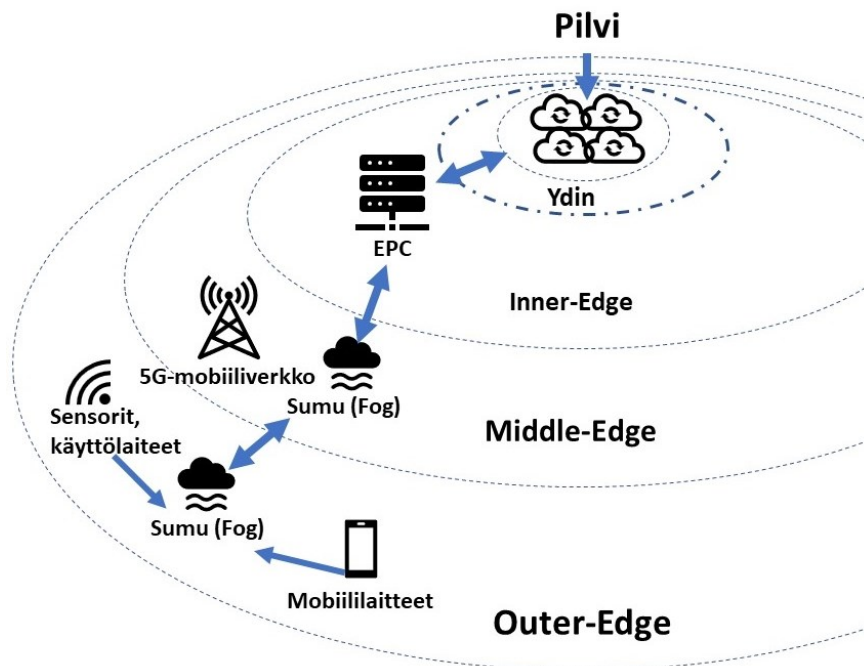
4.2 Pilviteknologiat

Asioiden internetissä käytännössä kaikki elektroniset laitteet ovat yhteydessä verkkoon. Laitteiden lähettämä data puretaan ja prosessoidaan julkisissa ja yksityisissä pilvissä eli palvelinkeskuksissa. Valtava datan määrä kuormittaa pilveä, jolloin viiveen lisääntymisen riski kasvaa. Viive puolestaan ei palvele asioiden internetin perusajatusta, joka on tarjota yhteiskunnalle erilaisia reaaliaikaisia virtuaalisia palveluita. Viiveettömyyteen on ajateltu ratkaisuksi sumu/usvalaskentaa (Fog Computing), jossa datan purku ja prosessointi

suoritetaan lähellä olevien IoT-laiteresurssien avulla. Mobiiliverkon kohdalla puhutaan reunalaskennasta, periaatteen ollessa sama, mutta langattomana. (Buyya, Srirama 2019, 18.) Tämän luvun tarkoituksena on käydä läpi mitä eri kerroksia reunalaskenta sisältää ja mikä niiden tehtävä on 5G-verkossa.

4.2.1 Reunalaskenta eli Edge Computing

Matka äylaitteesta pilveen on pitkä, kun puhutaan vasteajoista. Tavallisissa työtehtävissä, joissa infrastruktuuri toimii pilvipalveluna (IaaS), ei vasteajan merkitys ole suuri, mutta aika- ja tehtäväkriittisten asioiden kohdalla voidaan puhua jopa elämästä ja kuolemasta. Yksi esimerkki aika- ja tehtäväkriittisyydestä on autonomisesti kulkeva ajoneuvo, jonka täytyy kyetä reagoimaan ympärillä tapahtuviin asioihin lähes viiveettömästi. 5G-verkossa pilven laskentateho voidaan tuoda lähelle käyttöpaikkaa ns. reunalle. Reunalaskentaan liittyy oleellisena osana asioiden internet, jossa verkkoon kytketyt laitteet prosessoivat dataa. Reuna ei poista varsinaisen pilven merkitystä, mutta mahdollistaa aika- ja tehtäväkriittisten prosessien suorittamisen viiveettömästi. (Lindström 2021.) Esimerkkikuvassa (Kuva 7) on esitetty yksinkertaistamalla, miten reunalaskenta toimii. Reuna on jaettu kolmeen osaan, jossa jokaisella on oma tehtävänsä ja ytimen muodostaa palvelinkeskus eli pilvi.



Kuva 7. Reunalaskennan ja älykkään sumun hierarkia. (Mukaillen Buyya, Srirama 2019).

4.2.2 Outer-Edge

Uloimpaa reunaa reunalaskennan ja älykkään sumun hierarkiassa kutsutaan nimellä Outer-Edge, mutta siitä voidaan käyttää myös nimityksiä extreme-edge, far-edge tai usva. Uloimmassa kerroksessa sijaitsevat IoT-laitteet, joista langaton asioiden verkko muodostuu. Kerroksella on neljän tyyppisiä laitteita, pienitehoisia sensoreita ja toimilaitteita, jotka kykenevät kevyisiin prosessointitehtäviin sekä huomattavasti tehokkaampia pienikokoisia laitteita, kuten älypuhelimia ja hubeja, joiden tehtävä on toimia keskimmäisen kerroksen (Middle-Edge) ja uloimman kerroksen välissä. (Buyya, Srirama 2019, 14-16.)

4.2.3 Middle-Edge

Keskimmäisellä eli Middle-Edge tasolla sijaitsevat 5G-tukiasemat, jotka ovat suurimmasta alkaen makrosolut, mikrosolut, pikosolut ja femtosolut. Kaksi suurinta tukiasemaa eli makro- ja mikrosolut palvelevat laajoja alueita, kuten ulkotiloja. Kaksi pienempää tukevat niitä huolehtimalla myös sisätilojen peittoalueesta. Keskireunan sisälle kuuluvat myös paikalliset laskentapalvelimet, jotka kykenevät vaatimaan massaprosessointiin ja tarjoavat sekä kuluttajille, että teollisuudelle mahdollisuuden hyödyntää 5G-verkon tarjoamia mahdollisuuksia, kuten lisättyä todellisuutta (AR), virtuaalitodellisuutta (VR) ja reaaliaikaista etäohjausta. (Buyya, Srirama 2019, 14.)

