



6G – mahdollisuudet ja haasteet

Noora Rytönen

Haaga-Helia ammattikorkeakoulu

Tradenomi tutkinto

AMK-opinnäytetyö

2023

Tiivistelmä

Tekijä(t) Noora Rytönen
Tutkinto Tradenomi
Opinnäytetyön nimi 6G – mahdollisuudet ja haasteet
Sivu- ja liitesivumäärä 36
<p>Ihmiskunnan tuottaman ja jakaman tiedon määrä kasvaa eksponentiaalisesti. Tästä seuraa se, että vaatimukset tulevaisuuden verkkoyhteyksiä kohtaan kasvavat merkittävästi. Tulevaisuuden langattomilta verkkotekniikoilta odotetaan suurempaa tiedonsiirron nopeutta sekä isompaa kapasiteettiä. Tulevaisuuden teknologiat vaativat myös äärimmäisen pientä verkkoviivettä, jota ei nykyisillä langattoman verkkotekniikan sukupolvilla pystytä vielä saavuttamaan. Tähän ratkaisuksi ollaan kehittämässä 6G langatonta verkkotekniikkaa, jonka odotetaan toimivan terahertsi taajuudella tarjoten ennennäkemättömät tiedonsiirtonopeudet. 6G tarjoaisi myös aiempia langattoman verkkotekniikan sukupolvia pienemmän verkkoviiveen. 6G mahdollistaisi uusien teknologioiden kehityksen sekä aivan uuden tavan kommunikoida ilman fyysistä matkapuhelinta. 6G-teknologian odotetaan myös edistävän digitalisaatiota, automatisaatiota sekä älykaupunkien kehittämistä.</p> <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli laadullisen tutkimuksen avulla analysoida monipuolisesti 6G-teknologian mahdollisuuksia ja haasteita. Lähdemateriaalina käytettiin muuan muassa 6G:tä kehittävien tahojen tutkimustietoa sekä muita tieteellisiä julkaisuja.</p> <p>Opinnäytetyön teoriaosuudessa perehdytään langattomien verkkotekniikoiden eri sukupolviin ja niiden historiaan. Tämän jälkeen perehdytään itse 6G-teknologiaan sekä siihen miksi sitä tarvitaan. Opinnäytetyössä myös vertaillaan 5G:n ja 6G:n eroavaisuuksia sekä tutustutaan 6G:n eri käyttökohteisiin. Empiirisessä osiossa tutkitaan 6G-teknologian hyviä ominaisuuksia sekä sen tuomia mahdollisuuksia ja uusia teknologioita. Näiden hyvien puolien lisäksi paneudutaan myös 6G:n kehitystyössä vastaan tulleisiin teknisiin haasteisiin. Teknisten haasteiden lisäksi käsitellään radiotaajuuden säteilyn mahdollisia terveysvaikutuksia sekä 6G:n vaikutuksia yksityisyyteen.</p> <p>Opinnäytetyön pohdinnassa päädytään sellaiseen ajatukseen, että 6G-teknologia voisi tuoda paljon uusia mahdollisuuksia ja se voisi viedä ihmiskunnan teknologista kehitystä eteenpäin. 6G olisi myös muihin langattoman verkkotekniikan sukupolviin verrattuna huomattavasti nopeampi, mukautuvampi ja energiatehokkaampi. 6G-teknologiaan liittyy kuitenkin teknisiä haasteita. Tutkijoiden mukaan terabitin nopeuden saavuttaminen on erittäin haastavaa ja 6G:n lyhyt kantama aiheuttaa myös ongelmia. 6G-teknologia herättää myös eettisyyteen, terveyteen ja turvallisuuteen liittyviä kysymyksiä, joihin opinnäytetyössä ehdotetaan jatkotutkimuksia.</p>
Asiasanat 6G, 5G, langaton verkkotekniikka, mobiiliverkot

Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Tavoitteet ja rajaukset	1
1.2	Keskeiset käsitteet	2
2	Langattomien verkkotekniikoiden kehitys.....	4
2.1	1G	4
2.2	2G	4
2.3	3G	5
2.4	4G	5
2.5	5G	6
3	6G-teknologia.....	8
3.1	6G:n mahdollistavat teknologiat.....	8
3.2	Miksi 6G:tä tarvitaan?.....	9
3.3	Miten 6G eroaa edeltäjästään 5G:stä?	10
3.4	6G:n käyttökohteet	11
4	Mitä hyviä ja huonoja puolia 6G-teknologialla on?	13
4.1	6G:n hyvät puolet	13
4.1.1	Ihmisten ja koneiden välinen vuorovaikutus	14
4.1.2	Digitaalinen terveydenhuolto.....	15
4.1.3	Älyteollisuus.....	15
4.1.4	IoST	17
4.1.5	Mobiilihologrammit	18
4.1.6	Miehittämättömät ilma-alukset.....	19
4.2	6G:n huonot puolet.....	19
4.2.1	Tekniset haasteet.....	20
4.2.2	Turvallisuus.....	21
4.2.3	Eettisyys ja yksityisyys.....	21
4.2.4	Mahdolliset terveydelliset vaikutukset	23
5	Pohdinta.....	25
5.1	Jatkotutkimus	26
	Lähteet.....	28

1 Johdanto

Tulevaisuuden keksinnöt kaipaavat viiveetöntä verkkoyhteyttä ja suurempaa mobiiliverkon kapasiteettia. Tähän ratkaisuksi ollaan kehittämässä 6G-teknologiaa, joka mahdollistaisi ennenäkemättömän nopeat verkkoyhteydet. Tällä hetkellä suurin osa kuluttajista käyttää vielä 4G langatonta verkoteknologiaa, mutta sitä seuraava 5G-teknologia on jo yleistymässä. 6G tulee seuraamaan 5G:tä ja sen tutkiminen ja kehittäminen onkin jo kovassa vauhdissa.

6G-teknologian avulla voidaan edistää digitalisaatiota ja luoda uudenlaisia yhteyksiä ihmisen ja koneen välille. 6G voisi viedä ihmiskunnan teknologista kehitystä huimalla vauhdilla eteenpäin, ja sen mahdollistamat keksinnöt voisivat mullistaa muun muassa terveydenhuoltoa ja teollisuutta. Vaikka aihe ei ole vielä täysin ajankohtainen, on se erittäin mielenkiintoinen ja tärkeä meidän tulevaisuutemme kannalta. Ihmiskunnalla on edessään paljon haasteita, mihin koitetaan löytää ratkaisuja. 6G-teknologia voisi potentiaalisesti olla yksi osatekijä näiden haasteiden ratkaisemisessa.

