

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT

School of Engineering Science

Tietotekniikan koulutusohjelma

Eetu Nikkilä

Kandidaatintyö

## **5G TEKNOLOGIAN MAHDOLLISUUDET JA VAIKUTUKSET OHJELMISTOKEHITYKSEN NÄKÖKANNALTA**

Työn tarkastajat: Assoc. Prof. Ari Happonen

# TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT

School of Engineering Science

Tietotekniikan koulutusohjelma

Eetu Nikkilä

## **5G TEKNOLOGIAN MAHDOLLISUUDET JA VAIKUTUKSET OHJELMISTOKEHITYKSEN NÄKÖKANNALTA**

Kandidaatintyö 2020

32 sivua, 4 kuvaa

Työn tarkastajat: Assoc. Prof. Ari Happonen

Hakusanat: 5G-teknologia, Ohjelmistokehitys

Keywords: 5G-technology, software development

Tässä työssä analysoidaan 5G teknologian mahdollisia vaikutuksia ohjelmistokehitykseen. Tämä tapahtuu kirjallisuuskatsaukseen perustavana erillisten 5G ominaisuuksien ja 5G:n mahdollistavien teknologioiden mahdollisuudet ja vaikutukset analyysinä. Teksti käsittelee asiat melko yleisellä tasolla. Analyyseistä voidaan päätellä, että 5G on yleensä ottaen ohjelmistokehitystä edistävä asia, mutta sisältää riskinsä ja tulee todennäköisesti muuttamaan alan toimintatapoja hieman. Tulevaisuutta ennustavan aiheen takia tulokset ovat enimmänsä suuntaa antavia.

## **ABSTRACT**

Lappeenranta-Lahti University of Technology LUT  
School of Engineering Science  
Degree Programme in Software Engineering  
Eetu Nikkilä

### **5G BENEFITS AND IMPACTS FROM THE VIEWPOINT OF SOFTWARE DEVELOPMENT**

Bachelor's Thesis 2020

32 pages, 4 figures

Examiners: Assoc. Prof. Ari Happonen

Keywords: 5G-technology, software development

This document analyzes the potential impact of 5G technology on software development. This is done as an analysis of the potentials and impacts of separate 5G attributes and selected technologies that are being enabled by 5G and it is based on a literature review. The text deals with things on a general level. From the analyzes, it can be concluded that 5G implementation is generally an opportunity for software development, but it carries its own risks and is likely to change the way the industry operates slightly. Due to the predictive nature of the topic, the results are indicative at best.

# SISÄLLYSLUETTELO

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b> .....	<b>4</b>
1.1	TAVOITTEET .....	6
1.2	TYÖN RAJAUKSET .....	7
1.3	TUTKIMUSMENETELMÄT JA -AINEISTO.....	7
1.4	TYÖN RAKENNE .....	8
<b>2</b>	<b>KÄSITELTÄVÄT TEKNOLOGIAT</b> .....	<b>9</b>
2.1	5G ELI VIIDENNEN SUKUPOLVEN MOBIILIVERKKO .....	9
2.1.1	<i>5G:n kahdeksan määriteltäviä tavoitetta</i> .....	9
2.1.2	<i>5G-verkon rakenne</i> .....	11
2.1.3	<i>mmWave</i> .....	11
2.1.4	<i>Pieni solukoko</i> .....	12
2.1.5	<i>Massive MIMO ja beamforming</i> .....	13
2.2	IoT .....	14
2.2.1	<i>IoT ja 5G</i> .....	15
2.3	PALVELIMELLA TOIMIVAT OHJELMAT, SUORATOISTO, VR JA AR .....	15
2.3.1	<i>Palvelimella toimivat ohjelmat</i> .....	15
2.3.2	<i>Korkean resoluution suoratoisto ja streamaus</i> .....	16
2.3.3	<i>VR ja AR</i> .....	16
2.3.4	<i>5G VR ja AR teknologioissa</i> .....	17
2.4	ETÄTYÖSKENTELY .....	17
<b>3</b>	<b>VAIKUTUKSET JA MAHDOLLISUUDET OHJELMISTOKEHITYKSEEN</b> <b>19</b>	
3.1	OHJELMISTOKEHITYS .....	19
3.2	5G:N TUOTTAMAT MAHDOLLISUUDET OHJELMISTOKEHITYKSEEN .....	19
3.2.1	<i>Teknologiat</i> .....	20
3.2.2	<i>Ohjelmatarpeen kasvu</i> .....	20
3.2.3	<i>Laitteet</i> .....	21
3.3	5G:N VAIKUTUKSET OHJELMISTOKEHITYKSEEN .....	21

3.3.1	<i>5G:hen siirtyminen</i>	21
3.3.2	<i>Laatuvaatimukset</i>	22
3.3.3	<i>Tietoturva</i>	22
3.3.4	<i>Yhteistyö</i>	22
3.3.5	<i>Teknologioiden ongelmat</i>	23
3.3.6	<i>5G-verkon aiheuttamat huolet</i>	23
<b>4</b>	<b>POHDINTA, TULOKSET JA YHTEENVETO</b>	<b>24</b>
	<b>LÄHTEET</b>	<b>26</b>

## **SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO**

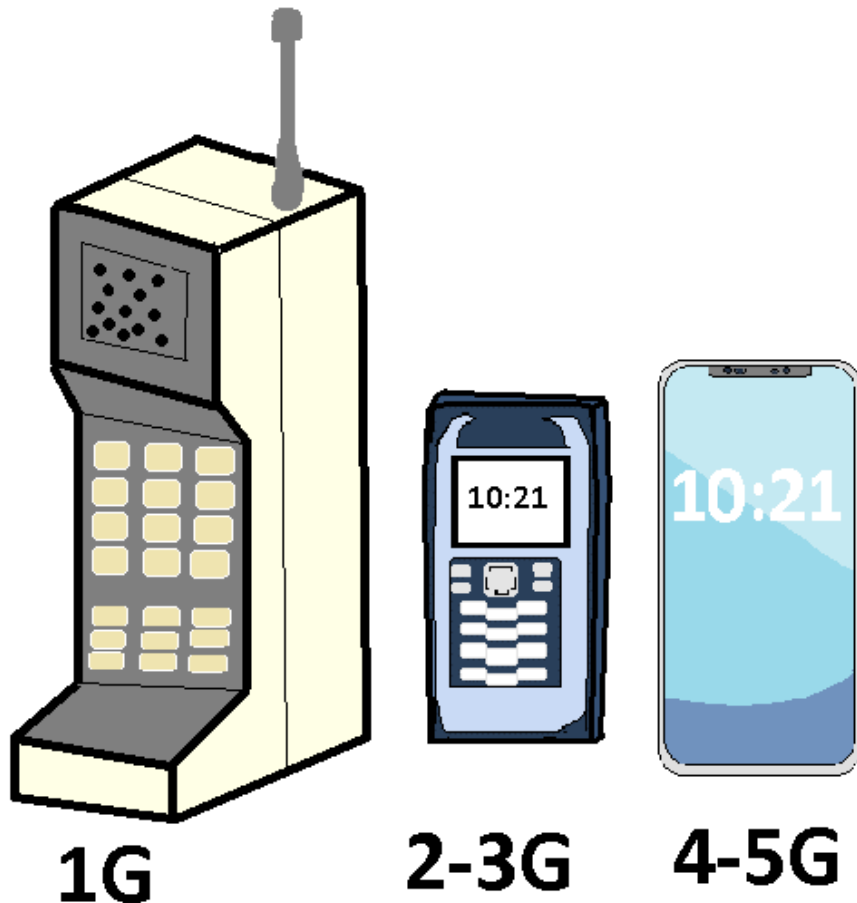
1G	First Generation
2G	Second Generation
3G	Third Generation
4G	Fourth Generation
5G	Fifth Generation
AR	Augmented Reality
B2B	Business-to-business
HPE	Hewlett Packard Enterprise
IoT	Internet of Things
LUT	Lappeenranta University of Technology
MIMO	Multiple Input Multiple Output
QoE	Quality of Experience
SDN	Software-defined networking
VR	Virtual Reality

# 1 JOHDANTO

Digitalisoituminen on radikaali muutos yhteiskunnassa, jonka tahti on vain kiihtynyt vuosien kuluessa. Digitalisoitumisen kasvu voidaan eritellä kahdelle rintamalle. Nämä ovat mm. elektroniikan pienentymisestä seuraava kasvu kuluttajarintamalla sekä teollisuudessa tapahtuva digitaalinen transformaatio eli teknologian aiheuttamat liiketoiminta muutokset, jotka auttavat yrityksiä pysymään kilpailukykyisinä ja muuttavat perinteisiä toimintatapoja [1]. Digitalisaatiota vauhdittaa tiedonsiirron nopeutuminen, internetin leviäminen ja siitä seuraavien palveluiden määrän kasvu [2], niin yritysmarkkinoilla ja B2B (Business-to-business) liiketoiminnassa [3], kuin uusissa teknologiateollisuuden palvelutuotteissa. Myös mobiiliverkkojen kehityksellä katsotaan olevan suuri merkitys digitalisoitumiseen [2] teollisuudessa, julkisella sektorilla sekä päivittäisen yhteiskunnan toiminnassa [4]. Mobiiliverkkojen kehityksellä on Suomessa tapahtuvan teollisen tutkimuksen ja Nokian historian kautta hyvät taustat [5]. Mobiiliverkkojen tavoitteena on tarjota laadukasta kommunikointia langattomasti ja sen jokainen sukupolvi esittää selvää kehitysaskelta tällä alalla.