4.2.4 Inner-Edge

Sisimpänä reunalaskennan ja älykkään sumun hierarkiassa on kehittynyt pakettiyydin (EPC). Sisemmän tason on tarkoitus toimia mobiilidatan ja äänen (puhelut) yhdistäjänä ja välittäjänä pilven ja laitteiden välillä. EPC käsittelee edellä mainitut IP-palveluarkkitehtuurin mukaisesti, jonka myötä kaikki verkkoliikenne voidaan ohjata EPC:n kautta, oli se sitten mobiiliverkon liikennettä tai kiinteiden yhteyksien liikennettä. (Buyya, Srirama 2019, 13.)

5 Tulevaisuuden teollisuus

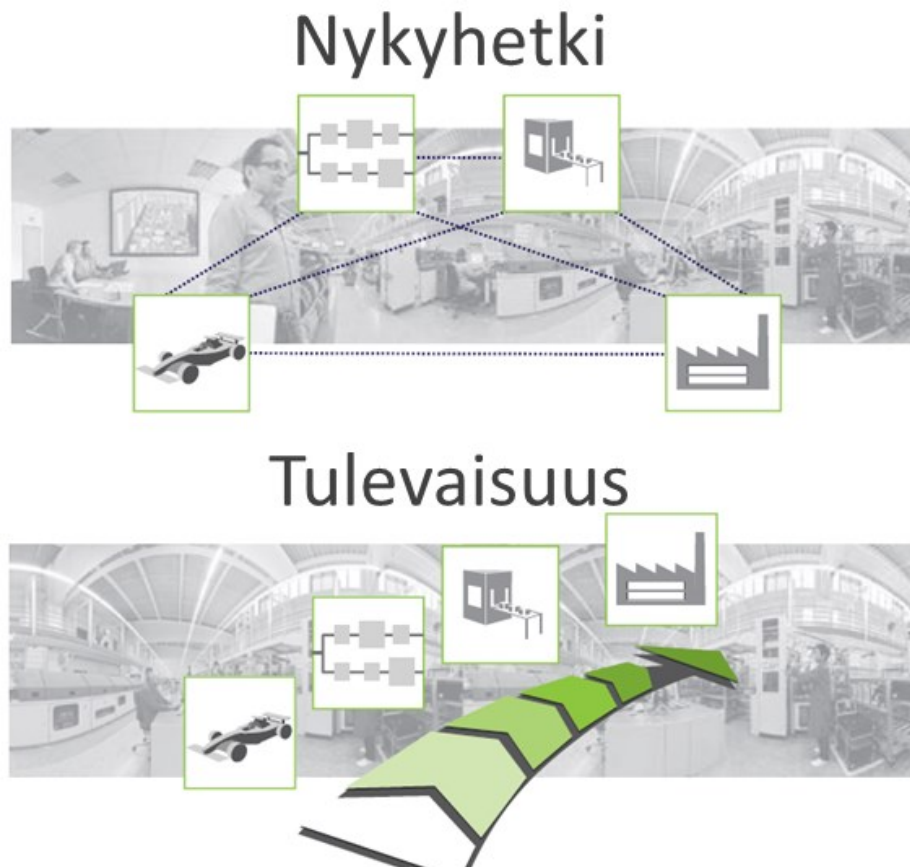
Asioiden ja palveluiden internet luo mahdollisuuden rakentaa tulevaisuuden tehtaast sel-laiseksi, joissa jokainen kone ja laite on osa isoa verkkoa. Näitä älykkäitä fyysisiä järjestel-miä kutsutaan yleisesti kyberfyysisiksi järjestelmiksi. Älykkäät teollisuuden prosessit tule-vat vaikuttamaan yritysten arvon luomiseen ja liiketoimintamalleihin sekä palveluihin ja työn organisointiin. (Kagermann 2013, 14-15.) Tässä luvussa tutkitaan, mikä merkitys älykkäällä teollisuudella voi olla yrityksille ja mitä haasteita nähdään teollisuuden digitali-soitumisessa. 5G-mobiiliverkko on megatrendi, jonka ajatellaan mullistavan langattoman tiedonsiirron, mutta onko perinteinen valokuidulla toimiva langaton/langallinen laajakaista edelleen paras vaihtoehto, kun suunnitellaan täysin automatisoitua teollisuutta?

5.1 Neljännen teollisen vallankumouksen merkitys teollisuusyrityksille

Teollisuus 4.0 tarjoaa ennen kaikkea mahdollisuuden joustaviin ja optimoituihin tuotanto-prosesseihin ja entistä korkeampiin laatustandardeihin suunnittelussa, valmistuksessa ja operatiivisissa prosesseissa. (Kagermann 2013, 20.) Teollisuuden vaatimukset tehokkuu-desta ja hyötysuhteesta kasvavat jatkuvasti ja yksilöllisyys sekä pienet tuotantoerät ovat lisänneet suosiotaan. Mukautuvassa ja älykkäässä tehtaassa data kulkee reaaliaikaisesti jokaisen laitteen välillä, jolloin muutokset tulevat välittömästi voimaan kaikkialla prosessi-ketjussa. (Frère, Zureck 2018, 87.)

5.1.1 Joustavuus ja yksilöllisyys

Teollisuus 4.0 voi mahdollistaa joustavuuden käytännössä jokaisessa vaiheessa, alkaen tilausten käsittelystä valmistukseen. Viime hetken muutokset tuotantoprosesseissa ja yksi-lölliset kriteerit koskien tuotteiden muotoilua, kokoonpanoa ja määrää olisivat merkittävä kilpailuetu verrattuna perinteisen teollisuuden yrityksiin. Asiakkaan näkökulmasta pienet, jopa yhden tuotteen tuotantoerät vähentäisivät kustannuksia, mutta toisivat silti voittoa yri-tykselle, kun tehdas pystyisi mukautumaan lennosta ilman suuria muutostöitä. Sama pätesi toisinkin päin eli tuotantovolyymien kasvatus CPS-järjestelmissä pystyttäisiin toteuttamaan hyvin nopeasti. (Kagermann 2013, 15-16.) Esimerkkikuvassa (Kuva 8) on esitetty nykyhet-ken ja tulevaisuuden arvoketju. Nykyhetkessä tuotteiden ominaisuuksiin ei voida vaikuttaa joustavasti, koska järjestelmät ovat usein hajautettuja ja eivät kykene muodostamaan yh-teistä kuvaa asioista. Tulevaisuuden kyberfyysiset järjestelmät sallivat huomattavasti jous-tavamman tuotannon läpi prosessin ja tuotanto on suoraviivaisempaa, mukautuvampaa ja yksilöllisempää. (Kagermann 2013, 35).