Näin mullistavaa teknologiaa kehittäessä on kuitenkin tärkeää ja olennaista perehtyä teknologian eri puoliin mahdollisimman monipuolisesti. Vaikka 6G:n uskotaan tuovan paljon mahdollisuuksia, siihen liittyy myös haasteita. 6G:n kehittämisessä on vielä haasteita ja teknisiä ongelmia, sekä sen turvallisuus on herättänyt keskustelua.

1.1 Tavoitteet ja rajaukset

Tämän tutkimuksen tavoitteena on tutkia ja analysoida mahdollisimman monipuolisesti 6G-teknologiaan liittyviä mahdollisuuksia ja haasteita. Tutkimuksen alussa tutustutaan langattomaan verkkotekniikkaan ja sen eri sukupolviin sekä perehdytään siihen mitä 6G tarkoittaa. Tutkimuksen tavoitteena on myös verrata 5G:n ja 6G:n eroavaisuuksia ja kertoa millaisia käyttökohteita 6G:lle on tulevaisuudessa.

Tutkimuskysymyksiä ovat:

- Miten 6G-teknologia eroaa 5G-teknologiasta?
- Mihin 6G-teknologiaa voidaan hyödyntää?
- Mitä haasteita tai ongelmia 6G:n kehittämisessä on?

Tutkimus on menetelmältään kvalitatiivinen kirjallisuustutkimus, jossa analysoidaan 6G aiheisia e-kirjoja, artikkeleita sekä muita sitä käsitteleviä tieteellisiä julkaisuja. Tutkimukseen on pyritty valitsemaan tietoa mahdollisimman tuoreista ja luotettavista lähteistä. Tutkimusta voivat hyödyntää

verkkotekniikoiden parissa työskentelevät henkilöt ja kaikki tulevaisuuden teknologioista tai 6G:stä kiinnostuneet yksityishenkilöt.

Uutta teknologiaa kehittäessä olisi tärkeää myös tutkia sitä, millaisia haittapuolia kehityksen kohteena olevalla teknologialla voisi olla. Näin ollen tutkimuksessa perehdytään myös siihen millaisia vaikutuksia 6G:llä voisi mahdollisesti olla ihmisten yksityisyyteen ja terveyteen.

1.2 Keskeiset käsitteet

4G	Neljäs langattoman verkkotekniikan sukupolvi.
5G	Viides langattoman verkkotekniikan sukupolvi.
6G	Kuudes langattoman verkkotekniikan sukupolvi.
Latenssi	Viive datapaketin siirtymisessä verkkoyhteyden yli.
AR	Augmented Reality eli lisätty todellisuus, jossa täydennetään todellista ympäristöä esimerkiksi hahmoilla tai elementeillä.
VR	Virtual Reality eli virtuaalitodellisuus, jossa simuloitua maailmaa koetaan jonkin laitteen, esimerkiksi VR-lasien kautta.
MR	Mixed Reality eli yhdistetty todellisuus yhdistää lisätyn ja virtuaalitodellisuuden.
XR	Extended Reality eli laajennettu todellisuus, jossa yhdistyvät virtuaalitodellisuus, lisätty todellisuus ja yhdistetty todellisuus.
Massive MIMO	Multiple-Input and Multiple-Output tietoliikennetekniikka, jossa käytetään samanaikaisesti useita antennoja signaalin lähettämiseen ja vastaanottamiseen.
Kbps	Kilobittiä sekunnissa. Tiedonsiirron nopeuden mittayksikkö.
Mbps	Megabittiä sekunnissa. Tiedonsiirron nopeuden mittayksikkö.
Gbps	Gigabittiä sekunnissa. Tiedonsiirron nopeuden mittayksikkö.
Tbps	Terabittiä sekunnissa. Tiedonsiirron nopeuden mittayksikkö.

MHz	Megahertsi taajuus. Värähtelytaajuuden mittayksikkö.
GHz	Gigahertsi taajuus. Värähtelytaajuuden mittayksikkö.
UAV	Unmanned aerial vehicle eli miehittämättömät ilma-alukset. Kauko-ohjattava tai autonomisesti liikkuva moottorikäyttöinen ilma-alus. Tunnetaan myös nimellä drone.

2 Langattomien verkkotekniikoiden kehitys

Ymmärtääkseen 6G:tä täytyy ensin ymmärtää mitä langattomilla verkkotekniikoilla ja mobiiliyhteyksillä tarkoitetaan. Tässä tutkimuksen osassa tutustutaan lyhyesti langattomien verkkotekniikoiden historiaan ja perehdytään siihen, millaisia langattoman verkkotekniikan sukupolvia on ollut ennen 6G:tä.

Langattomilla verkkotekniikoilla tarkoitetaan teknologioita, jotka mahdollistavat langattoman viestinnän. Langatonta viestintää on esimerkiksi matkapuhelimella tehdyt puhelut. Langaton viestintä tapahtuu radioaaltojen välityksellä. Langattoman viestinnän historia ulottuu aina 1800-luvun loppupuolelle, jolloin fyysikko Heinrich Hertz osoitti kokeellisesti, että radioaaltoja voidaan lähettää ja vastaanottaa (Nasa s.a.).

2.1 1G

Ensimmäisen sukupolven langaton verkkotekniikka eli 1G (englanniksi first generation) otettiin ensimmäisenä käyttöön Japanissa vuonna 1979. Pohjoismaihin ja Suomeen 1G tuli vuonna 1981 Nordic Mobile Telephone (NMT) järjestelmän julkaisun myötä. (Universidad Internacional de Valencia 2018.) 1G-matkapuhelinverkko oli analoginen ja sen avulla voitiin soittaa puheluita kapeakaistaisilla taajuuskanavilla (Del Peral Rosado, Lopez-Salcedo, Raulefs & Seco-Granados 2018, 4). Verrattuna seuraaviin sukupolviin 1G-yhteyden laatu oli huono ja sillä oli pieni kapasiteetti. 1G-matkapuhelinverkossa soitettuja puheluita oli myös helpompi salakuunnella, sillä siinä ei ollut minkäänlaista suojausta. (Garg, Khare, Sharma & Shukla 2013, 59.) 1G toimi taajuuksilla 800-900 MHz ja sen nopeus oli 1-2,4 Kbps (Universidad Internacional de Valencia 2018).