Nämä sukupolvet voidaan katsoa alkavan vuonna 1979 käyttöön otetusta 1G:stä (First Generation) ja nyt 2020-luvulla ollaan siirtymässä viidenteen sukupolveen eli 5G:hen (Fifth Generation). 1G:tä edelsi 1940-luvulla kehitetyt niin sanotut nollannen sukupolven matkapuhelinteknologiat. Nämä teknologiat voidaan pitkälti katsoa olevan mobiileja radiopuhelimia, joiden ongelmana oli puhelujen katkeaminen tukiaseman vaihtuessa ja puhelinjärjestelmät olivat usein kiinnitettyjä autoihin. Tähän verrattuna 1G:n suurin etu oli puheluiden siirtyminen tukiasemalta toiselle. 1G verkot alkoivat myös käyttämään digitaalisia signaaleja, mutta ääni lähetettiin vielä analogisesti. Vuonna 1991 käyttöön otettu 2G (Second Generation) siirtyi digitaaliseen signaaliin, joka paransi äänenlaatua ja mahdollisti uusia asioita kuten tekstiviestejä ja signaalin salauksen. Se loi perustan monelle tekniikalle, kuten matkapuhelimen internetyhteydelle, mutta 2G verkon internet palvelut mahdollistuivat vasta vuonna 2001 julkaistun 3G (Third Generation) verkon leviämisen jälkeen. 3G oli useita kertoja nopeampi ja parempaa kaistanleveyttä tarjoava kuin edellinen 2G. Tämä mahdollisti matkapuhelimille ominaisuuksia, kuten video konferenssit, internetin

selaamisen ja Online pelit. Vuonna 2009 julkaistu 4G (Fourth Generation) oli tekniikka, jonka verkot toimivat täysin internet pohjaisesti. Se teoreettisesti tarjosi monen kymmenkertaisia nopeuksia verrattuna 3G:hen [6], mutta käytännössä se oli alussa noin 2–3 kertaa nopeampi ja teknologian kehittyessä ero hitaasti nousi lähemmäksi teoreettisia arvoja. [7]



**Kuva 1.** Esimerkki matkapuhelimien ulkoisesta muutoksesta mobiiliverkkojen kehittyessä.

5G on 4G:tä seuraava uusi leviävä mobiiliverkkoteknologia, jonka tavoitteena on parantaa verkkojen tiedonsiirtokykyä ja kapasiteettia [8]. 5G on leviämässä nopeasti ja useat mobiilioperaattorit ovat alkaneet jo tarjoamaan 5G valmiita älypuhelimia ja aikaisia versioita leviävästä 5G verkosta Suomen suurimmissa kaupungeissa [9]. Teoreettisesti tämän verkon edut mahdollistavat monen asian automatisointia ja toteuttamistavan muutoksia ja parannuksia. Teknologiat, kuten IoT (Internet of Things), AR (Augmented Reality), VR (Virtual Reality), videon suoratoisto, automatisointi ja etätyöskentely hyötyvät 5G tuottamista mahdollisuuksista. Näiden teknologioiden kehitys luo paljon uusia tarpeita ja



mahdollisuuksia ohjelmistokehityksessä. Kuitenkin näiden teknologioiden käytännölliseen toteutukseen vaaditaan tehokas ja luotettava internet yhteys sekä hyvin toimivia, optimoituja ja yhteensopivia ohjelmia. 5G verkon odotetaan vastaavan näihin vaatimuksiin ja tämän uskotaan muokkaavan ohjelmistokehitystä ja sen tarjoamia mahdollisuuksia merkittävästi [10].

Internetiin yhdistyvien ja siitä riippuvaisten laitteiden määrän noustessa ja niiden monimuotoisuuden kasvaessa erityisesti testaamisen, yhteensopivuuden, yksityisyyden ja turvallisuuden vaatimukset nousevat merkittävästi ja eri yritysten odotetaan lisäävän tapahtuvan yhteistyön määrää. Myös 5G:hen vähittäisen siirtymisen tuottamat ongelmat ja rajoitukset on otettava huomioon ohjelmankehityksessä [11].

## **1.1 Tavoitteet**

Tämän työn tavoitteena on tarjota teoreettinen analyysi 5G verkon tuottamista haasteista ja mahdollisuuksista ohjelmistokehityksen ja ohjelmistoteollisuuden näkökannalta. Työ esittelee yleisellä tasolla 5G verkon ominaisuuksia ja niistä seuraavia teknologisia mahdollisuuksia sekä näiden mahdollisuuksien aiheuttamia vaikutuksia ja ongelmia ohjelmistokehityksen alalle.

Täten päätutkimuskysymys on:

- Minkälaisia vaikutuksia 5G verkon leviäminen aiheuttaa ohjelmistokehitykseen?

Apututkimuskysymys on:

- Mitä teknologioita 5G verkko tulee mahdollistamaan tai parantamaan merkittävästi?

Näitä kysymyksiä hyödyntäen työ tulee rakentumaan alkaen teoriaosuudesta. Teoriaosuudessa esitellään käsiteltäviksi valitut teknologiat hyvin yleisellä tasolla yksi kerrallaan. Tämän jälkeen analysoidaan näiden teknologioiden ja erityisesti 5G verkon aiheuttamia vaikutuksia ohjelmistokehitykseen.

## 1.2 Työn rajaukset

5G verkkoihin liittyvien teknologioiden määrän takia työn aihe voidaan katsoa todella laajaksi, joten siinä tarvitaan selkeät rajat. Valitut rajat perustuvat tavoitteeseen pysyä lähitulevaisuudessa ja realistisissa asia-alueessa priorisoiden isompia ja paljon tutkittuja teknologioita välttämällä liian utooppisia ideoita. Sekä tavoitteeseen pysyä asioissa, joilla on selvä yhteys ohjelmistokehitykseen. Rajaukset ovat:

- 5G verkoista keskitytään niihin asioihin, jotka suoraan vaikuttavat ohjelmistokehitykseen sekä valittuihin teknologioihin ja vältetään muita asioita kuten sen mahdollisia ympäristö- tai terveysvaikutuksia.
- Työ keskittyy pieneen määrään valittuja teknologioita, joilla on selkeä yhteys 5G verkkoihin ja ohjelmistokehitykseen.
- Nämä teknologiat on tarkoituksena esitellä vain yleisesti pysyen erossa niiden yksityiskohtaisista teknisistä toteutuksista ja välttämällä niihin liittyviä asioita, joilla ei ole selkeää yhteyttä 5G verkkoihin ja ohjelmistokehitykseen.
- Työssä käsitellään ohjelmistoteollisuutta vain ohjelmistokehityksen muutosten kannalta, kuten yritysten välisen yhteistyön tarve, ja pysytään erossa markkinoista, kilpailusta ja muista talouspuolen asioista.
- Työ mainitsee, mutta minimoi, aikaisemmasta 4G (4th Generation) verkosta 5G verkkoon siirtymisestä seuraavien käytännön ongelmien asioiden käsittelyä.

Tarkoituksena on pitää työ karkeana yleiskatsauksena aiheeseen, joka esittelee 5G verkkoa ja sen mahdollistamia teknologioita sekä niiden aiheuttamia muutoksia ohjelmistokehitykseen. Tämä tapahtuu mahdollisuudet ja vaikutukset analyysinä.

## 1.3 Tutkimusmenetelmät ja -aineisto

Tämä työ on kirjallisuuskatsaukseen perustuva analyysi eli tutkimusaineistona käytetään pääosin LUT Primosta, joka sisältää useita tutkimustietokantoja, ja Google Scholarista löytyvää aiheeseen liittyvää aineistoa. Kuten E-kirjoja, artikkeleita ja muita tutkimuspapereita. Näistä valittiin sopivampia tuloksia, keskittyen viimeisen 5 vuoden aikana julkaistuihin artikkeleihin. Koska 5G teknologia on uusi ja jatkuvasti kehittyvä

teknologia, yritetään välttää vanhentunutta tietoa aiheesta. Myös yleistä lähdekritiikkiä noudattaen voidaan käyttää muita verkkosivuja, kuten jo 5G:tä tutkivien, myyvien tai käyttävien yritysten verkkosivuja. Kandidityön rakenteen mallinnuksena tullaan käyttämään muita vanhoja kandiditoita ja LUT:n opinnäytetyön ohjetta.

Sopivaa materiaalia etsittiin yhdistellen hakusanoja kuten: 5G, Development, Software, IoT, VR, Challenges, Testing, Security, Location, Data, Possibilities, Application, Considerations, Remote, mmWave, massive MIMO, Problems. Näillä hakusanoilla aineistoa löytyi paljon, joista sitten valittiin työhön sopivimmat aikaisempia rajauksia noudattaen.

#### **1.4 Työn rakenne**

Tämä työ koostuu neljästä luvusta. Ensimmäinen luku sisältää johdannon, joka esittelee työn aiheen, taustat ja rakenteen. Toisessa luvussa käydään läpi 5G sekä muut käsiteltäviksi valitut teknologiat. Kolmannessa luvussa analysoidaan 5G:n ja valittujen teknologioiden vaikutuksia ja mahdollisuuksia ohjelmistokehityksen kannalta. Viimeinen luku sisältää saatujen tulosten analysoinnin, yleisen pohdinnan ja yhteenvedon.