Kuva 8. Päästä päähän järjestelmäsuunnittelu läpi koko arvoketjun. (Mukaillen Kagermann 2013, 35.)

5.1.2 Päätöksen teon ja materiaalien käytön tehokkuus

Reaaliaikaisuus ja päästä päähän läpinäkyvät prosessit yhdessä joustavuuden kanssa mahdollistaisivat oikeiden päätösten tekemisen hyvin lyhyellä varoitusaajalla. Materiaalien käytön tehokkuus saavutettaisiin optimoimalla tuotannon prosessit. (Kagermann 2013, 16.) Kansainvälisillä markkinoilla nopeus on valttia, mutta yhä enemmän kiinnitetään huomiota myös arvoihin, joita yritykset edustavat. Teollisuus 4.0:n arvolutaus on energia- ja materiaalitehokkuuden lisääminen, joka vähentää hukkaa ja päästöjä. (Kagermann 2013, 16.)

5.1.3 Arvolupaus ja demograafiset muutokset

Teollisuuden parissa työskentelevien ihmisten ikä tulee jossain vaiheessa vastaan ja uusista osaajista on huutava pula, varsinkin metalliteollisuuden alalla. Ylen vuonna 2021 julkaiseman uutisen mukaan metallialan yrityksillä on vaikeuksia löytää uusia työntekijöitä ja edes alaa opiskelevia ei saada kesätöihin. (Yle 2021). Teollisuus 4.0:ssa piilee ratkaisu ikääntyvien työntekijöiden korvaajaksi, kun älykkäät automaattoratkaisut tulevat mahdolliseksi ja toisaalta työympäristö muuttuu houkuttelevammaksi erilaisten työtä helpottavien teknisten apuvälineiden takia. Yksi esimerkki olisi yhteistyörobotit (Cobots), jotka

auttaisivat ihmistä työnteossa ja voisivat suorittaa niin sanotut likaiset työt. Samalla työlaatu paranisi ja työn kuormittavuus vähenisi sekä mielekkyys lisääntyisi. (KUKA Robotics Corporation). Teollisuus 4.0 kehittää kasvaessaan uudenlaisten ratkaisujen kysynnän, joka puolestaan luo uusia startupeja eli kasvuyrityksiä vastaamaan kysyntään. Verkkoon kytkettyjen laitteiden keräämää dataa (Big Data) voidaan mahdollisesti hyödyntää teollisuuden ulkopuolella uusissa innovatiivisissa kuluttajille suunnatuissa palveluissa. (Kagermann 2013, 16.) Arvolupaukseksi voidaan katsoa kaikki edellä mainitut seikat eli työn kuormittavuuden väheneminen, työn laadun parantuminen, työviihtyvyyden lisääntyminen ja uusien alojen sekä palveluiden synty.

5.2 Teollisuuden digiloikan haasteet

Teollisuus 4.0:n hyödyt ovat ainakin teoriassa merkittävät, kuten alaluvussa 5.1.3 mainittiin, mutta entä millaisia haasteita koetaan siirtymävaiheessa tai miksi digiloikkaa pelätään? Kenties suurimmat haasteet nähdään investointien määrässä, joka syövät runsaasti rahaa. Lisäksi 5G:n ympärille rakennettava älykäs toimintaympäristö oli vuonna 2018 niin teoreettinen, että tärkeät standardit loistivat poissaolollaan ja niin loistavat myös vuonna 2022. (Frère, Zureck 2018, 31-32.) Seuraavissa luvuissa perehdytään uuden teknologian implementoinnin haasteisiin.

5.2.1 Rahoitus ja investoinnit

Luvussa 5.2 mainittiin sana ”teoriassa”, joka linkittyy vahvasti myös Teollisuus 4.0:n rahoittamiseen ja uusiin investointeihin. Alkukustannukset tulevat olemaan suuria, koska lähtökohta on, että kaikki aloitetaan nollasta. Jos kuluja yritettäisiin ennustaa, niin tähän tarkoitukseen on lista, joka sisältää kolme erilaista painopistettä:

- Verkottunut tuotanto
- Verkottuneet prosessit
- Verkottuneet tuotteet (Frère, Zureck 2018, 32-33.)

Kolmeen kategoriaan kuuluisi kahdeksan eri investoinnin tyyppiä, jotka on esitelty taulukossa (Taulukko 3). Investointien erittely ei kuitenkaan poista sitä tosiasiaa, että ne ovat vain teoreettisia, koska varsinaisia suuren mittakaavan projekteja ei ole vielä nähty. Teollisuus 4.0 projektit ovat tähän mennessä olleet pieniä pilottihankkeita, mutta ne eivät riitä vielä vakuuttamaan rahoitusalaan uusista mahdollisuuksista senkin takia, että Teollisuus 4.0:n ja normaalin digitalisoimisen välillä ei nähdä tarpeeksi eroa. Lisäksi Teollisuus 4.0 perustuu monilta osin vielä aineettomiin asioihin, kuten ICT-liiketoimintamalleihin. (Frère, Zureck 2018, 32-33.)

Taulukko 3. Kolme teoreettista investointialuetta Teollisuus 4.0:ssa. (Mukaillen Frère, Zureck 2018, 32-33).