2.2 2G

Toinen sukupolvi 2G (englanniksi second generation) otettiin käyttöön ensimmäisenä maailmassa Suomessa, kun Radiolinja (nykyisin osa Elisa Oyj:tä) avasi ensimmäisen GSM-matkapuhelinverkon vuonna 1991 (Jegorow 22.2.2008). 2G:n myötä siirryttiin analogisesta matkapuhelinverkosta digitaaliseen matkapuhelinverkkoon (Universidad Internacional de Valencia 2018). 2G mahdollisti puheluiden lisäksi tekstiviestien ja multimediaviestien lähettämisen. 2G-teknologia oli aiempaan sukupolven eli 1G:hen verrattuna tehokkaampi ja se sisälsi digitaalisen salauksen, joka tarjosi turvaa sekä viestin lähettäjälle, että vastaanottajalle. Ainoastaan viestin vastaanottaja pystyi vastaanottamaan ja lukemaan hänelle lähetetyn viestin. (Churi, Surendran, Tidgi & Yewale 2012, 2.) 2G

toimii nopeudella 14-64 Kbps ja sen taajuus on 850-1900 MHz (GSM-verkossa) sekä 825-849 MHz (CDMA-verkossa) (Universidad Internacional de Valencia 2018).

2.3 3G

Kolmas sukupolvi 3G (englanniksi third generation) lanseerattiin markkinoille ensimmäisenä Japanissa vuonna 2001 (Kumar 2013, 3). Suomeen 3G rantautui vuonna 2004, kun Telia-Sonera avasi ensimmäisen kaupallisen umts-verkkonsa (Leidenius 12.10.2004). 3G-teknologia perustuu ITU:n (International Telecommunication Union) IMT-2000 standardiin. Aiempiin sukupolviin verrattuna 3G tarjosi huomattavasti suuremmat tiedonsiirtonopeudet ja se mahdollisti videopuhelut, tiedostojen lähettämisen, nopean pelien ja videoiden lataamisen sekä internetin selaamisen matkapuhelimella. (Kumar 2013, 2-3.) 3G:n nopeus on parhaimmillaan 2 Mbps ja sen taajuus on 8-2,5 GHz (Universidad Internacional de Valencia 2018). Suomen suurimmat teleoperaattorit DNA, Elisa ja Telia ovat ilmoittaneet sulkevansa 3G-verkkonsa vuoden 2023 aikana ja keskittyvänsä 4G- ja 5G-verkkojen kehittämiseen (DNA s.a.; Elisa s.a.; Telia s.a.a.).

2.4 4G

Neljännän sukupolven eli 4G:n (englanniksi fourth generation) ensimmäinen onnistunut kenttäkoe suoritettiin vuonna 2005 Japanissa (Sharma 2013, 3). Vuonna 2008 televiestintäliitto ITU:n toimesta 4G:lle määriteltiin vaatimukset. Vaatimusten mukaan tiedonsiirtonopeus 4G:llä pitäisi olla nopeassa liikkeessä 100 Mbps ja hitaassa liikkeessä 1 Gbps. (Talwar & Vannithamby 2017,4.) Seuraavana vuonna 2009 4G:n lanseerattiin ensimmäisenä maailmassa kuluttajakäyttöön Tukholmassa ja Oslossa. Suomeen 4G saatiin vuonna 2010. (Jansson s.a.)

4G on täysin IP-pohjainen ja sillä on kaksi tunnettua teknologiaa, LTE (Long-Term Evolution) ja WiMAX (Microwave Acces). 4G tarjoaa samoja palveluja kuin 3G, mutta sen lisäksi se mahdollistaa ultralaajakaista verkkoyhteydet mobiilipuhelimille. 4G:n avulla kuluttajat pystyvät katsomaan HD-laatuisia videoita ja tv-lähetyksiä sekä videokokouksia mobiilipuhelimen välityksellä. 4G mahdollistaa myös pilvilaskennan. (Talwar & Vannithamby 2017,4; Universidad de Valencia 2018) 3G-teknologiaan verrattuna 4G on 10 kertaa nopeampi. 3G:n etu on kuitenkin se, että se toimii paremmin harvaan asutuilla alueilla. (Uy 2020.)

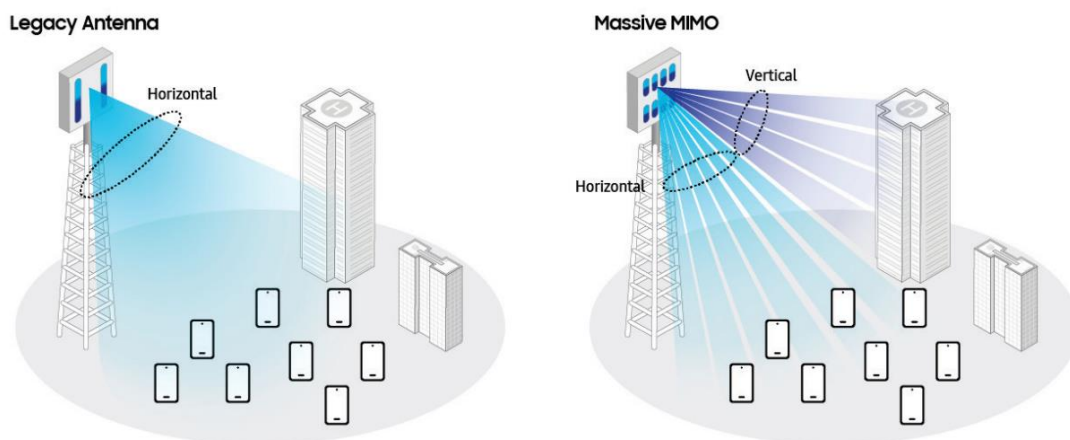
4G:n nopeus on, kuten mainittu, 100 Mbps nopeassa liikkeessä ja 1 Gbps hitaassa liikkeessä. Sen kaistan leveys on 5-20 MHz ja parhaimmillaan jopa 40 MHz. 4G LTE toimii useilla eri taajuuksilla. Esimerkiksi Euroopassa se käyttää taajuuskaistoja 700, 800, 900, 1800, ja 2600 MHz ja Pohjois-

Amerikassa 700, 750, 800, 850, 1900, 1700/2100, 2300, 2500 ja 2600 MHz. (Universidad Internacional de Valencia 2018.)