## 2 KÄSITELTÄVÄT TEKNOLOGIAT

Tässä luvussa esitellään 5G teknologia ja sen teoriaa. Käsitellään lyhyesti tutkittaviksi valitut teknologiat sekä niiden yhteys 5G:hen.

### 2.1 5G eli viidennen sukupolven mobiiliverkko

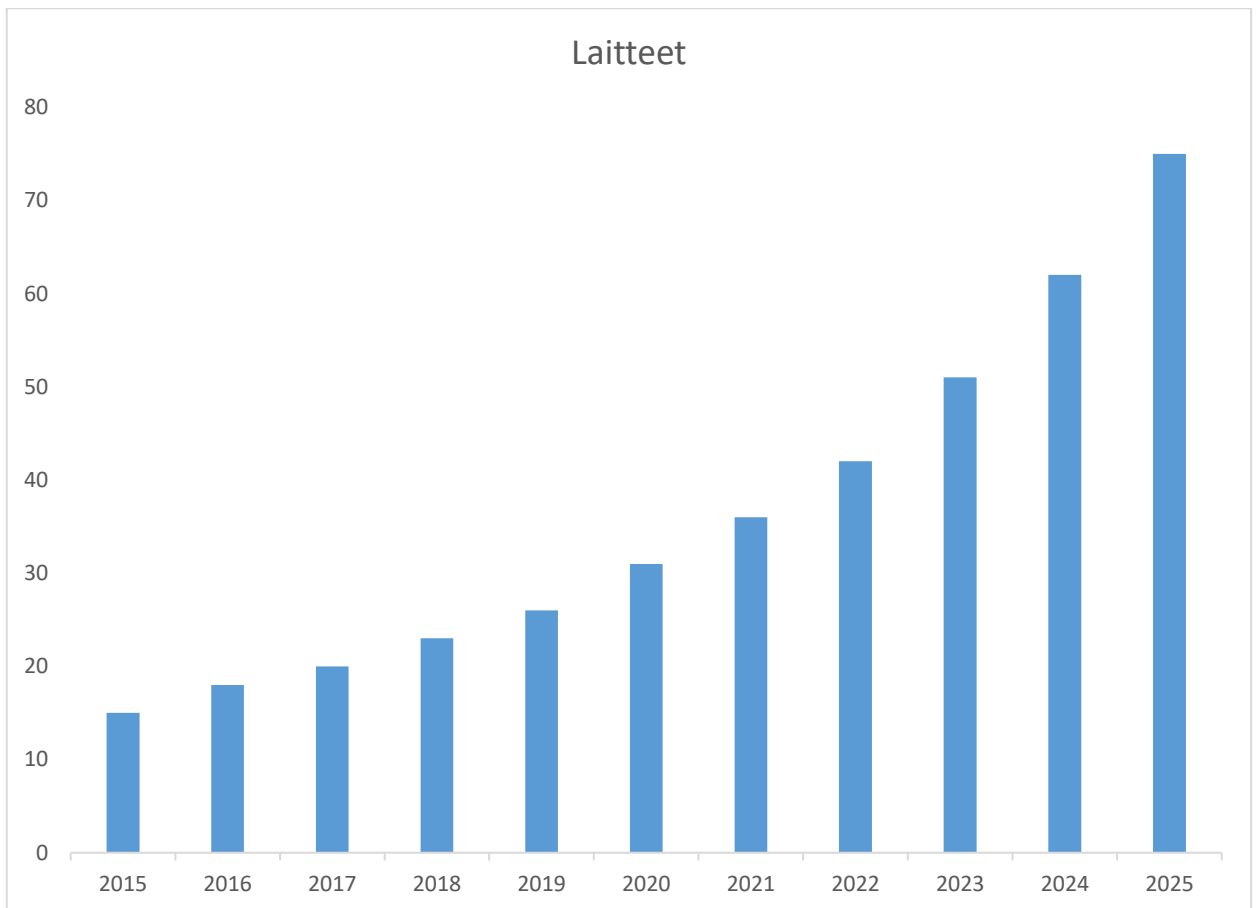
5G on viidennen sukupolven langaton mobiiliverkkoteknologia. Sitä kehitetään jatkuvasti ja sen odotetaan leviävän yleiseen käyttöön lähivuosina. Sen tarkoituksena on vastata maailman kasvaviin vaatimuksiin ja täten korvata edellinen 4G niin tehokkaimpana kuin yleisimpänä nykyaikaisena mobiiliverkkona. Suomessa aikaisia versiota 5G:stä tarjotaan jo useissa kaupungeissa ja verkko leviää jatkuvasti [9].

#### 2.1.1 5G:n kahdeksan määriteltyä tavoitetta

5G-verkon kehitystä ohjaamassa on usein käytetty kahdeksaa määriteltyä tavoitetta. Nämä tavoitteet vaihtelevat hieman lähteen mukaan, mutta sisältävät asioita kuten 4G:hen verrattuna reilusti pienempi viive, 10–100 kertainen teoreettinen nopeus, 1000 kertainen kaistanleveys, 100 kertainen laitteiden määrä, lähes täydellinen ylläpito ja täydellinen kuuluvuus yhdistettynä kahteen yleisempään tavoitteeseen siedettävästä energiankulutuksesta ja hyvästä käyttökokemuksesta.

Tämä minimaalinen viive arvioidaan olevan keskimäärin alle 10 ms ja parhaimmillaan jopa alle yhtä millisekuntia. Vertailukohtana 4G verkon viive oli keskimäärin noin 50ms. Näin pieni viive mahdollistaa lähestulkoon reaaliaikaista kommunikointia laitteiden välillä. Reaaliaikainen kommunikointi on monen uuden teknologian mahdollistajana ja täten muuttaa 5G:n verkosta, joka tekee asioita nopeammin kuin 4G verkoksi, joka mahdollistaa täysin uusia asioita. Internet of things, joka käsitellään myöhemmin tässä luvussa, on hyvä esimerkki tämänlaisesta teknologiasta. Verkon 10–100 kertainen nopeus tarkoittanee 1-10GBps verkon teoreettista nopeutta. Tällä nopeudella voi Consumer Technology Associationing mukaan ladata noin 2 tuntia kestäväen elokuvan 3.6 sekunnissa verrattuna noin 6 minuuttiin 4G yhteyden nopeuksilla. Käytännössä nopeuden uskotaan olevan usein 100 Mbps ja 300 Mbps välillä, mikä on nopeampi kuin 4G:n yleiset nopeudet 20–100 Mbps välillä. Kaistanleveyden kasvu mahdollistuu ottamalla käyttöön enemmän

taajuuksia. 4G verkko käyttää alle 6GHz taajuuksia, kun 5G verkon taajuuden nousevat alustavasti 100GHz ja mahdollisesti jopa 300GHz asti. Se vähentää verkon hidastumista useiden samanaikaisten käyttäjien kanssa ja auttaa 5G verkkoa saavuttamaan isoja nopeuksia. Kaistanleveyden koon on myös tarkoituksena mahdollistaa moninkertainen määrä samanaikaisia yhdistettyjä laitteita. Tämä on tarpeellista maailman internettiin yhdistettyjen laitteiden määrän räjähtävän kasvun takia. Kuitenkin näihin standardeihin ei olla vielä päästy ja nykyiset 5G verkot ja puhelimet eivät kykene käyttämään koko taajuusaluetta luotettavasti. Tämä tarkoittaa, että monet 5G verkon edut edelliseen 4G verkkoon verrattuna eivät ole edellä mainittujen tavoitteiden mukaisesti huomattavia varsinkaan verkon alkuaikoina [12].



**Kuva 2.** Arvio kaikkien internettiin yhdistyneiden laitteiden määrästä biljoonissa globaalisti [13].

### 2.1.2 5G-verkon rakenne

5G-verkko rakentuu mobiiliverkolle tyypillisesti soluista, joissa jokainen käyttäjä kommunikoi solun tukiaseman kanssa. Tukiasemat tulevat käyttämään eri taajuuksisia 5G alueita. Isoimmilla taajuuksilla on suurimmat nopeudet mutta lyhin kantama, kun taas pienimmillä taajuuksilla on isompi kantama mutta pienemmät nopeudet. Pienen taajuuden verkkoa käyttäessä voi 5G edut 4G:hen verrattuna olla vain marginaalisia [14].