Verkottunut tuotanto	Verkottuneet prosessit	Verkottuneet tuotteet
Koneet ja sensorit	Järjestelmäintegraatio, informaation jakaminen (optimointia varten)	Tuotteiden digitalisoituminen, dataan perustuvat palvelut (ennakoiva huollon tarve)
Datan keräys (datakeskus)	Itsenäiset/automaattiset prosessit	Uudet liiketoimintamallit (datan ohjaama liiketoiminta)
Data-analyysi, IT-järjestelmät (ohjelmistot, asiantuntijat)	ICT-tietoturva, pilvipalvelut (pilvilaskenta ja datan varastointi)	

5.2.2 Työvoima

Tulevaisuuden teollisuudessa robotti tulee korvaamaan ihmisen yhä useammassa tehtävässä, mutta jäljelle jääneisiin työpaikkoihin tarvitaan osaavia ihmisiä. Erityisesti ICT-alan ammattilaisista, joita tarvitaan ohjelmistokehitykseen, data-analyysiin jne. (Frère, Zureck 2018, 34-35). ICT-ala käy kuumana ja osaavat tekijät viedään käsistä, eikä kaikille yrityksille riitä työntekijöitä, kerrotaan Ylen uutisessa vuodelta 2021. (Yle 2021). Samassa Ylen uutisessa Teknolomiteollisuuden johtaja Petteri Rautaporrass ennustaa, että ”ICT-alan osaajien kokonaistarve voi lähivuosina nousta jopa 20 000 työntekijään”, joka on pelkästään Suomen osuus. (Yle 2021). Globaalisti se tarkoittaa, että yritysten menestys mahdollisuudet siirtymisessä Teollisuus 4.0:aan voivat olla heikot, jos tämänhetkiseen työvoimavajeeseen ICT-alalla ei löydy ratkaisua. (Frère, Zureck 2018, 34-35).

5.2.3 Tietoturva

Tietosuoja.fi sivustolla kerrotaan, että tietosuojaperiaatteiden mukaan ”Kaikki henkilötietoihin kohdistuvat toimenpiteet suunnittelusta keräämiseen, käsittelyyn ja henkilötietojen poistamiseen ovat henkilötietojen käsittelyä. Tietosuojaperiaatteita on noudatettava koko henkilötietojen käsittelyn elinkaaren ajan.” (Tietosuoja.fi). Luvussa 3.3.2 on kerrottu laite- ja käyttäjäturvallisuudesta, joka linkittyy datamäärien kasvuun ja kun dataa siirretään laitteelta toiselle monimutkaisessa kyberfyyssisten järjestelmien verkossa. Yrityksien on huolehdittava, että työntekijöiden, asiakkaiden ja yhteistyökumppaneiden henkilökohtaiset tiedot tai muu arkaluontoinen tieto ei päädy järjestelmien ulkopuolelle. Tietoturvan varmistaminen voi olla hankalaa, koska älykkäiden tehtaiden olisi tarkoitus välittää tietoa

mahdollisesti toisille tehtaille ja logistiikalle. Jos tietoja pääsisi jostain syystä vuotamaan väärin paikkoihin, tarkoittaisi se taloudellisia riskejä mittavien sakkojen muodossa. (Frère, Zureck 2018, 39-40). Traficom in julkaisemassa ”Tunnisteet ja tietosuoja – Anonymisointi ja sen rajat” nimisessä yrityksille suunnatussa ohjeistuksessa muistutetaan, että vaikka tunnistetiedot on pystytty anonymisoimaan jo 1990-luvulta lähtien, niin suurin osa käytettävistä anonymisointitekniikoista on murrettavissa, jos tieto halutaan säilyttää laadukkaana. Laadukkuudella viitataan tiedon käyttöarvoon eli mahdollisuuteen käyttää tietoa data-analyysissa, joka on keskeinen osa kehittyvää teollisuutta. (Peuhkuri 2021).

5.2.4 ICT-infrastrukturi

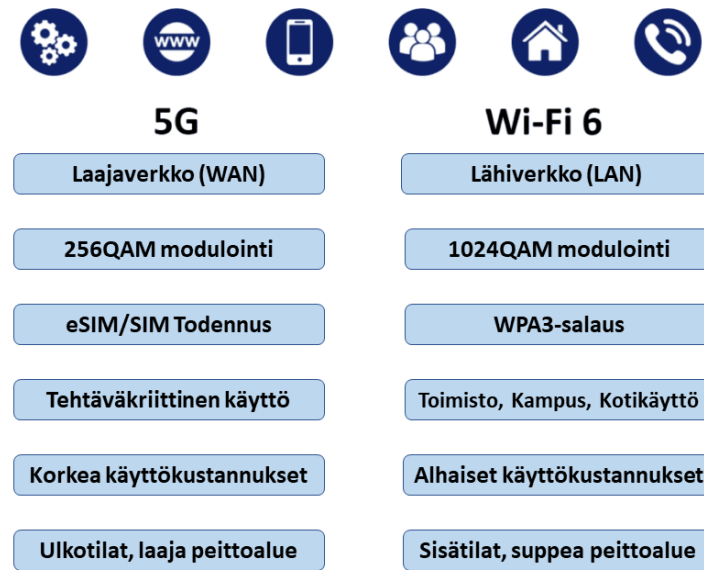
Teollisuus 4.0:ssa datan laadukkuus, turvallisuus ja saatavuus on kaiken A ja O. Tätä tarkoitusta varten yrityksillä tulisi olla käytössä korkean suorituskyvyn dataverkko ja muu infrastrukturi, jotta teollisuuden laitteiden tuottama data voidaan siirtää ja prosessoida reaaliaikaisesti ja turvallisesti. Ongelmaksi muodostuu yritysten haluttomuus investoida uuteen infrastruktuuriin ja olemassa olevien järjestelmien taipumattomuus uusiin vaatimuksiin. Lisäksi, jotta Teollisuus 4.0 voisi toimia suunnitellulla tavalla, täytyy datayhteyksien kyetä siirtämään dataa nopeasti ja viiveettömästi maan- ja maailmanlaajuisesti. (Frère, Zureck 2018, 48-49).