2.5 5G

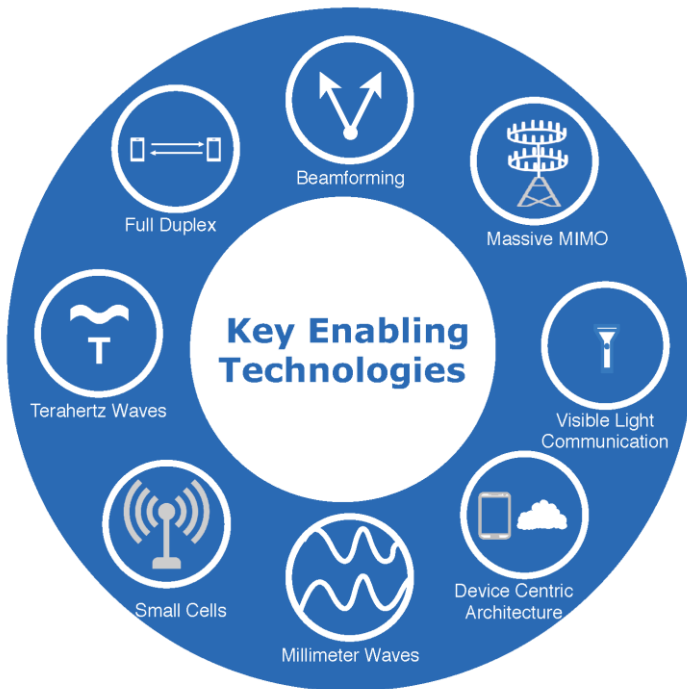
Viides sukupolvi eli 5G (englanniksi fifth generation) on uusin tällä hetkellä käytössä oleva langattoman verkkotekniikan sukupolvi. The Guardianin mukaan Etelä-Korean väitetään olevan ensimmäinen maa, joka lanseerasi 5G-verkon huhtikuussa 2019. Etelä-Korea ja Yhdysvallat kilpailivat siitä, kumpi ehtii lanseerata 5G:n ensimmäisenä. Muutama tunti Etelä-Korean jälkeen teleoperaattori Verizon lanseerasi 5G-verkon Yhdysvalloissa Chicagon kaupungissa. (McCurry 4.4.2019.)

Ciscon mukaan 5G-tekniikka tuo edistystä koko verkkoarkkitehtuuriin. Yksi tärkeä osa 5G:tä on 5G New Radio (5G NR), joka on kansainvälinen standardi entistä tehokkaammalle langattomalle 5G-ilmarajapinnalle, joka kattaa taajuudet, joita ei aiemmassa sukupolvessa eli 4G:ssä käytetä. 5G-verkossa käytetään uudenlaisia antennejä, jotka sisältävät tekniikkaa, joka tunnetaan nimellä massive MIMO. MIMO on lyhenne termistä "multiple-input, multiple-output" ja sillä tarkoitetaan sitä, että datan lähettämiseen ja vastaanottamiseen käytetään useita antennejä saman aikaisesti (kuva 1). MIMO-tekniikkaa käytetään vähentämään fyysisten esteiden tai häiriöiden aiheuttamaa signaalin heikkenemistä. Massive MIMO on MIMO:n laajennus ja siinä käytetään huomattavasti useampia antennejä. Tämä parantaa siirtokapasiteettia, mahdollistaen datan siirtymisen pisteestä A pisteeseen B tehokkaammin. (Cisco s.a.; Whatis6g 2020a.) 5G-tekniikka on suunniteltu tukemaan heterogeenista, konvergoitua verkkoa, jossa yhdistyvät lisensoidut ja lisensoimattomat langattomat tekniikat. Tämä auttaa lisäämään käyttäjien käytettävissä olevaa kaistanleveyttä. (Cisco s.a.)



Kuva 1. Evoluutio vanhoista antennista massive MIMO antenneihin (Samsung 2020)

Muita keskeisiä 5G-järjestelmän mahdollistavia teknologioita ovat muun muassa millimetri aallot, full-duplex-teknologia, näkyvän valon spektri, beamforming, terahertsit aallot sekä pienet solut (kuva 2). Näiden teknologioiden ajatellaan myös mahdollistavan tulevan 6G-järjestelmän. (Akl & Chataut 2020.)



Kuva 2. Kahdeksan keskeistä 5G:n ja seuraavien sukupolvien mahdollistavaa teknologiaa (Akl & Chataut 2020)

Aiempaan sukupolveen 4G:hen verrattuna 5G:n huippunopeus voi olla jopa 100 kertaa suurempi. Suuri nopeus mahdollistaa pienemmän latenssin, joka tukee tekoälyn ja IoT:n (the Internet of Things eli esineiden internet) käyttöä. 5G-verkkojen suurempi kapasiteetti myös vähentää verkkojen kuormitusta esimerkiksi tapahtumissa, joissa on paljon ihmisiä. (Intel s.a.) 5G:n nopeus on 1-10 Gbps ja taajuus 3-300 GHz (Universidad Internacional de Valencia 2018).

5G ei ole vielä yhtä laajassa kuluttajakäytössä kuin 4G eikä se ole vielä täysin kehittynyt. 5G:n kehitystyö jatkuu yhä ja uusia 5G-tukiasemia rakennetaan parhaillaan ympäri maailmaa. 4G- ja 5G-verkkoja tullaankin käyttämään vielä rinnakkain useiden vuosien ajan (Telia s.a.b).

3 6G-teknologia

6G tarkoittaa kuudennen sukupolven (englanniksi sixth generation) langatonta verkkotekniikkaa. 6G:n kehittäminen on jo kovassa vauhdissa ja Suomi on ollut siinä yksi kärkimaista maailmassa. Vuonna 2018 Suomessa käynnistettiin 6G Flagship–niminen tutkimusohjelma, joka oli maailman ensimmäinen laaja 6G-tutkimusohjelma. Vuonna 2022 perustettiin 6G Finland–niminen yhteenliittymä, jonka tarkoituksena on edistää Suomen 6G-kilpailukykyä. Tähän yhteenliittymään kuuluu merkittävimmät tietoliikenteenalan tutkimus- ja kehitystoimijat, joita ovat muun muassa Tampereen Yliopisto, Helsingin Yliopisto, Aalto-yliopisto, VTT, Puolustusvoimien tutkimuslaitos sekä Nokia Bell Labs. (Tampereen yliopisto 2022.)

Muita maita, joissa 6G-teknologiaa kehitetään kovaa vauhtia, ovat muun muassa Etelä-Korea, Kiina, Japani, Taiwan, Alankomaat ja Yhdysvallat. Kiinassa telekommunikaatio yhtiö Huawei on ilmoittanut aloittavansa 6G:n tutkimisen. Muita suuryrityksiä, jotka ovat aloittaneet omat 6G tutkimuksensa ovat muun muassa Sony, Ericsson, Intel ja Samsung. (Whatis6g 2020b; TeckNexus 2023.)