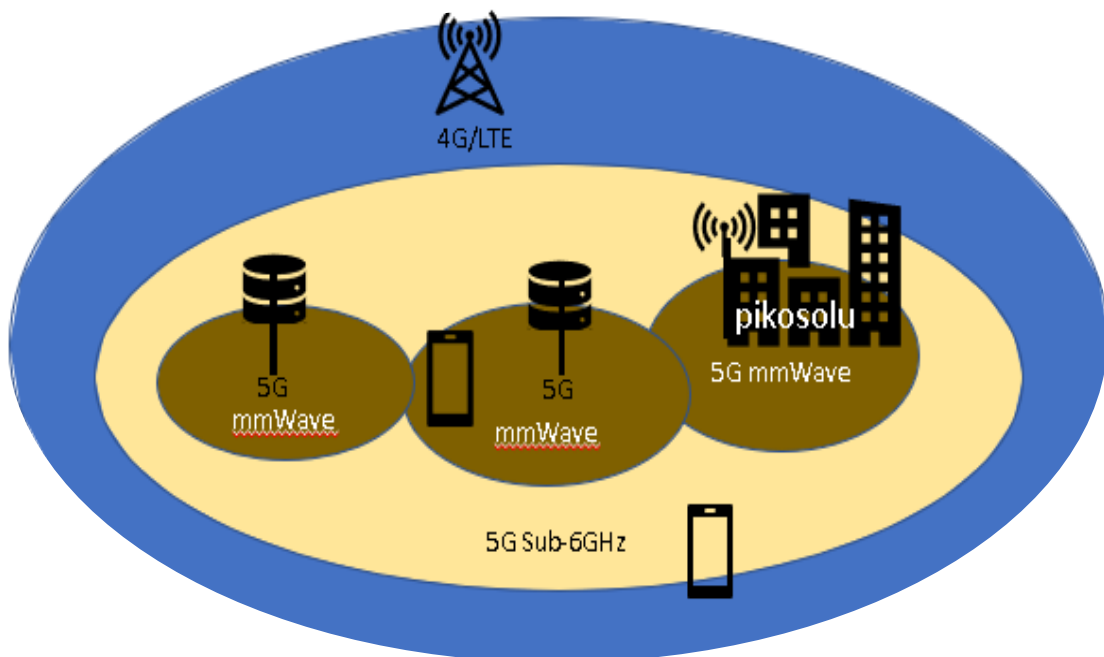
5G-verkko toteutuu software pohjaisella arkkitehtuurilla. Tämä arkkitehtuuri SDN (Software Defined Networking) tarkoittaa järjestelmää, jonka ideana on siirtää datan ohjaus verkossa software tasolle ja näin tehdä datavirran hallinnasta helpommin ohjelmoitavaa eli muokattavaa. Se mahdollistaa 5G:n verkon viipalointia (network slicing), minkä avulla voidaan määrittää oma tilanteeseen sopiva verkkoarkkitehtuuri [15]. Tämä mahdollistaa dynaamisen ohjelmoinnin erillisten verkkokerrosten käyttöön eri sovelluksille. Kuitenkin tämä verkkoteknologia voi luoda aivan uudenlaisia tietoturva ongelmia [11].

### 2.1.3 mmWave

Isoimpia 5G:ssä käytettäviä taajuusalueita kutsutaan mmWave-taajuuksiksi (millimetriaalto). Näitä taajuuksia tarvitaan luomaan verkolle enemmän tajuustilaa. mmWave alueella käytetyt taajuudet ovat 30GHz-300GHz eli aallonpituus on 1–10 mm. Tämä lyhyt aallonpituus nopeuttaa sen ilmassa tapahtuvaa häviämistä ja sillä todettu olevan huono läpäisykyky yleisten rakennusmateriaalien kanssa, mikä aiheuttaa sen on huonon kantavuuden. Tämän takia mmWave teknologia sopii parhaiten sisätiloihin tarjoamaan todella nopeaa verkkoa muutaman huoneen kokoisilla alueilla. 5G verkkoja suunniteltaessa on otettava huomioon korkeiden taajuuksien huono kantama ja varmistettava signaalien eteneminen [10].

#### 2.1.4 Pieni solukoko

Kantavuudesta aiheutuvien ongelmien ratkaisussa auttaa 5G:n koostuminen pienemmistä soluista. Näitä soluja voidaan muokata ja sijoitella tarpeen mukaan halutulle peitealueelle. Näitä soluja ovat niin suurenkantaman makrosolut, pienempinä tukiasemina toimivat mikrosolut sekä kuuluvuutta edistävät pikosolut. Pikosolujen avulla voidaan myös auttaa kuuluvuutta rakennusten sisällä. Iso solujen määrä myös tarkoittaa käyttäjän keskimääräisen etäisyyden tukiasemasta minimointia ja yksittäisen tukiaseman kuormituksen vähentämistä, mikä vähentää viivettä ja parantaa tiedonsiirtoa [14]. Kuitenkin iso määrä tukiasemia on niin verkon rakentamisen ja energiankulutuksen kannalta haastavaa ja kallista. Päätelaitteiden tulee kyetä vaihtamaan tukiasemasta toiseen tehokkaasti ilman isompaa häiriötä yhteydessä. Lisäksi vanhoja 4G verkkoja tullaan todennäköisesti käyttämään täydentämään alueita, joihin 5G verkon kantavuus ei riitä [10].



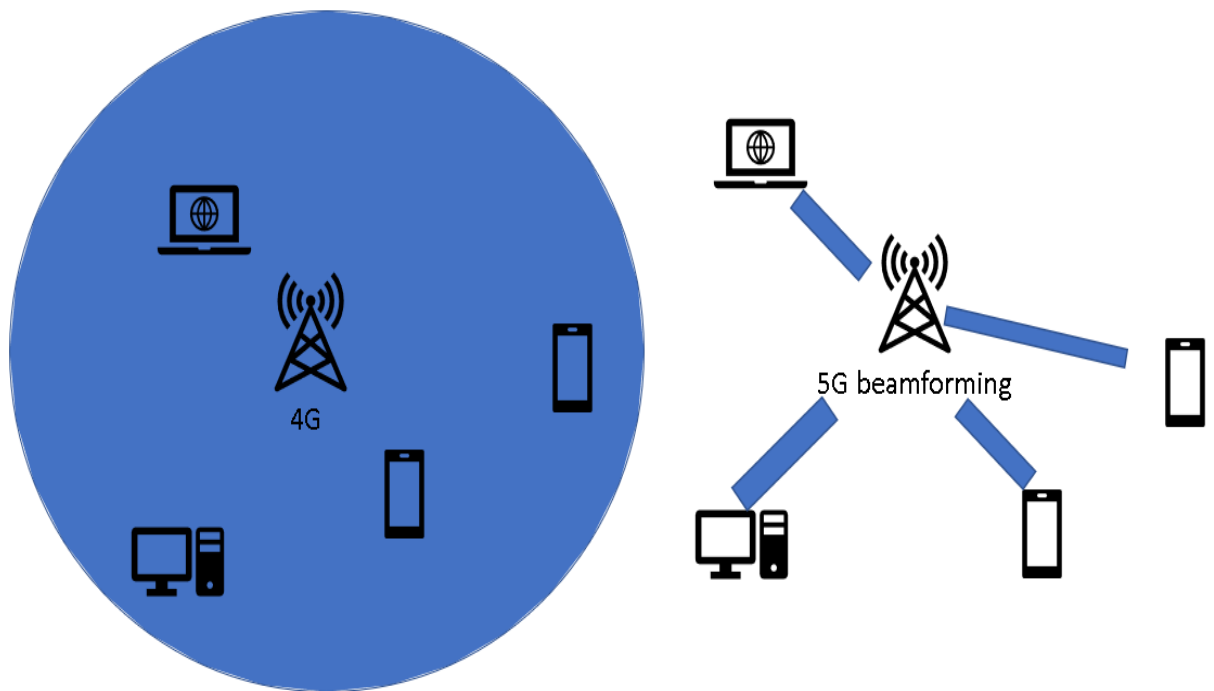
**Kuva 3.** 5G solurakenne [14]

### 2.1.5 Massive MIMO ja beamforming

Nämä 5G tukiasemat käyttävät myös Massive MIMO (Multiple Input Multiple Output) multiantennitekniologiaa, jossa yhden tukiaseman jokaista käyttäjää palvelee yhä useampi antenni samanaikaisesti ja samoilla taajuuksilla. Näitä antennia voisi olla yhdessä tukiasemassa jopa satoja verrattuna nykyiseen MIMO teknologiaan, jossa niitä on kymmeniä. Myös mmWaven pienemmät aallonpituudet vaativat yhä pienempiä antennia. Tämä mahdollistaa 5G:n suuren kapasiteetin, vähentää viivettä ja auttaa sen luotettavuutta. Massive MIMO auttaa myös energiatehokkuutta hieman, koska se mahdollistaa halvempien ja heikompien yksittäisten komponenttien käytön.

Beamforming teknologia tarkoittaa yhteyden keskittämistä tukiaseman ja päätelaitteen välille vain halutuille alueille sen sijaan että lähetysalue olisi koko ajan käytössä jokaiseen suuntaan. Tämä parantaa signaalia haluttuun suuntaan ja täten auttaa 5G:n kuuluvuutta ja tehokkuutta. Lisäksi beamforming voi käyttää erilaisia pintoja, kuten rakennuksia pakettien lähetyksessä. Tukiasema laskee päätelaitteiden sijainnin ja lähettää paketin reitille, joko suoraan tai kimmottaen paketteja rakennuksista. Tämä parantaa kuuluvuutta tarjoten yhteyksiä rakennusten kulmien ympäri ja mahdollistaa uusia yhteysreittejä vähentäen päällekkäisten yhteyksien aiheuttamaa häirintää [16].





**Kuva 4.** Esimerkki beamforming teknologiasta.

## 2.2 IoT

IoT eli esineiden internet tarkoittaa erilaisten internettiin yhdistyneiden laitteiden välille luotua kokonaisuutta, jossa laitteet kommunikoivat joko automaattisesti keskenään tai mahdollisen käyttäjän kanssa. Sen perustana toimii idea yhdistää kaikki mahdolliset asiat internettiin. Nämä voidaan yleensä jaotella kolmeen kategoriaan:

1. Esineet, jotka keräävät dataa ja lähettävät sitä eteenpäin
2. Esineet, jotka vastaanottavat dataa ja toimivat sen mukaan
3. Esineet, jotka tekevät molempia

Näitä esineitä on käytännössä kaikki mahdollinen niin perinteiset internettiin yhdistettävät esineet kuin tietokoneet ja älypuhelimet kuin erikoisemmat asiat kuten liikennevalot ja erilaiset sensorit. IoT tulee mahdollistamaan monen asian automatisoinnin. Esimerkiksi maanviljelyssä voisi olla sensori, joka mittaa maan kosteutta, yhdistettynä automatisoituun kastelujärjestelmään, joka ottaa huomioon niin sensorin antamat mittaukset kuin päivän

sääennusteen pitäen yllä tarvittavan kosteustason. Tätä järjestelmää pystysi muokkaamaan toimimaan halutusti puhelimella tai tietokoneella [17]. Myös autot voisivat jatkuvaa liikennedatata ja sensoreita hyödyntäen ajaa täysin automaattisesti reagoiden nopeasti ja oikein yllätystilanteissakin [18].