5.3 Onko 5G välttämätön tulevaisuuden teollisuudessa?

5G-yhteyden mahdollinen latausnopeus tulevaisuudessa voisi olla jopa 1-10 gigabittiä sekunnissa (Gbit/s), viiveen ollessa yhden millisekunnin luokkaa. Se on nopeus, johon fyysinen langallinen yhteys kykenee, ainakin teoriassa. Mutta 5G:n luvatut tiedonsiirtonopeudet ovat vielä kaukana toteutumisesta nopeuksien ollessa parhaimmillaankin vain hieman 4G LTE:tä parempia eli välillä 10-1000 megabittiä sekunnissa (Mbit/s). (Elisa). Uusin Wi-Fi standardi 802.11ax, jota markkinoidaan nimellä Wi-Fi 6, lupaa palvella yhä suurempaa määrää verkkoon kytkettyjä laitteita tehokkaammin ja nopeammin, kuin edellinen standardi 802.11ac. (Looper 2021). AT-T Business on julkaissut vuonna 2020 dokumentin, jossa vastataan kysymykseen ”tuleeko 5G syrjäyttämään Wi-Fi:n?” Se on hyvä kysymys, koska lähiverkkoon (LAN, Local Area Network) perustuva Wi-Fi 6 pystyy tarjoamaan käytännössä saman mitä 5G, kun kyseessä on teollisuuden automaatio. Wi-Fi 6 lupaa palvella entistä isompia määriä verkkoon kytkettyjä laitteita samanaikaisesti (esim. IoT) ja suuremmalla nopeudella, kuin ennen. Mobiililaajakaista on edelleen paras vaihtoehto ulkona ja liikkeessä, mutta tehdasympäristössä Wi-Fi 6 tekee sen mitä 5G lupaa. (AT-T Business 2020).

5.4 Realistinen kuva seuraavan sukupolven tiedonsiirrosta

5G ja Wi-Fi 6 ovat monilta osin samankaltaisia tiedonsiirtotekniikoita. Molemmat pystyvät palvelemaan suuria määriä samanaikaisia käyttäjiä, kykenevät teoriassa 10-1000 Gbit/s nopeuksiin ja ovat tärkeä osa asioiden internetiä (IoT). Wi-Fi 6 palvelee erinomaisesti lähiverkossa (LAN) toimivia laitteita ja koneita, mutta esimerkiksi autonomisesti liikkuvat logistiikan ajoneuvot ja muu tehdasympäristön ulkopuolella oleva automaatio tarvitsevat laajaverkkoa (WAN, Wide Area Network), jonka 5G mahdollistaa. Todennäköinen skenaario on, että molemmat tiedonsiirtotekniikat tulevat toimimaan rinnan täydentäen toisiaan. (AT&T Business 2020). Celitechin 5G:tä ja Wi-Fi 6:ta koskevassa julkaisussa ollaan sitä mieltä, että tiedonsiirtoteknologiat eivät tule toimimaan toistensa kilpailijoina, vaan ne enemmänkin hyötyvät toisistaan. Celitech listaa kahden langattoman laajakaistateknologian erot, jotka on esitetty kuvassa 10 (Kuva 10). Sekä Wi-Fi 6, että 5G käyttävät samanlaista QAM-teknikkaa (Quadrature Amplitude Modulation), jossa yhdistyvät vaihemodulaatio ja amplitudimodulaatio. Wi-Fi 6:n käyttämä 1024QAM on hieman kehittyneempi versio 256QAM:sta ollen hyötysuhteeltaan noin 25 prosenttia parempi. Salauksen ja/tai todennuksen osalta SIM:n tai jatkuvasti yleistyvemmän eSIM:n (Embedded Subscriber Identity Module) uskotaan kasvattavan suosiotaan, koska se on huomattavasti kehittyneempi, turvallisempi ja luotettavampi ratkaisu, kuin WPA3 (Wi-Fi Protected Access 3). Isoin ja merkittävin ero teknologioiden välillä on radiotaajuus. Wi-Fi toimii lisenssittömässä spektrissä eli samalla alueella voi toimia useita Wi-Fi verkkoja, jotka kaikki käyttävät samaa taajuutta ja kanavia. Tämä voi johtaa verkon kuormittumiseen ja suorituskyvyn laskuun. 5G-verkko on yleensä teleoperaattorien hallitsema ja taajuudet toimivat lisenssin alaisessa spektrissä tarkoittaen, että käyttäjän pitää maksaa liityntämaksu päästäkseen hyödyntämään yhteyttä. Yritykset voivat lisäksi valita haluavatko toimia omassa yksityisessä 5G-verkossa, joka voi tulla kyseeseen, jos yrityksen toiminnot ovat erityisen aikakriittisiä. (Celitech 2021).



Kuva 10. 5G:n ja Wi-Fi 6:n erot. (Mukaillen Celitech 2021).

5.5 Esimerkki 1: Bosch Automotive

Bosch Automotiven Wuxin tehtaalla Kiinassa on valjastettu IIoT ja Big Data osaksi tehtaan toimintaa. Tuotantokoneet tuottavat jatkuvasti anturidataa, jota kerätään ja prosessoidaan edistyneillä data-analytiikkatyökaluilla reaaliajassa, jolloin saadaan välittömästi tieto, jos järjestelmässä on jokin pullonkaula tai tulossa oleva vika. Vikojen ennakoiminen vähentää suurempien ongelmien muodostumista, kun koneet voidaan huoltaa hyvissä ajoin ennen jonkun osan lopullista hajoamista. Ennakoivat huoltotoimenpiteet pitävät koneet käynnissä ja tuotannossa ei ole katkoksia. Bosch Automotive on todennut, että heidän tuotantonsa on kasvanut paikoin jopa yli 10 % sen jälkeen, kun data-analyysia on ryhdytty hyödyntämään tuotannon optimoinnissa. (AMFG 2019).

5.6 Esimerkki 2: Worcester Bosch

Isossa-Britanniassa Worcestershiren kreivikunnassa sijaitseva lämmitystuotteiden valmistaja Worcester Bosch on ottanut askeleen kohti 5G-teknologiaan perustuvaa tuotantoa perustamalla testiympäristön, jossa voidaan tutkia älytehtaan toimintaa. Testin päätarkoitus on datan kerääminen ja analysointi. Testiympäristössä sensorien tuottaman reaaliaikaisen datan perusteella voidaan suorittaa ennaltaehkäiseviä huoltotoimenpiteitä tai estää isomat vahingot, kun joku laitteista hajoaa. Worcester Boschin toimitusjohtaja Carl Arntzenin mukaan Bosch Group haluaa olla edelläkävijä puhuttaessa ennakoivasta huollosta ja robotiikasta. Yritys luottaa 5G-teknologiaan Teollisuus 4.0:n mahdollistajana ja on jäsenenä 5G-ACIA:ssa, jonka on tarkoitus toimia yhteisenä alustana tai foorumina kaikille digiloikasta kiinnostuneille yrityksille. (Bosch).