6G:n arvioidaan tulevan markkinoille ja kuluttaja käyttöön 2030-luvulla (Mikrobitti 2021). Etelä-Korea on ilmoittanut tavoitteekseen julkaista oman 6G-verkkonsa jo vuonna 2028, muutamaa vuotta ennen muita maita. Onnistuakseen tavoitteessaan Etelä-Korea aikoo ottaa käyttöön uusinta teknologiaa ja ohjelmistoja sekä kannustaa paikallisia yrityksiä kehittämään materiaaleja ja komponentteja 6G-verkon rakentamiseen. (TeckNexus 2023.)

3.1 6G:n mahdollistavat teknologiat

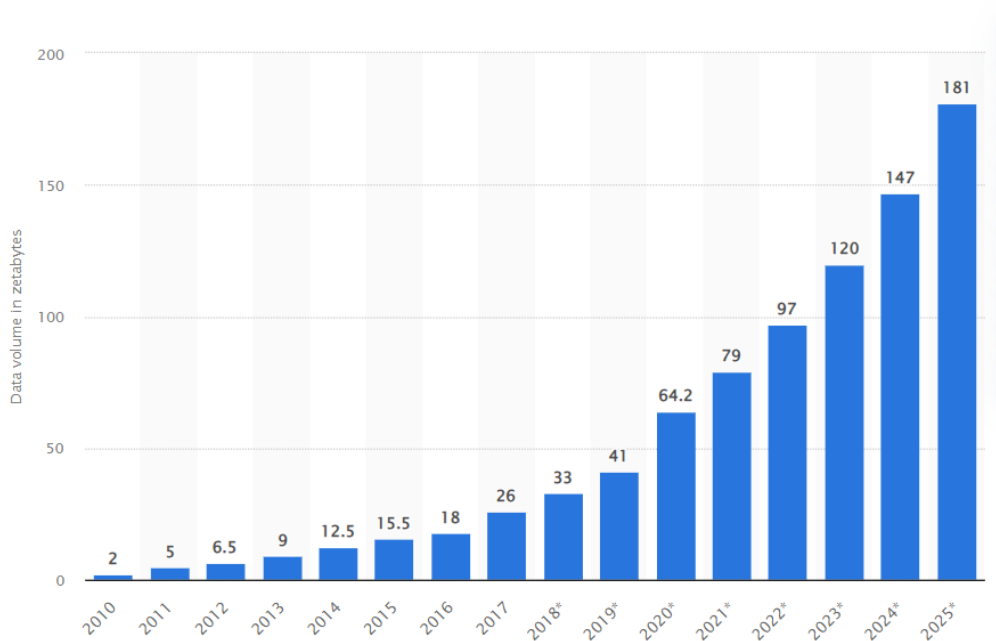
Keskeisimpiä 6G-järjestelmän mahdollistavia teknologioita arvioidaan olevan muun muassa tekoäly (AI), terahertsi taajuus, 3D-verkko, langaton tiedon ja energian siirto (WIET), optinen langaton viestintä (OWC) sekä miehittämättömät ilma-alukset (UAV) (Ahmed, Chowdhury, Jang & Shahjalal s.a, 2).

Tekoälyn arvioidaan olevan tärkein 6G-järjestelmän mahdollistava teknologia. Tekoäly lisää tehokkuutta, vähentää käsittelyviivettä, mahdollistaa automatisaation ja se yksinkertaistaa sekä parantaa reaaliaikaista tiedonsiirtoa. Terahertsi taajuus mahdollistaa erittäin suuret tiedonsiirtonopeudet. Myös miehittämättömät ilma-alukset (UAV) tulevat olemaan tärkeä osa 6G:n langatonta viestintää. UAV teknologia tarjoaa korkeat langattomat tiedonsiirtonopeudet ja se tukee langatonta lähetystä sekä suurnopeuslähettyksiä, kun matkapuhelintukiasemaa ei ole lähietäisyydellä. (Ahmed, Chowdhury, Jang & Shahjalal s.a, 4-7.)

5G:n yhteydessä mainittu massive MIMO tulee olemaan iso tekijä myös 6G-tekniikan kehittämisessä. Massive MIMO parantavan spektristä tehokkuutta, lisää verkon kattavuutta ja kapasiteettiä (Astely, Butovitsch, Faxer & Larsson 2022).

3.2 Miksi 6G:tä tarvitaan?

Ihmiskunnan tuottaman, jakaman ja säilömän tiedon määrä on kasvanut eksponentiaalisesti historiamme aikana (kuva 3). Tällä hetkellä tiedon määrä maailmassa kaksinkertaistuu aina kahden toista tunnin välein. Tästä seuraa se, että tulevaisuudessa vaatimukset verkkoyhteyksiämme kohtaan tulevat kasvamaan merkittävästi. On arvioitu, että 6G pitäisi suunnitella siten, että se toisi vähintään 20 kertaa isompaa kapasiteettiä kuin sen edeltäjä 5G. (Holma & Viswanathan 2021.) 6G-tekniikan odotetaan tarjoavan suurempaa kapasiteettiä, pienempää viivettä sekä huomattavasti suurempaa nopeutta tiedon siirtoon (Mikrobitti 2021).



Kuva 3. Ennuste datan määrän kasvusta (Taylor 2022)

Nopeuden ja kapasiteetin lisäksi 6G:n kehittämisen taustalla on myös tarve parantaa verkon energia-, taajuus- ja toimintatehokkuutta (Habibi, Han, Jiang & Schotten 2021). Nokia Bell Labsin mukaan tärkeä vaatimus 6G:n suunnittelussa on se, että energiankulutus skaalautuisi verkkoliikenteen mukaan. Kun verkkoliikenne lähestyisi nollaa niin energiankulutus menisi myös nollaan.

6G:n pitäisi myös hyödyntää erilaisia teknologisia edistysaskeleita keskimääräisen kokonaisenergiakulutuksen vähentämiseksi 50 prosentilla verrattuna 5G-teknologiaan. (Du, Holma, Viswanathan & Weseman 2023, 15.)

3.3 Miten 6G eroaa edeltäjästään 5G:stä?

5G-verkko ja 6G toimivat eri taajuuksilla. 5G toimii mikro- ja millimetriaaltojen taajuuksilla kun taas 6G käyttää terahertsi taajuuksia (Mikrobitti 2021). Korkeampien taajuuksien käyttö mahdollistaa huomattavasti suuremmat tiedonsiirtonopeudet. Mikrobittin artikkelin mukaan 5G:n nopeuden tavoitetaso on gigabittitaso, mutta yleisimmin nopeus jää vain satoihin megabitteihin. 6G:n nopeudeksi taas arvioidaan vähintään gigabittejä sekunnissa ja nopeus voisi yltää jopa terabittitasolle asti. Yhden terabitin nopeuteen kertoo pyrkivänsä ainakin Samsung, joka tavoittelee myös alle sadan mikrosekunnin latenssia. Tämä tarkoittaisi sitä, että verkkoviive putoaisi jopa kymmenesosaan 5G:n verkkoviiveeseen verrattuna. Terabitin nopeus taas tarkoittaisi sitä, että siirtoyhteydet olisivat 50 kertaa nopeampia 5G teknologiaan verrattuna. (Mikrobitti 2021.) Kuvassa 4 vertaillaan 5G:n ja 6G:n ominaisuuksia.