### **2.2.1 IoT ja 5G**

5G on esineiden internetin kannalta tärkeä, koska se mahdollistaa verkon vähäisen viiveen, nopeuden ja luotettavuuden avulla reaaliaikaisia reagoiteja esineiden välillä. Lisäksi esineiden internetin sensoreihin ja yhdistyneiden esineiden lukumäärään perustuva tulee vaan lisäämään internettiin samanaikaisesti yhdistyvien esineiden määrää [19]. Koska esineiden internetin vaatimukset ja 5G määritellyt tavoitteet sisältävät keskenään paljon samoja asioita, uskotaan esineiden internetin kehityksen kasvavan tasaisesti 5G kehityksen ja leviämisen kanssa.

Esineiden internetin tuottamat mahdollisuudet ja konseptit taas promotoi 5G:n nopeampaa leviämistä ja kehitystä. Täten kiihdyttäen 5G:n kehitystä ja luoden visiota tulevaisuudesta sisältäen mahdollisuuksia älykkäille kaupungeille [17].

## **2.3 Palvelimella toimivat ohjelmat, suoratoisto, VR ja AR**

### **2.3.1 Palvelimella toimivat ohjelmat**

Palvelimella toimivat ohjelmat ovat ohjelmia tai palveluita, jotka toimivat palvelimella internetissä ja käyttäjä käyttää päätelaiteella. Tällä hetkellä palvelimella toimivasta ohjelmasta esimerkkejä on monet videontoistopalvelut kuten Youtube ja Netflix tai tekstinkäsittelyohjelma Google Docs [20].

5G:n iso tiedonsiirtokyky mahdollistaa uusien ja isompien ohjelmien palvelimella pyörittämistä. Isompia ja vaikuttavampia videopelejä pystyttäisiin toistamaan suoraan palvelimelta ilman tarvetta ladata ja asentaa pelejä päätelaitteelle tiedonsiirtokyvyn kasvaessa ja viiveen pienentyessä. Tämä voisi poistaa päätelaitteilta ja ohjelmilta itseltään paljon teknillisiä vaatimuksia ja rajoituksia, koska päätelaitteen ei tarvitsisi huolehtia ohjelman pyöryksestä vaan ainoastaan kyetä toistamaan vastaanotettua videota ja

lähettämään komentoja, joka säästää käyttäjältä aikaa ja päätelaitteelta resursseja ja muistia [21]. Tämä voisi mahdollistaa tilanteen, jossa päätelaitteiden sisältämää dataa ja sisäisiä palveluita ja ominaisuuksia voitaisiin minimoida ja toiminnot tapahtuisivat internetin välityksellä palvelimelta. 5G voisi niin sanotusti tehdä älypuhelimesta tyhmän eli yksinkertaisen näyttöruudun, joka kommunikoi palvelimella toimivien sovellusten kanssa. Tämä päätelaitteiden yksinkertaistaminen voisi vähentää laitteiden vaatimia vaatimuksia erityisesti muistitilaa ja täten halventaa niiden valmistuskustannuksia ja hintoja [22].

### **2.3.2 Korkean resoluution suoratoisto ja streamaus**

5G:n korkean tiedonsiirtokyvyn avulla nykyisten videontoistopalveluiden tarjoama laatu voisi nousta reilusti ja ne voisivat toimia reilusti korkeamman resoluution videoilla internetin välityksellä. 4K tarkkuus on hyvinkin realistinen ja 8K tai 16K laatuinen video voisi toimia. Nämä tarkkuudet mahdollistuvat mobiililaitteillakin. Tämä vaatii päätelaitteiden laskentakapasiteetin ja video algoritmien kehitystä, sillä korkean laadun videon lähetyks on hyvinkin prosessointivoimaa vaativaa ja energiaa kuluttavaa toimintaa. Kuitenkin tarkkaa ja reaaliaikaista kuvaa tarjoava drone voisi olla hyödyllinen tutkijoille tai palomiehille vaarallisissa tilanteissa [20].

### **2.3.3 VR ja AR**

VR (Virtual Reality) on teknologia, joka luo käyttäjälle virtuaalisen maailman todellisen tilalle. Täydellinen VR olisi maailma, jossa käyttäjä ei pystyisi erottamaan virtuaalista maailmaa todellisesta. VR:n potentiaali yhdistetään usein videopelaamiseen, mutta sisältää paljon mahdollisuuksia niin viihteen, erilaisten alojen harjoittelun, kuten lentäjä tai kirurgi, koulunkäynnin sekä terapian kannalta. Myös perinteisten TV-ohjelmien tyyppistä sisältöä on aloitettu tarjoamaan VR laitteisiin sopivana. Urheilupeliä päästään näkemään kuin oltaisiin keskellä pelikenttää lähestulkoon reaaliaikaisesti tai saippuaopperassa voidaan seurata tapahtumia 3D tilassa hahmojen keskellä. Varsinkin kauhuelokuvissa tai peleissä voidaan VR kehitys nähdä isona mahdollisuutena.

AR (Augmented Reality) taas on teknologia, jossa todellista maailmaa avustetaan tai tehostetaan tietokoneellisesti käyttäjälle. Tästä esimerkkejä voisi olla Pokemon Go peli tai

huononäköiselle suunniteltu ohjelma, joka tehostaa värejä ja täten auttaa asioiden erottuvuutta [20].

#### **2.3.4 5G VR ja AR teknologioissa**

5G:n iso tiedonsiirtokyky ja pieni viive mahdollistaa VR- tai AR-maailman luonnin palvelimella, joka lähetetään verkon välityksellä käyttäjälle. Tämä mahdollistaa VR ja AR laitteiden kevenemisen ja johdoista irrottamisen vapaampaan käyttöön ja täten monen rajoittavan tekijän, kuten rajatun liikkumistilan tai kömpelöiden varustusten, poistamisen tai kehittymisen. Varsinkin esineiden internetin ja 5G yhteisen kehityksen mukana näiden teknologioiden mahdollisuudet kasvavat merkittävästi. Esineiden internetin kuuluvien sensorien avulla AR laitteet voivat kehittyä ja tarjota käyttäjille reaaliaikaista informaatiota ympäristöstään jatkuvasti [20].

### **2.4 Etätyöskentely**

Etätyöskentely tarkoittaa kykyä tehdä työtä olematta fyysisesti paikalla. Se on joustava organisointitapa, joka mahdollistaa tai nopeuttaa työntekoa vaatimatta työntekijän paikallaoloa täten säästäten aikaa työmatkoissa. Tämä on erityisesti hyödyllistä vaarallisissa ja kiireellisissä tehtävissä, mutta soveltuu myös asiantuntija tehtävissä toimiville. Sen avulla voidaan sovittaa tehtäviä työntekijän henkilökohtaisiin tarpeisiin esimerkiksi perheeseen, terveydentilaan tai asuinpaikkaan liittyen. 5G avulla yleisesti etätyöstä pitäisi tulla tehokkaampaa ja mukavampaa. Se mahdollistaa teoreettisesti monenlaisia uusia etätöitä sen luotettavuuden ja minimoidun viiveen avulla. Kaivinkoneen ajaja pystyisi työskentelemään toimistolta jopa mannertenvälisesti ohjaten kaivinkonetta vaarallisellakin työmaalla [23] tai vapaana oleva kirurgi voisi operoida kiireellistä potilasta eri sairaalassa vain laadukkaan videokuvan ja ohjainten avulla. Tämä on kuitenkin aina riskialtista toimintaa, sillä internetyhteyden katkeaminen ja muut tekniset ongelmat ovat mahdollista, ja täten olisi riskien vakavuuden mukaan suositeltavaa vain tilanteen sitä vaatiessa [24].

Etätyön määrä maailmalla on ollut tasaisessa nousussa. Mutta vuonna 2020 COVID-19 pandemia on kiihdyttänyt tätä nousua räjähdysmäisesti. Tutkimukset ehdottavat, että hieman yli puolet työvoimasta tekee tällä hetkellä etätöitä. Tämän määrän odotetaan laskevan

lähemmäksi aikaisempaa pandemian loputtua, mutta saatu kokemus etätöiden toteutuksesta uskotaan vauhdittavan etätöiden määrän kasvua. Amerikassa käydyin tutkimuksen mukaan 26.3 % yrityksistä tulee toimimaan merkittävästi enemmän etätöinä ja 35.6 % tulevat lisäämään sen määrää hieman [25]. Suomi oli yksi Euroopan kärkimaista etätöiden määrässä jo ennen pandemiaa. Vuonna 2018 tehdyn tilastokeskuksen työolotutkimuksen mukaan 28 % suomalaisista teki etätöitä ainakin osan työajastaan [26]. Koronapandemian aikana etätöihin arviotiin siirtyneen jopa 59 % työntekijöistä [27].