5.7 Esimerkki 3: Ericsson 5G Smart Factory

Ruotsalainen informaatio- ja viestintäteknologioiden ja -palveluiden toimittaja Ericsson on sitoutunut 5G-infrastruktuurin rakentamiseen ja sen ensimmäinen laajamittainen älytehdas valmistui Yhdysvaltoihin Texasin osavaltiossa sijaitsevaan Lewisvillen kaupunkiin keväällä 2020. Tehdas on kooltaan 28,000 neliometriä, siellä operoi yli 200 tekoälyn ohjaamaa robottia ja hintaa sille tuli n. 100 miljoonaa USA:n dollaria. Lisäksi projektin aikana syntyi yli 200 uutta työpaikkaa, vaikka tehtaassa toimintaperiaate nojaa vahvasti älykkääseen automaatioon ja autonomisuuteen. Tehtaassa käytettävä 5G-teknologia on viimeisintä huutoa, joka takaa nopeat ja turvalliset yhteydet yhdistettynä koko tehdasarkkitehtuurin kattavaan dataintegraatioon. Ericsson haluaa, että heidän ketterään ja joustavaan tuotantoon pystyvä tehdas olisi eräänlainen suunnannäyttävä matkalla tulevaisuuden teollisuuteen. Tehtaassa neljä tärkeintä tulevaisuuden teknologiaa ovat:

- 5G-yhteyteen perustuvat autonomisesti liikkuvat robotit, joita käytetään materiaalien ja tuotteiden kuljettamiseen sekä tuotantoon.
- Lisätty todellisuus (AR), jota voidaan hyödyntää esimerkiksi etänä suoritettavissa huoltotoissa ja ongelmanratkaisussa.
- Puettavat älylaitteet (esim. älyranneke), joihin työntekijät saavat reaaliaikaista tietoa tehtaassa tapahtuvista asioista, esimerkiksi ilmoitus viasta tietyssä paikassa.
- Koneäköön perustuva oppiminen, jossa korkearesoluutioiset kamerat yhdessä koneoppimisen algoritmien kanssa suorittavat tuotannon optimointia ja havaitsevat tulevia virheitä. (Simonsson.)

Ericssonin tehtaassa valmistetaan 5G-radiolähtimiä ja kehittyneitä antennijärjestelmiä (AAS, Advanced Antenna System), joita käytetään muun muassa Yhdysvaltojen 5G-infrastruktuurin rakentamiseen. Ericssonin investoinnilla pyritään luomaan turvallinen ja nopea tavarantoimitusketju nopeasti kasvavalla Yhdysvaltojen mobiiliteknologiamarkkinalla. (Ericsson).

6 Yhteenveto ja oman oppimisen arviointi

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä 5G-teknologiaan ja neljänteen teolliseen vallankumoukseen, jonka uskotaan alkavan siirryttyessä täysimittaisesti 5G-aikakauteen. 5G-verkko on tämän hetken megatrendi, johon moni visionääri tarttuu, kun puhutaan tulevaisuuden digitalisoituvasta maailmasta, jossa lisätty todellisuus, virtuaalisuus, tekoäly, huippunopeat langattomat yhteydet ja teollisuuden automatisointi ovat keskeisiä teemoja. 5G-infrastruktuurin rakentaminen on vielä kesken, mutta uusia 5G Standalone-tukiasemia tulee jatkuvasti edellisen sukupolven 4G LTE-tukiasemien rinnalle. Standalone viittaa itsenäiseen 5G-ydinverkkoon, jossa 5G-verkon liikennettä ei ohjata edellisen sukupolven tekniikan läpi. Asioiden internetistä eli IoT:sta kirjoitetaan paljon, mutta toistaiseksi sitä ei vielä ole johtuen 5G-verkon puutteista. IoT:ssa verkkoon liittyneiden laitteiden määrä on niin suuri, että tämänhetkisellä kapasiteetilla verkko ei kykenisi palvelemaan kaikkia, eikä sen peittoalue ole tarpeeksi kattava. Asiat eivät yleensä tapahdu hetkessä ja siirtyminen 5G-verkon laajempaan hyödyntämiseen voi kestää vielä 2020-luvun loppuun asti.

Teollisuudessa suhtaudutaan nuivasti suuriin muutoksiin, koska ne johtavat aina irtisanomisiin tai kokonaisten tehtaiden lakkauttamiseen. Digiloikan ottaminen kuuluu suurten muutosten kategoriaan, koska se tarkoittaa käytännössä liiketoiminnan ajattelemista uudella tavalla, investointien lisääntymistä ja demograafisia muutoksia. Edellisten lisäksi yritysten pitäisi ratkaista tietoturvaan liittyviä haasteita, kun dataa siirretään automaattisesti laitteilta ja tehtailta toiselle avoimessa langattomassa verkossa. Teollisuus 4.0:sta on olemassa muutamia esimerkkejä, joista Ericssonin täyden mittakaavan tehdas Yhdysvalloissa on kenties merkittävin. Tehdas valmistaa 5G-infrastruktuuriin liittyviä tuotteita, jotta IoT:lle ja seuraavan sukupolven teollisuudelle olisi edellytyksiä. Juuri Ericssonin kaltaisia pioneereja tarvitaan näyttämään muille esimerkkiä ja valmistamaan tarvittavaa teknologiaa, jotta visioista tulisi konkretiaa.

Tämän työn tutkimuskysymykset koskivat neljännen teollisen vallankumouksen merkitystä yrityksille ja siihen liittyviä haasteita. Lisäksi halusin haastaa tutkittavan aiheen tekemällä vertailua vaihtoehtoisen tiedonsiirtotekniikan ja 5G:n välillä. Vertailusta jäi sellainen kuva, että Wi-Fi 6 olisi samalla viivalla 5G-teknologian kanssa, mutta toisaalta se häviäisi tietyissä ominaisuuksissa, kuten todentamisessa ja turvallisuudessa 5G:lle. Lukemieni julkaisujen perusteella vahvistui kuva, että edellä mainitut teknologiat eivät sulkisi toisiaan pois, vaan toimisivat rinnan digitalisoituvassa maailmassa. On mielenkiintoista nähdä kuinka kauan Wi-Fi:stä viitsitään puhua, kun 5G-verkko kasvaa ja valtaa elintilaa pääasiallisena laajakaistayhteytenä kotitalouksissa ja ehkä pian myös teollisuudessa. Neljäs teollinen vallankumous on varmasti tapahtumassa jossain vaiheessa ja 5G tulee olemaan vahvasti osa sitä, mutta tulokset ovat nähtävissä vasta useiden vuosien päästä. On hyvä pitää

mielessä, että moni 5G-verkosta ja tulevaisuuden teollisuudesta kirjoitettu julkaisu sisältää paljon spekulointia potentiaalista, mutta vähän todellisuutta.