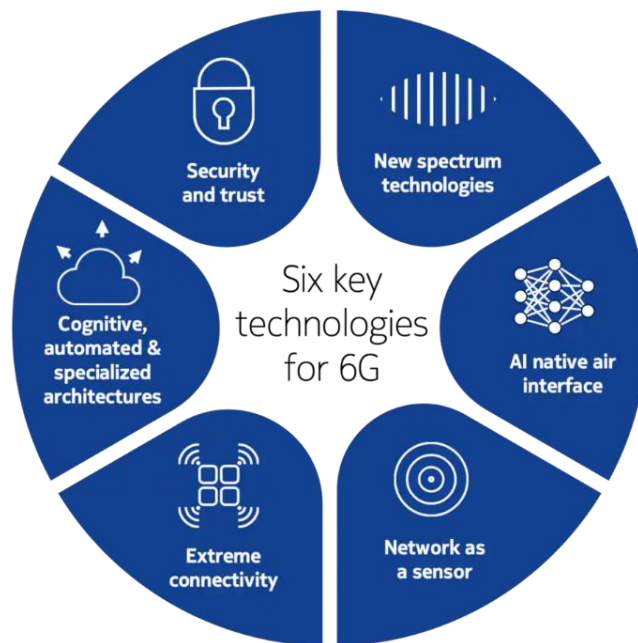


Kuva 4. 5G:n ja 6G:n ominaisuuksien vertailua (mukaillen Abdel Hakeem, Hussein & Kim 2022)

Nokian mukaan 5G tulee mahdollistamaan rakenteen, jossa huipputeknologioita voidaan hyödyntää älykaupunkeihin, tehtaisiin, robotiikkaan ja esineiden internetiin. 6G tulee täyttämään nämä samat odotukset, mutta tehokkaammin. (Nokia 2022.)

3.4 6G:n käyttökohteet

6G-verkkotekniikalle on lukuisia eri potentiaalisia käyttökohteita. Tässä opinnäytetyössä keskitytään osaan näistä eri käyttökohteista ja esitellään niistä mahdollisesti kaikkein merkittävimmät. 6G:tä kehittävät tahot jakavat visioissaan 6G:n käyttökohteita ja teknologioita omiin pääryhmiinsä. Esimerkiksi Nokia Bell Labsin visiossa 6G-teknologia voidaan jakaa kuuteen eri teknologiseen alueeseen (kuva 5). Nämä alueet ovat tekoäly ja koneoppiminen, taajuuskaistat, aistiva verkko, äärimäinen liitettävyyden, kognitiiviset, automaattiset ja erikoistuneet arkkitehtuurit sekä turvallisuus ja luotettavuus. (Nokia 2022.)



Kuva 5. Kuusi keskeistä 6G-teknologiaa (Nokia 2021)

Yksi mielenkiintoisimmista Nokian visioimista innovaatioista on 6G:n kyky havainnoida ympäristöä aistivan verkon avulla. Heidän mukaansa kaikkialla läsnä oleva verkko toimisi tilannetietoisuuden lähteenä, joka kokoaisi esineistä kimpoavia signaaleja ja voisi määrittää niiden avulla esineen muodon, tyypin, materiaalin, sijainnin ja nopeuden. Tämän jälkeen 6G voisi luoda yhdessä muiden tunnistusmenetelmien avulla fyysiseen maailmaan digitaalisen kaksoiskappaleen esineestä. (Nokia 2022.)

Myös Samsung visioi 6G:n käyttämistä digitaaliseen jäljentämiseen. Digitaalisten kaksosten avulla voitaisiin seurata ja tutkia todellisuutta virtuaalimaailmassa ilman alueellisia tai ajallisia rajoituksia. Samsungin visiossa 6G voidaan jakaa kolmeen pääpalveluun, jotka ovat digitaalisten kaksosten tekeminen, mukaansatempaava laajennettu todellisuus (XR) ja korkealaatuinen mobiilihologrammi. Mukaansatempaavassa laajennetussa todellisuudessa yhdistyisivät virtuaalitodellisuus (VR), lisätty todellisuus (AR) ja yhdistetty todellisuus (MR). Sitä voitaisiin hyödyntää esimerkiksi lääketieteessä, koulutuksessa, teollisuudessa ja viihdeteollisuudessa. Mobiilihologrammi tarkoittaa teknologiaa, jossa eleitä ja kasvojen ilmeitä voitaisiin esittää holografisen näytön avulla. Tähän kuitenkin tarvittaisiin erittäin korkeatasoinen tiedonsiirtonopeus, joka olisi satoja kertoja suurempi kuin tämänhetkisessä 5G-järjestelmässä. (Samsung Research s.a., 13-15.)

6G:n eri käyttökohteisiin perehdytään syvemmin empiirisessä osassa, jossa käydään läpi 6G:n mahdollistamia teknologioita.

4 Mitä hyviä ja huonoja puolia 6G-teknologialla on?

Tässä osassa opinnäytetyötä siirrytään tutkimaan 6G-teknologian mahdollisuuksia ja haasteita. Tutkimusmenetelmäksi valikoitui kvalitatiivinen kirjallisuustutkimus, jossa analysoidaan 6G aiheisia tutkimuksia, artikkeleita sekä siihen liittyviä tieteellisiä julkaisuja. Tämä tutkimusmenetelmä valittiin, sillä tutkimuksen tavoitteena on analysoida monipuolisesti 6G:n hyviä sekä huonoja puolia. Tämä onnistuu parhaiten, kun analysoidaan olemassa olevaa tutkimustietoa. Esimerkiksi jos tutkimusmenetelmänä olisi käytetty kyselyä, ei saataisi tutkimuksiin perustuvaa tietoa tai näkökulmia aiheesta.