### **3 VAIKUTUKSET JA MAHDOLLISUUDET OHJELMISTOKEHITYKSEEN**

Tässä luvussa analysoidaan 5G:n ja valittujen teknologioiden tuottamia vaikutuksia, haasteita ja mahdollisuuksia puhtaasti ohjelmistokehityksen kannalta käyttäen hyväksi aiemmin esiteltyjä teknologioita. Keskittyen asioihin, joita ohjelmistokehittäjät ja yritykset joutuvat ottamaan huomioon. Sekä niiden vaikutus ohjelmistotuotannon toimialaan yleisellä tasolla.

#### **3.1 Ohjelmistokehitys**

Ohjelmistokehitys on tietotekniikan toimintaa, jonka tarkoituksena on valmistaa, suunnitella, toteuttaa, ylläpitää ja parantaa ohjelmistoja. Erityyppisiä ohjelmistoja voidaan katsoa olevan järjestelmäohjelmat, sovellusohjelmat, ohjelmointityökalut ja sulautetut järjestelmät. Näistä järjestelmäohjelmat tarkoittavat tietokoneen tai muiden tietokonejärjestelmien sisäistä toimintaa ohjaavia ohjelmia. Järjestelmäohjelmia on automaatiota tukevat ohjelmat, pelimoottorit, käyttöjärjestelmät tai niiden osat. Sovellusohjelmat taas ovat johonkin tiettyyn tarkoitukseen luotuja ohjelmia, joita loppukäyttäjä suoraan käyttää. Sovellusohjelmia ovat eri taulukkolaskentaohjelmat, pelit, verkkoselaimet, sähköpostiohjelmat, tiedostonhallintaohjelmat, kuvanmuokkausohjelmat ja muut vastaavat. Ohjelmointityökalut ovat ohjelmointia avustavia ohjelmia. Ne voidaan usein katsoa osaksi sovellusohjelmia, koska ohjelmoija käyttää näitä ohjelmien luomiseen. Niitä on debugger-työkalut, ohjelmointiympäristöt, kääntäjät, versionhallintajärjestelmät, kehitysympäristöt ja muut ohjelmointia auttavat ohjelmat. Sulautetut järjestelmät ovat laitteisiin suoraan kiinnitettyjä ohjelmistoja, jotka on suunniteltu tiettyä tarkoitusta varten. Nämä voidaan katsoa osaksi järjestelmäohjelmia. Sulautettuja järjestelmiä käytetään usein yksinkertaisissa laitteissa, joissa käyttäjän ei tarvitse olla tietoinen ohjelman olemassaolosta [28].

#### **3.2 5G:n tuottamat mahdollisuudet ohjelmistokehitykseen**

5G:n tuottamilla mahdollisuuksilla ohjelmistokehitykseen tarkoitetaan niitä 5G:stä ja sen mahdollistamista teknologioista aiheutuvia mahdollisuuksia ja vaikutuksia, jotka saattavat

auttaa ohjelmistokehitystä joko yleisesti tai toimialana. Esimerkkejä näistä on mm. mobiilisovellusten kysynnän kasvu, median- ja tiedonsiirron teknologioiden parantuminen, reaaliaikaisuuden mahdollisuudet sovelluksissa ja muut mobiiliteknologian kehittymisen ja laitteiden määrän kasvusta seuraavat mahdollisuudet.

### **3.2.1 Teknologiat**

Yksi ohjelmistokehityksen realiteetti on, että sitä rajoittaa ne teknologiat, joiden varaan se rakentaa ohjelmia. Tämän takia teknologioiden parantuessa on todennäköistä löytyä uusia hieman yllättäviäkin mahdollisuuksia. 5G odotetaan mahdollistavan monen teknologian edistämisen, joita luvussa 2 jo esittelimme. Nämä teknologiat tarjoavat mahdollisuuksia ja tarpeita uudenlaisten ohjelmien luontiin tai vanhojen ohjelmien parantamiseen. Lisäksi 5G ominaisuuksia hyödyntäen voidaan keksiä täysin uusia mahdollisuuksia lähivuosien aikana [28]. Näiden teknologioiden mahdollistavia ohjelmia ja algoritmeja on kehitettävä toimiviksi ja tehokkaiksi. Eli ohjelmoijien on otettava huomioon niin 5G verkon tavoitteet ja niistä seuraavien käyttäjien korkeista odotuksista johtuvat vaatimukset uusien teknologioiden suunnittelussa ja luonnissa. Tämä tulee vaatimaan niin hyvää ymmärrystä uusista teknologioista kuin innovaatiokykyä [29].

### **3.2.2 Ohjelmatarpeen kasvu**

Uudet teknologiat tulevat tarvitsemaan monenlaisia uusia ohjelmia toteutuakseen sekä hyötyäkseen 5G:n uusista ominaisuuksista ja näiden kehitys tulee työntämään ohjelmistokehitystä yhä eteenpäin. 5G antaa mahdollisuuksia lisätä kokonaan uusia toimintoja tai parantaa vanhoja toimintoja nykyisissä ohjelmissa. Tämän lisäksi 5G:n sisäisten toiminnot ovat yhä enemmän ohjelmistopohjaisia ja sen leviämisessä, kehittämisessä ja optimoinnissa tarvitaan ohjelmia. Lisäksi yritykset, jotka haluavat hyödyntää tätä 5G:n dynaamisuutta, tarvitsevat sen suunnittelua ja toteuttamista halutunlaiseksi [10]. Esimerkiksi IoT perustuu todella suureen laitemäärään, jotka kaikki tarvitsevat ohjelmia, ja monet yritykset tulevat käyttämään hyödyksi 5G verkon ohjelmoitavuutta, optimoimaan oman verkkonsa tarkoitukseen sopivaksi.

### **3.2.3 Laitteet**

5G:n leviäminen ja sen mahdollistamat uudet teknologiat voivat lisätä internettiin yhdistettyjen laitteiden määrää räjähdysmäisesti. Nämä laitteet tarvitsevat tarkoituksenmukaisia ohjelmia ja niiden keskinäinen kommunikointikyky täytyy olla hyvä ja luotettava. IoT:n tarvitsee monenlaisia ohjelmia, joiden luonnissa ohjelmoijan on optimoitava turvallisuuden, yksityisyydensuojan, energiankulutuksen ja yhteensopivuuden osalta laitteen käyttötarkoituksen mukaan [10]. Esimerkiksi, jos AR smartglasses -silmälasit yleistyisivät perustuotteeksi, kuvantunnistusohjelmien kehitykselle olisi varmaan paljon kehitystarvetta ja mahdollisuuksia. Kun taas kuvantunnistuksen parantuessa, voisi lasille taas luoda täysin uusia ominaisuuksia. Tähän lisätään yhteyksiä sensoreihin esineiden internetin tavoitteiden mukaisesti olisi laite ja sen ohjelmistonkehitys edennyt jo kovasti [18]. Täysin uudenlainen laite tai jo olemassa olevan laitteen kehittäminen voi vaatia ja antaa mahdollisuuksia täysin uudenlaisille ohjelmistoille, jotka tarjoavat uusia mahdollisuuksia ohjelmistokehitykselle [28].

## **3.3 5G:n vaikutukset ohjelmistokehitykseen**

5G:n vaikutukset ohjelmistokehitykseen on tässä tapauksessa määritelty 5G:stä ja sen takia yleistyvien teknologioiden tuottamiksi seurauksiksi ja haasteiksi ohjelmistokehityksessä.

### **3.3.1 5G:hen siirtyminen**

4G-verkosta 5G-verkkoihin siirtyminen aiheuttaa monenlaisia tehtäviä ohjelmistonkehittäjille. Vanhoja ohjelmia pitää muokata ja testata 5G:lle sopiviksi mielellään siten että ne tunnistavat ja käyttävät hyödyksi 5G:n uusia ominaisuuksia, mutta toimivat vielä 4G verkon alueella vaihtaen sujuvasti 4G ja 5G verkkojen välillä. Sekä mahdolliset keskeneräiset ja alkavat projektit pitänee luoda toimiviksi molemmilla verkoilla, mikä saattanee luoda uusia ongelmia ja opettelua, joka helposti pitkittää ja täten kallistaa projekteja. 5G:stä riippuvat teknologiat voivat myös olla vaikeita kehittää ennen kuin 5G on levinnyt tarpeeksi. Esimerkiksi 5G teknologiasta riippuvat esineiden internetin sovellukset eivät voi tulla käyttöön ennen kuin 5G verkko on sekä tarpeeksi toimiva että laajalle levinnyt.



Erityisesti riskialttiit ja niin verkolta kuin ympäristöltään paljon vaativat teknologiat kuten itseajautuvat autot eivät todennäköisesti ole relevantteja vielä lähivuosina [14].

### **3.3.2 Laatuvaatimukset**

5G:n tavoite korkeasta laadusta tekee ohjelmien optimoinnista ja testaamisesta hyvinkin tärkeää. Sillä pienistäkin ongelmista voi tulla hyvinkin erottuvia ja algoritmien optimoinnista täten tärkeää, sillä käyttäjä haluaa huomata selkeän eron 4G ja 5G verkon välillä. Tämä on erityisesti otettava huomioon itse 5G verkkoa ohjaavan ohjelmiston optimoinnissa, kuten tukiasemien ohjelmissa. Kuitenkin ongelmat päätelaitteilla tulevat yhä huomattavimmiksi standardien noustessa. Esimerkiksi verkkosovelluksia tehdessä on ohjelman viiveet minimoitava, että käyttäjä ei huomaa yllättäviä viiveitä odottaessaan todella nopeaa toimintaa 5G alueella. Ohjelmien ja verkkojen odotukset nousevat jatkuvasti teknologioiden kehittyessä varsinkin median hehkuttamilta ja odottamilta teknologioilta [28].