Opinnäytetyöprosessin aikana olen oppinut hyödyntämään monipuolisesti erilaisia lähteitä tiedon hankkimisessa ja koen, että kirjalliset valmiuteni ovat kehittyneet jonkin verran. Olen pyrkinyt kiinnittämään erityisen paljon huomiota lauseiden rakenteeseen ja koherenttiin kokonaisuuteen. 5G-verkoista ja neljänneestä teollisesta vallankumouksesta olen oppinut paljon uutta ja toivon, että tämä työ voisi toimia jonkinlaisena suppeana yleisteoksena niille, jotka aiheesta ovat kiinnostuneita. Jatkotutkimusehdotukseni liittyy 5G:stä seuraavaan 6G-sukupolveen ja miten se tulee muovaamaan yhteiskuntaa.

Lähteet

5G explained – how 5G works. Luettavissa: <http://www.emfexplained.info/?ID=25916#What%20is%205G>. Luettu: 16.1.2022.

Ailisto, H., Heikkilä, E., Helaakoski, Heli., Neuvonen, A., Seppälä, T. 2018. Tekoälyn kokonaiskuva ja osaamiskartoitus. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 46/2018. Valtioneuvoston kanslia. Luettavissa: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/160925/46-2018-Tekoalyn%20kokonaiskuva.pdf>. Luettu 24.2.2022.

Ailisto, H., Mäntylä, M., Seppälä, T., Collin, J., Halén, M., Juhanko, J., Jurvansuu, M. 2015. Suomi – Teollisen Internetin Piilaakso. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 4/2015. Valtioneuvosto. Helsinki. Luettavissa: http://www.vtt.fi/img/Media/Uutiset/2015/Suomi_Teollisen_Internetin_Piilaakso.pdf. Luettu: 16.1.2022.

AMFG. 2019. Industry 4.0: 7 Real-World Examples of Digital Manufacturing in Action. Luettavissa: <https://amfg.ai/2019/03/28/industry-4-0-7-real-world-examples-of-digital-manufacturing-in-action/>. Luettu 20.3.2022.

Antenova. 2021. What is mMTC in 5G? How does it work? Luettavissa: <https://blog.antenova.com/what-is-mmtc-in-5g-how-does-it-work>. Luettu: 17.1.2022.

AT-T Business. 2020. Will 5G replace Wi-Fi? Luettavissa: <https://www.business.att.com/content/dam/attbusiness/briefs/WiFi-vs-5G-Retail.pdf#page=1&zoom=auto,-37,798>. Luettu 23.3.2022.

Bosch. Leading in 5G technology – Worcester Bosch launches first 5G factory trial. Luettavissa: <https://www.bosch.co.uk/internet-of-things/leading-in-5g-technology/>. Luettu 6.4.2022.

Buyya, R. Srirama, S.N. 2019. Fog and Edge Computing. John Wiley & Sons, Inc.

Celitech. 2021. 5G versus Wi-fi 6: What are they and how do they differ? Luettavissa: <https://celitech.com/5g-versus-wi-fi-6-what-are-they-and-how-do-they-differ/>. Luettu 9.4.2022.

DNSstuff. 2019. How to Stop, Prevent, and Protect Yourself from a DDoS Attack. Luettavissa: <https://www.dnsstuff.com/prevent-ddos-attack>. Luettu 20.2.2022.

Elisa. Elisan mobiiliverkon nopeudet. Luettavissa: <https://elisa.fi/asiakaspalvelu/aihe/matkapuhelinliittymat/ohje/verkon-nopeudet/>. Luettu 23.3.2022.

Ericsson. Ericsson USA 5G Smart Factory. Luettavissa: <https://www.ericsson.com/en/about-us/company-facts/ericsson-worldwide/united-states/5g-smart-factory>. Luettu 9.4.2022.

Frère, E., Zureck, A., Röhring, K. 2018. Industry 4.0 in Germany – The obstacles regarding smart production in the manufacturing industry. ResearchGate. Luettavissa: <https://www.researchgate.net/publication/327130483>. Luettu 9.3.2022.

Gartner. 2022. Gartner Top Strategic Technology Trends for 2022. Luettavissa: <https://www.gartner.com/en/information-technology/insights/top-technology-trends>. Luettu 23.2.2022.

Hermann, M., Otto, B., Pentek, T. 2015. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review. Technische Universität Dortmund. Luettavissa: https://www.researchgate.net/publication/307864150_Design_Principles_for_Industrie_40_Scenarios_A_Literature_Review. Luettu 16.1.2022.

Järvinen, M. Joulukuu 2013. Mobiiliverkkojen kehitys. Luettavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/68899/Jarvinen_Mika.pdf;jsessionid=13EB64BA3F46A85D697CB034FDD9553C?sequence=2. Luettu 16.1.2022.

Kagermann, H., Wahlster, W., Helbig, J. 2013. Securing the future of German manufacturing industry. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Final report of the Industrie 4.0 Working Group. Federal Ministry of Education and Research. Luettavissa: <https://www.din.de/blob/76902/e8cac883f42bf28536e7e8165993f1fd/recommendations-for-implementing-industry-4-0-data.pdf>. Luettu 16.1.2022.

Kangasniemi, M., Utriainen, K., Ahonen, S. M., Pietilä, A. M., Jääskeläinen, P., & Liikainen, E. 2013. Kuvaileva kirjallisuuskatsaus: eteneminen tutkimuskysymyksestä jäsennettyyn tietoon. Sairaanhoitajien koulutussäätiö 2013. Helsinki. S. 291-301.