Lähteiksi valikoitui tieteellisiä julkaisuja aiheesta sekä lehdissä julkaistuja artikkeleita, joissa on haastateltu 6G:n kehitystyössä mukana olevia henkilöitä. Tutkimuksessa hyödynnettiin myös esimerkiksi 6G:tä kehittävien tahojen kuten Samsungin ja Nokia Bell Labsin julkaisuja, sekä maailman johtavien matkapuhelinverkko-operaattorien perustaman avoimen foorumin NGNM Alliancen (Next Generation Mobile Networks Alliance) analyysiä.

4.1 6G:n hyvät puolet

6G aiheiset tutkimukset hehkuttavat 6G-teknologiaa, sen ominaisuuksia sekä sen tuomia mahdollisuuksia. 6G voisi mahdollistaa 5G:tä tehokkaammin rakenteen, jossa huipputechnologioita voidaan hyödyntää älykaupunkeihin, tehtaisiin, robotiikkaan ja esineiden internettiin (kappale 3.3). Nokia Bell Labsin mukaan 6G voisi myös mahdollistaa täysin langattomat yhteydet, ainakin lyhyen kantaman tiedonsiirrossa (Nokia Bell Labs 2023, 17). Nokian mukaan 6G tulisi jopa muotoilemaan uudelleen verkkoviestinnän käsitteen (Nokia 2022). Tällä he todennäköisesti viittaavat 6G:n tarjoamaan täysin langattomaan yhteyteen sekä siihen, että 6G:n avulla voitaisiin luopua fyysisistä matkapuhelimista.

Kuten kappaleessa 3.3 kerrottiin, 6G on huomattavasti nopeampi ja tehokkaampi kuin edelliset langattoman verkkoteknologian sukupolvet. Se myös tarjoaa äärimmäisen pienen verkkoviiveen eli latenssin. Äärimmäisen pieni latenssi on välttämätön monien tulevaisuuden teknologioiden, kuten esimerkiksi itseajavien autojen tai tehokkaiden VR-lasien mahdollistamiseksi. Nopeuden ja latenssin lisäksi 6G:n ajatellaan myös parantavan verkon energia-, taajuus- ja toimintatehokkuutta (kappale 3.2).

6G olisi myös hyvin joustava ja mukautuva. Nokia Bell Labsin mukaan soveltamalla AI/ML-tekniikoita langattomiin järjestelmiin 6G-radiolaitteet voisivat oppia toisiltaan, ja verkon solmupisteet voisivat itse päättää parhaan mahdollisimman tavan kommunikoida. Tämä tarkoittaisi sitä, että verkot voisivat mukautua mihin tahansa käyttötarkoitukseen, tietolähteeseen tai sovellukseen. Tällaisesta

joustavuudesta olisi paljon hyötyä esimerkiksi teollisuuden viestintäjärjestelmissä. (Nokia Bell Labs 2023, 8-10.)

6G-tekniikan nopeus, tehokkuus ja mukautuvuus tarjoaa mahdollisuuden kehittää aivan uudenlaisia keksintöjä ja uusia teknologioita. Seuraavissa alakappaleissa tutustutaan teknologioihin, jotka 6G voisi mahdollistaa. Kyseiset teknologiat vaatisivat äärimmäisen pientä latenssia ja 6G:n tarjoamaa terahertsi nopeutta toimiakseen tehokkaasti. Näillä teknologioilla voisi olla potentiaalia auttaa ja edistää ihmiskuntaa monella eri osa-alueella.

4.1.1 Ihmisten ja koneiden välinen vuorovaikutus

NGMN Alliancen analyysin mukaan 6G:n avulla ihmiset voisivat olla vuorovaikutuksessa laitteiden kanssa tai ohjata laitteita pelkällä ajatuksen voimalla. 6G mahdollistaa aivo-tietokone rajapintoja (englanniksi Brain-computer Interfaces, BCIs), joiden avulla voidaan jakaa tunteita ja ajatuksia ihmisen ja koneen välillä, sekä ihmisten välillä. Tämän rajapinnan avulla voitaisiin kokea myös jonkinlainen telekineesi, jossa ajatukset toteutuisivat välittömästi ilman, että ihminen fyysisesti esimerkiksi liikuttaisi tai koskettaisi jotain laitetta. (NGMN 2022, 13.) Aivo-tietokone rajapinnat voisivat myös helpottaa vammautuneiden henkilöiden elämää. BCIs proteesien avulla fyysisesti vammautuneet henkilöt voisivat taas kokea tuntoaistimuksia esimerkiksi proteesikädellä ja liikuttaa sitä ajatuksen voimalla. BCIs teknologiaa voitaisiin myös hyödyntää armeijan käytössä. Sotilaat voisivat esimerkiksi ohjata droneja ajatuksensa voimalla keskellä taistelukenttää. (U.S. Government Accountability Office 2022.) BCIs kuitenkin herättää eettisyyteen ja turvallisuuteen liittyviä kysymyksiä, joita pohditaan kappaleessa 5.1.

Nokia Bell Labsin mukaan 6G mahdollistaisi aistivan verkon ja digitaaliset kaksoiset, joiden avulla ihmisten aisteja voitaisiin laajentaa. Tämä tarkoittaa heidän mukaansa sitä, että 6G-verkosta tulisi meidän kuudes aistimme. Tämän aistin avulla voitaisiin välttää esimerkiksi liikenne onnettomuuksia, kun olisi mahdollista aistia näkökentän ulkopuolelta tulevat autot. Aistivalla verkolla voitaisiin myös täydentää muita havaitsemiseen tai aistimiseen tarkoitettavia teknologioita. Esimerkiksi yhdistämällä aistivan verkon ja kameran, voitaisiin havaita kohteita savun, pimeyden tai pölyn keskeltä. (Nokia Bell Labs 2023, 13-14.)

6G:n avulla voitaisiin myös kehittää käyttäytymisen internettiä (englanniksi Internet of Behaviour, IoB). IoB:tä käyttävät koneet pyrkisivät ymmärtämään ja kopioimaan ihmismieltä, ja yrittäisivät havaita ja ajatella kuten ihmiset. Tämä mahdollistaisi sen, että koneet voisivat aistia mitä ihmiset tekevät ja päätellä mitä he haluavat. Koneiden ja ihmisten välisistä vuorovaikutuksista tulisi

samanlaisia kuin ihmisten välisistä. Tätä voitaisiin hyödyntää muun muassa itseajavissa autoissa ja terveydenhuollon roboteissa. (NGMN 2022, 13-14.)