### **3.3.3 Tietoturva**

Vaikka 5G:n softwareen perustuva älykkäämpi verkko ja joustavuus voidaan käyttää hyväksi kehittämään parempaa tietoturvaa, se voi myös luoda uusia ja yllättäviäkin tietoturvariskejä. Erityisesti esineiden internetin esineisiin, jotka sisältävät pienitehoisia ja pitkäkestoisia komponentteja voi olla vaikea mahduttaa tarvittavia suojia niin tietoturvan kuin yksityisyydenkin kannalta. Tietoturvan kannalta kasvava laitemäärä ja varsinkin laitteiden välisten yhteyksien määrän kasvu esineiden internetissä. Ohjelmistokehittäjiä on siis testattava hyvin, tarkkailtava ja oltava valmiina korjaamaan uusia tietoturvaongelmia niiden löydyttyä. Eli 5G:n softwareen perustuva rakenne ja dynaamisuus voi olla tietoturvan kannalta niin positiivinen kuin negatiivinen asia [11].

### **3.3.4 Yhteistyö**

Laitemäärän ja niiden välisen kommunikoinnin kasvaessa tarvitaan eri valmistajien välillä yhä enemmän yhteistyötä erityisesti yhteensopivuustestien kannalta. Eli ohjelmistokehitysprosessin testausvaiheesta voinee tulla jatkuvasti isompia tehtäviä.

Erityisesti esineiden internetin yleistyessä käyttäjät tulevat odottamaan yhä toimivampaa kokonaisuutta, missä tietyn tuotemerkin yhteensopivuusongelmat voivat aiheuttaa ongelmia [8]. Helpottaakseen yhteistyötä 5G teknologioita kehitetään paljon ainakin osittain avoimena lähdekoodina ja yhteisillä standardeilla. Tämä avoimen lähdekoodin yhteistyö myös auttaa 5G verkon rakentamisesta johtuvien kulujen minimoinnissa. Tämän ansioista HPE (Hewlett Packard Enterprise) arvioi että yhden 5G palvelimen, johon sisältyy laskenta, tallennus ja verkkoyhteydet, käyttöönottoaika vähenee noin viikosta vain 8 tuntiin [30].

### **3.3.5 Teknologioiden ongelmat**

5G:n tavoitteissa ja teknologioiden toteuttamisissa on vielä ratkaisuja vaativia ongelmia ja ristiriitaisuuksia. Yksi 5G:n tavoitteista oli siedettävä energiankulutus, mutta sen muiden tavoitteiden saavuttamiseksi käytetään korkeita taajuuksia, joilla on huonompi kantama. Tätä huonoa kantamaa parannettiin rakentamalla verkkoa pienemmillä soluilla eli tukiasemia tarvitaan useita. Nämä tukiasemat pienemmästä alueestaan huolimatta käyttävät jokainen vastaavia tai jopa enemmän energiaa suhteessa 4G verkkoihin [31]. Tämän lisäksi 5G:n mahdollistamat uudet ominaisuudet, kuten 4K streamaus, tulee käyttämään enemmän energiaa päätelaitteissa johtuen suuresta bittimäärästä ja niiden vaatimista pakkausalgoritmeista [14].

### **3.3.6 5G-verkon aiheuttamat huolet**

5G-verkko on globaalisti huolestuttanut ihmisiä mahdollisilla terveysriskinä. Tämä huoli keskittyy verkon säteilyturvallisuuteen. 5G:n käyttämät korkeammat taajuusalueet ovat edelliseen 4G verkkoon verrattuna suurin erottava tekijä. Tämän takia on 5G verkon rakentamista hidastettu ainakin Sveitsissä, Yhdysvalloissa ja Italiassa. Suomessa ei verkon rakentamista olla jouduttu merkittävästi hidastamaan. Kuitenkaan 5G verkon aiheuttaman säteilyn ei ole todettu aiheuttavan terveyshaittoja, mutta niiden olemassaoloa ei olla pystytty varmasti kiistämään [32]. Toisena ongelmana ihmiset ovat huolissaan 5G-verkon energiankulutuksesta ja sen vaikutuksista ympäristöön. Nämä huolet voivat hidastaa 5G verkon leviämistä, mikä samanaikaisesti hidastaa sen kehittämistä ja siitä riippuvien teknologioiden käyttöönottoa [33].

## 4 POHDINTA, TULOKSET JA YHTEENVETO

5G tulee tuottamaan paljon uusia mahdollisuuksia ohjelmistokehitykselle. Jokainen käsitelty teknologia sisälsi useita mahdollisia käyttötarkoituksia, jotka tulevat avaamaan toisilleen vielä enemmän mahdollisuuksia. Kuitenkin 5G:ssä ja käsitellyissä teknologioissa on vielä ratkaisua vaille olevia ongelmia ja ristiriitoja. Sen tavoite standardeja ei ole saavutettu ja tehokkain toiminta on vaan pienellä alueella. Osa näistä ongelmista voi olla vain väliaikaisia, koska ne saattavat korjautua 5G:n yleistymisen ja kehityksen myötä, mikä on jo alkanut maailmalla. Loputkin ongelmista saattaneet olla ratkaistavissa, mutta siitä ei ole varmuutta. Kuten 2G, 3G ja 4G verkoissa myyntiä avustavat tekijät, kuten yhteyden nopeus, voidaan olettaa parantuvan ajan myötä. Mutta jos korjaukset ja muutokset ovat kalliita eivätkä maksa itseään takaisin voi niiden ratkaiseminen jäädä taustalle. Kuitenkin ohjelmistokehitys tulee alana kehittymään, koska se on pitkälti siihen liittyvien teknologioiden rajoittama ala eli niiden parantuessa tulee mahdollisuudet paranemaan ja tarpeet kasvamaan.

Uusiin teknologioihin siirtyessä tulee tapahtumaan yllätyksiä, ongelmia ja hidasteita, joihin on varauduttava. 5G teknologiaan liittyen tietoturva ja energiankulutus lienevät varmaan teknisesti hankalimmat. Ja tietyt tavoitteet, kuten täydellinen kuuluvuus ja lähes täydellinen ylläpito lienevät vielä kaukana todellisuudesta. Ohjelmistokehittäjän on myös otettava huomioon siirtymisestä seuraavat ongelmat, kuten mahdolliset 4G ja 5G verkkojen välillä tapahtuva vaihtelu ja oltava valmiina adaptoitumaan muutoksiin nopeasti.

Käsitellyt teknologiat vaikuttivat loogisilta seuraamuksilta 5G-verkon levitessä ja kehittyessä. Mutta ohjelmistokehityksen kannalta voinee olla hyvä pysyä realistisimmissa vaihtoehtoissa näiden ja keskittyä seuraavaan askeleeseen kehityksessä. Jotkut teknologioista sisälsivät melko utooppisia ideoita, kuten IoT:n täysin itseajavat autot, jotka vaativat luotettavan ja kattavan verkon lisäksi paljon muutakin niin ympäristöltään kuin laitteistoltaan ja saattanevat olla melko vaarallinen ja kallis konsepti. Nämä teknologiat tulevat todennäköisesti kehittymään alkaen yksinkertaisemmista ja realistisemmista applikaatioista siirtyen vaativimpiin ideoihin sitä mukaan, kun teknologiat, kattavuus ja kustannukset sen mahdollistavat. Joidenkin monimutkaisempien teknologioiden yleiseen käyttöön leviäminen kestää vuosia ja on mahdollista, että 5G verkon käyttöaikana tulee vain aikaisia versioita ja konseptia esitteleviä mallituotteita, jos niitäkään.

Tämän työn tulevaisuutta ennustavasta aiheesta ja analyttisestä luonteesta aiheutuen saadut tulokset eivät ole erityisen konkreettisia vaan enemmän suuntaa antavia arvioita. Näiden teknologioiden edistymistä olisi hyvä tarkastella tulevien vuosien aikana. Työ tuli keskittymään melkoisen paljon enemmän mahdollisuuksiin kuin vaikutuksiin, koska työn pohjana käytetyssä kirjallisuuskatsauksen materiaalissa oli selvästi enemmän käsitelty mahdollisuuksia. Tämä lienee seuraamuksena siitä, että mahdollisuuksia on yleisesti helpompi kohdistaa tiettyyn aihealueeseen tai teknologiaan ja täten arvioida, kun taas vaikutukset ovat yleisempiä ja täten vaikeampia tutkia tilanteessa, jossa vaikutuksia aiheuttavat tekijät eivät ole vielä toiminnassa. Poikkeuksena tähän olisi terveysvaikutukset ja ympäristövaikutukset, joista olisi löytynyt enemmän materiaalia, mutta näiden yhteydet ohjelmistokehitykseen on melkoisen heikko, joten se menee tämän työn aihealueen sivuun ja on täten vain mainittu lyhyesti.