Kavanagh, S. 2021. What is enhanced Mobile Broadband (eMBB). Luettavissa: <https://5g.co.uk/guides/what-is-enhanced-mobile-broadband-embb/>. Luettu 18.1.2022.

KUKA Robotics corporation. Global Megatrends Shaping the Future of Production: Demographic Change. Luettavissa: <https://www.kuka.com/en-us/future-production/sfpl/mega-trends/demographic-change>. Luettu 15.3.2022.

Lehtiniitty, M. 2021. Näin eri operaattorit kertovat nyt 5G-verkkojensa laajuudesta Suomessa. Teknavi. Luettavissa: <https://teknavi.fi/digi/uutinen-digi/nain-eri-operaattorit-kertovat-nyt-5g-verkkojensa-laajuudesta-suomessa/>. Luettu 29.3.2022.

Lema, M.A., Laya, A., Mahmoodi, T., Cuevas, M., Sachs, J., Markendahl, J., Dohler, M. 26.04.2017. Business Case and Technology Analysis for 5G Low Latency Applications. IEEE. s. 5917–5935. Luettavissa: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7912382>. Luettu: 18.1.2022.

Lindström, S. 17.6.2021. Blogi: Reunalaskenta. IteWiki, Luettavissa: <https://www.ite-wiki.fi/blog/2021/06/reunalaskenta-ja-edge-ai-tulevat-helpottamaan-datan-kasittelya/>. Luettu 27.2.2022.

Liyanage, M., Ahmad, I., Bux Abro, A., Gurtov, A., Ylianttila, M. 2018. Comprehensive guide to 5G security. John Wiley & Sons, Inc.

Looper, C. 2021. 5G vs. Wi-fi: How they're different and why you'll need both. Digitaltrends. Luettavissa: <https://www.digitaltrends.com/mobile/5g-vs-wi-fi/>. Luettu 22.3.2022.

Mesiä, M. 11.3.2022. Mikä on 5G? Kokosimme kaiken tarpeellisen verkkoteknologiasta. Techradar.com. Luettavissa: <https://global.techradar.com/fi-fi/news/mika-on-5g>. Luettu 12.4.2022.

Mittal, S., Tolk, A. 2019. Complexity Challenges in Cyber Physical Systems. Wiley. E-kirja. Luettu: 20.2.2022.

Myllymäki, J. 31.01.2019. 5G-verkko tulee ja muuttaa maailmaa — oletko valmis? Luettavissa: <https://johannesmyllymaki.fi/5g-verkko-tulee-ja-muuttaa-maailmaa-oletko-valmis/>. Luettu 16.1.2022.

NGMN Alliance. 17.02.2015. NGMN 5G White Paper. Luettavissa: https://www.ngmn.org/wp-content/uploads/NGMN_5G_White_Paper_V1_0.pdf. Luettu 30.01.2022.

Nokia. 2022. Network Slicing explained. Luettavissa: <https://www.nokia.com/about-us/newsroom/articles/network-slicing-explained/>. Luettu 29.3.2022.

Osseiran A., Boccardi F., Braun V., Kusume K., Marsch P., Maternia M., Queseth O., Schellmann M., Schotten H., Taoka H., Tullberg H., Uusitalo M.A., Timus B., Fallgren M. 19.05.2014. IEEE Communications Magazine, vol. 52, nro. 5. Scenarios for 5G mobile and wireless communications: the vision of the METIS project. Luettavissa: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6815890>. Luettu: 16.1.2020.

Peuhkuri, M. 2021. Tunnisteet ja tietosuojat – Anonymisointi ja sen rajat. Traficom. Luettavissa: <https://www.kyberturvallisuuskeskus.fi/sites/default/files/media/publication/Tunnisteet%20ja%20tietosuojat.pdf>. Luettu 17.3.22.

Russell, S. ja Norvig, P. 2014. Artificial intelligence – A Modern Approach. Prentice Hall. Luettavissa: <https://www.cin.ufpe.br/~tfl2/artificial-intelligence-modern-approach.9780131038059.25368.pdf>. Luettu. 24.2.2022.

Simonsson, E. Ericsson's smart factory brings the 5G revolution to the U.S. Techcrunch.com. Luettavissa: <https://tcrn.ch/2MIATEu>. Luettu 9.4.2022.

Tietosuojavaltuutetun toimisto. Tietosuojaperiaatteet. Luettavissa: <https://tietosuojat.fi/tietosuojaperiaatteet>. Luettu 17.3.2022.

VR. Intercity. Luettavissa: <https://www.vr.fi/junat/intercity>. Luettu 10.4.2022.

Yle, Kainulainen, J. 2021. Kilpailu IT-alan huippuosajista käy kuumana – pohjoiskarjalainen Dimitri Kudinov sai Amazonilta tarjouksen, josta ei voinut kieltäytyä. Luettavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-12046443>. Luettu 16.3.2022.

Yle, Ruuskanen, L. 2021. Metallialan yrityksillä on vaikeuksia löytää työntekijöitä Pohjois-Savossa. Luettavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-11931130>. Luettu 15.3.2022.

Liitteet

Liite 1: Autonomisuuden vaiheet

Taulukko 1. Autonomisuuden vaiheet. (Mukaillen Mittal, Torp 2019).

	Tavoitteet ohjaavat autonomisesti toimivaa tekijää ja niihin päästään seuraavien vaiheiden avulla:
Aistiminen	Autonominen tekijä tekee havaintoja itsestään ja ympäristössä hyödyntäen erilaisia sensoreita.
Datan tulkitseminen	Autonominen tekijä muuntaa raakadatan hyödynnettävään muotoon päätöksenteon tueksi.
Rationalisointi	Autonominen tekijä järjeistää informaation hyödyntäen määriteltä logiikkaa ja vertaamalla informaatiota tekijän sisäiseen tilaan, ympäristöön ja tavoitteisiin.
Päätöksen Teko	Autonominen tekijä valitsee kuhunkin tilanteeseen sopivat toimet päästäkseen tavoitteisiinsa.
Arviointi	Autonominen tekijä arvioi toimiensa vaikutusta tavoitteeseen.
Sopeutuminen	Autonominen tekijä kykenee sopeuttamaan toimintonsa tilanteen vaatimalla tavalla, jotta tavoitteet täyttyvät.