## LÄHTEET

1. Kortelainen, H., Happonen, A., Hanski, J. (2019), "From asset provider to knowledge company - transformation in the digital era", In *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, ISSN: 2195-4356, pp. 333-341, doi: [10.1007/978-3-319-95711-1\\_33](https://doi.org/10.1007/978-3-319-95711-1_33)
2. Meyer, Dr Jens-Uwe. "What Is Digitalization." *Innolytics Innovation*. Accessed July 19, 2020. <https://innolytics-innovation.com/what-is-digitalization/>.
3. Rocio Rodríguez, Göran Svensson, Erik Jens Mehl (2020), "Digitalization process of complex B2B sales processes – Enablers and obstacles", *Technology in Society*, Volume 62, ISSN 0160-791X, <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2020.101324>.
4. Happonen, A., Minashkina, D. (2019), *Operations automatization and digitalization – a research and innovation collaboration in physical warehousing, improvement ideas in AS/RS and 3PL logistics context*, LUT Research Reports series report 104, ISBN 978-952-335-452-4, ISSN 2243-3376, p. 41, doi: [10.5281/zenodo.3813774](https://doi.org/10.5281/zenodo.3813774)
5. Kallonen, T., Happonen, A., Porras, J., Hämäläinen, H., Ikonen, J., Saarinen, P. (2007), *Mobiilitekniiikan tutkimuksesta tuotteita rakennusteollisuuteen. Automaatio 07 Seminar*, 27-28.3.2007, Helsinki, Finland, ISBN: 978-952-5183-33-7, SAS publication nro 34
6. Bartlett, Matt. "The Evolution of Mobile Wireless Technology from 0G to 5G." *Medium*, November 26, 2019. <https://medium.com/@Matt.Bartlett/the-evolution-of-mobile-wireless-technology-from-0g-to-5g-cf98c80e2323>.
7. Ken's Tech Tips. "Download Speeds: Comparing 2G, 3G, 4G & 5G Mobile Networks." Accessed December 14, 2020. <https://kenstechtips.com/index.php/download-speeds-2g-3g-and-4g-actual-meaning>.
8. Gavrilovska, L., Rakovic, V., Atanasovski, V.: *Visions towards 5G: technical requirements and potential enablers*. *Wirel. Pers. Commun.* 1–27 (2015). doi:10.1007/s11277-015-2632-7. <http://dx.doi.org/10.1007/s11277-015-2632-7>.
9. *Helsingin Sanomat*. "Operaattorit rakentavat 5g-verkkoja ympäri Suomea, ja ensimmäiset 5g-puhelimet ovat jo myynnissä – Näin uusi teknologia vaikuttaa tavallisen kuluttajan arkeen," July 26, 2019. <https://www.hs.fi/teknologia/art-2000006185383.html?share=2b074daf3a84f6502644cbf00bcd682c>.

10. Gupta, A., and R. K. Jha. "A Survey of 5G Network: Architecture and Emerging Technologies." *IEEE Access* 3 (2015): 1206–32.  
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2015.2461602>.
11. Ming, Ji, Xinsheng; Huang, Kaizhi; Jin, Liang; Tang, Hongbo; Liu, Caixia; Zhong, Zhou; You, Wei; Xu, Xiaoming; Zhao, Hua; Wu, Jiangxing; Yi. "Overview of 5G security technology." Accessed February 11, 2020.  
[https://wilma.finna.fi/lut/PrimoRecord/pci.springer\\_jour10.1007%2Fs11432-017-9426-4](https://wilma.finna.fi/lut/PrimoRecord/pci.springer_jour10.1007%2Fs11432-017-9426-4).
12. Li, Qian Clara, Huaning Niu, Apostolos Tolis Papathanassiou, and Geng Wu. "5G Network Capacity: Key Elements and Technologies." *IEEE Vehicular Technology Magazine* 9, no. 1 (March 2014): 71–78. <https://doi.org/10.1109/MVT.2013.2295070>.
13. ResearchGate. "Figure 2. Number of Connected IoT Devices from 2012 to 2020." Accessed April 6, 2020. [https://www.researchgate.net/figure/Number-of-connected-IoT-devices-from-2012-to-2020\\_fig2\\_327272757](https://www.researchgate.net/figure/Number-of-connected-IoT-devices-from-2012-to-2020_fig2_327272757).
14. Agyapong, Patrick Kwadwo, Mikio Iwamura, Dirk Staehle, Wolfgang Kiess, and Anass Benjebbour. "Design Considerations for a 5G Network Architecture." *IEEE Communications Magazine* 52, no. 11 (November 2014): 65–75.  
<https://doi.org/10.1109/MCOM.2014.6957145>.
15. Li, Xin, Mohammed Samaka, H. Anthony Chan, Deval Bhamare, Lav Gupta, Chengcheng Guo, and Raj Jain. "Network Slicing for 5G: Challenges and Opportunities." *IEEE Internet Computing*, 2018, 1–1. <https://doi.org/10.1109/MIC.2018.326150452>.
16. Matti Passoja "5G NR: Massive MIMO and Beamforming – What does it mean and how can I measure it in the field?" *rcrwireless* September 12, 2018,  
<https://www.rcrwireless.com/20180912/5g/5g-nr-massive-mimo-and-beamforming-what-does-it-mean-and-how-can-i-measure-it-in-the-field>.
17. McClell, Calum. "What Is IoT? - A Simple Explanation of the Internet of Things." *IoT For All* (blog), January 9, 2020. <https://www.iotforall.com/what-is-iot-simple-explanation/>.
18. Ejaz, Waleed, Alagan Anpalagan, Muhammad Ali Imran, Minh Jo, Muhammad Naeem, Saad Bin Qaisar, and Wei Wang. "Internet of Things (IoT) in 5G Wireless Communications." *IEEE Access* 4 (2016): 10310–14.  
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2016.2646120>.

19. Wang, Yong Liang, Qian Shuai Ma, Er Min Wang, Xing Li Wu, and Zhi Liang Chen. "Design of Monitoring System of the Household Robot Based on Internet of Things." *Applied Mechanics and Materials*; Zurich 339 (July 2013): 163.  
<http://dx.doi.org.ezproxy.cc.lut.fi/10.4028/www.scientific.net/AMM.339.163>.
20. Orlosky, Jason, Kiyoshi Kiyokawa, and Haruo Takemura. "Virtual and Augmented Reality on the 5G Highway." *Journal of Information Processing* 25, no. 0 (2017): 133–41.  
<https://doi.org/10.2197/ipsjjip.25.133>.
21. "How to Leverage 5G with Cloud Gaming," n.d., 6 intel case study  
<https://www.intel.com/content/dam/www/public/us/en/documents/case-studies/playgiga-cloud-gaming.pdf>.
22. Raymond, Art. "Forget about Your Smartphone. Are You Ready for a Dumb Phone?" *Deseret News*, October 20, 2019.  
<https://www.deseret.com/utah/2019/10/20/20919463/university-of-utah-5g-4g-smart-phone-future>.
23. "5G Used to Remotely Control an Excavator on Another Continent."  
<https://5g.co.uk/news/5g-remotely-control-excavator/4838/>.
24. "Surgeon Performs World's First Remote Operation Using '5G Surgery' on Animal in China | *The Independent*." <https://www.independent.co.uk/life-style/gadgets-and-tech/news/5g-surgery-china-robotic-operation-a8732861.html>.
25. Ozimek, Adam. "The Future of Remote Work." *SSRN Electronic Journal*, 2020.  
<https://doi.org/10.2139/ssrn.3638597>
26. Sutela, Hanna, Anna Pärnänen, and Marianne Keyriläinen. *Digiajan työelämä työolotutkimuksen tuloksia 1977-2018*, 2019.  
[http://www.stat.fi/tup/julkaisut/tiedostot/julkaisuluettelo/ytym\\_1977-2018\\_2019\\_21473\\_net.pdf#\\_ga=2.202875794.202272827.1575965627-1809327973.1574686842](http://www.stat.fi/tup/julkaisut/tiedostot/julkaisuluettelo/ytym_1977-2018_2019_21473_net.pdf#_ga=2.202875794.202272827.1575965627-1809327973.1574686842)
27. *Yle Uutiset*. "Korona aiheutti Suomessa ryntäyksen etätöihin: Missään muussa EU-maassa ei siirrytty pois työpaikalta yhtä innokkaasti kuin täällä." Accessed December 14, 2020.  
<https://yle.fi/uutiset/3-11346371>
28. Hu, Fei. *Opportunities in 5G Networks: A Research and Development Perspective*. CRC Press, 2016.

<https://books.google.fi/books?id=UcLICwAAQBAJ&lpg=PP1&ots=9FNMRzv5O&dq=software%20development%205G&lr&hl=fi&pg=PR3#v=onepage&q=software%20development%205G>.

29. Azorin, Paul. "How 5G technology will influence software development", Sep 8, 2019 [https://medium.com/@guestposts\\_92864/how-5g-technology-will-influence-software-development-eef0bd239a0e](https://medium.com/@guestposts_92864/how-5g-technology-will-influence-software-development-eef0bd239a0e).
30. Burke, Steven "HPE, Intel, Red Hat Team On 5G open source initiative", Apr 2, 2020, crn news au. <https://www.crn.com.au/news/hpe-intel-red-hat-team-on-5g-open-source-initiative-545879>.
31. Walker, Matt. "Operators facing power cost crunch". March 27, 2020. mtnconsulting <https://www.mtnconsulting.biz/product/operators-facing-power-cost-crunch/>.
32. admin. "MmWave Health Effects." NYU WIRELESS (blog). Accessed March 16, 2020. <https://wireless.engineering.nyu.edu/mmwave-health-effects/>.
33. C. I, C. Rowell, S. Han, Z. Xu, G. Li and Z. Pan, "Toward green and soft: a 5G perspective," in *IEEE Communications Magazine*, vol. 52, no. 2, pp. 66-73, February 2014. <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6736745&isnumber=6736727>.