Myös robottien ja ihmisten välisen vuorovaikutuksen odotetaan syventyvän 6G:n avulla. NGMN kertoo analyysissään, että tämä tapahtuisi yhteistyökykyisten robottien eli kobottien muodossa. Kobotti voi olla erillinen kone tai ihmiseen mukautuva pyörätuoli tai eksoskeleton (ulkoinen tukiranka). Kobottien odotetaan pystyvän lukemaan ja tulkitsemaan ihmisten aikeita ja tekoja sekä reagoimaan niihin luotettavalla tavalla. Tämä mahdollistaa sen, että kobotit voisivat auttaa ihmisiä turvallisesti sekä tehokkaasti. Kobotit voisivat auttaa vanhusten ja vammaisten hoidossa tehden raskaat työt ihmisten puolesta. Digitaalisten kaksosten avulla kobotit voisivat toimia kollegoina haastavissa teollisuuden tehtävissä. (NGMN 2022, 14-15.)

4.1.2 Digitaalinen terveydenhuolto

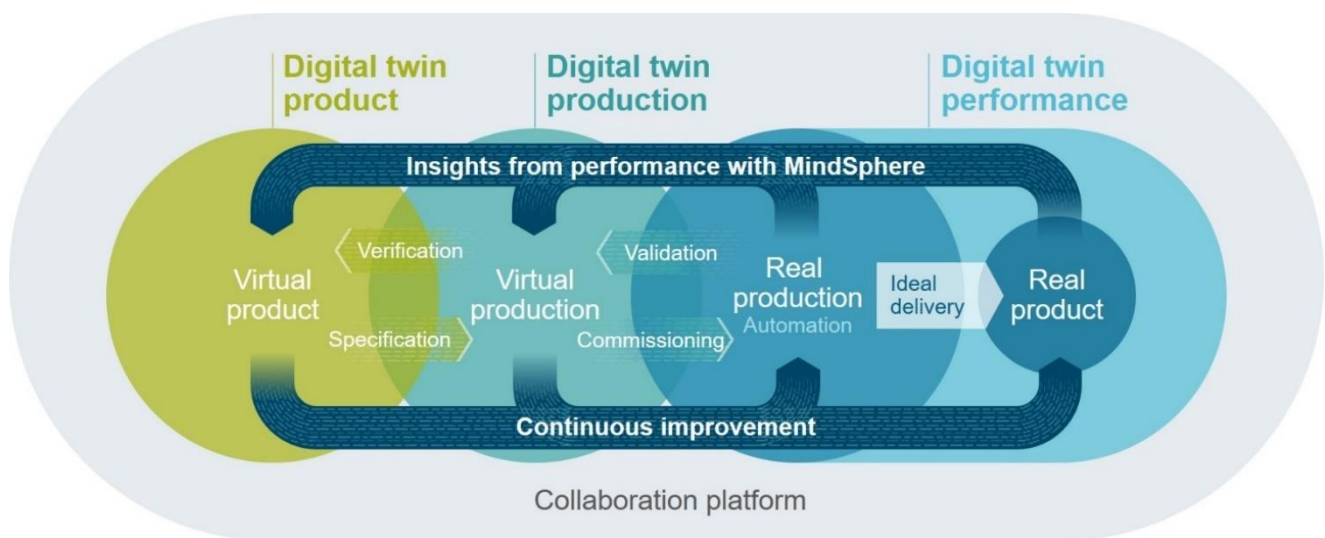
NGMN kertoo analyysissään, että 6G:n myötä terveydenhuolto muuttuisi digitaalseksi terveydenhuolloksi. 6G mahdollistaisi elintoimintojen ja terveyden seuraamisen reaaliajassa, sisäisten laitteiden ja puettavan teknologian avulla. Kehon sisäiset laitteet kommunikoisivat kehon ulkopuolella olevien laitteiden kanssa, jotka siirtäisivät kehosta tulevaa dataa internettiin, jossa analysoidaan digitaalista kehon kaksoiskappaletta. Terveydenhuollossa hyödynnettäisiin myös XR-työkaluja yhdessä haptisten tietojen kanssa. Näiden avulla lääkärit voisivat saada tietoa muun muassa kohteen liikkeistä, voimasta, pinnasta, kosketuksesta ja värinästä ja he voisivat kokea mukaansatempaavia kokemuksia hyödyntäen digitaalisesta kaksosesta saatavia näkemyksiä. (NGMN 2022, 16.)

Yle uutisten artikkelin mukaan 6G-verkkosignaali voisi toimia kuin tutka, eli sillä voitaisiin kuvantaa ihmisiä tai kohteita ilman perinteistä kameraa. Artikkelissa Oulun yliopiston professori Olli Silvén kertoo, että ”Radiotekniikan avulla voidaan mitata esimerkiksi ihmisen hengitystaajuutta tai sydämen sykettä sen mukaan, miten tarkkailtavan henkilön kehon mittasuhteet muuttuvat”. 6G-radioaaltoja käyttämällä voitaisiin siis nähdä ja havainnoida jos esimerkiksi ihminen kaatuisi kotonaan maahan saatuaan sairaskohtauksen. Radiosignaalin avulla voitaisiin selvittää tämän kohtauksen syy ja tämän tiedon perusteella voitaisiin lähettää apua paikalle. (Hintsala 5.2.2023).

4.1.3 Älyteollisuus

6G-teknologia mahdollistaisi myös älyteollisuuden, joka NGMN:n mukaan ottaisi huomioon hiilijalanjäljen pienentämisen, ympäristötietoisuuden ja resurssien kiertokulun. Älyteollisuus kattaisi koko liiketoimintaprosessin sekä tuotantoprosessit. Älyteollisuudessa itse tuotantoprosessi ja kaikki

tuotannon vaiheet aina tuotesuunnittelusta valmistusprosessiin ja toimitukseen muodostaisivat omat suljetut kiertonsa (englanniksi closed loop). Suljetulla kierrolla tarkoitetaan tuotannon suorituskyvyn seurannan, säätämisen ja optimoinnin välisen viestinnän palautekehää, joka mahdollistaa tuotannon itseoptimoinnin. Suljetussa kierrossa arvioidaan datan ja analyysin avulla prosessissa tapahtuvia vikoja ja ruuhkia. Älyteollisuudessa suljetut kierrot tapahtuisivat fyysisen ja digitaalisen maailman välillä. (Martinsson 9.4.2019; NGMN 2022, 17-18.) Digitaalisten kaksosten hyödyntäminen suljetussa kierrossa mahdollistaisi lähes reaaliaikaisten optimointipäätösten tekemisen ja tuntemattomien tekijöiden poistamisen tuotannossa (kuva 6) (Maloney 15.1.2019).



Kuva 6. Digitaalisten kaksosten hyödyntäminen suljetussa kierrossa (Maloney 15.1.2019).

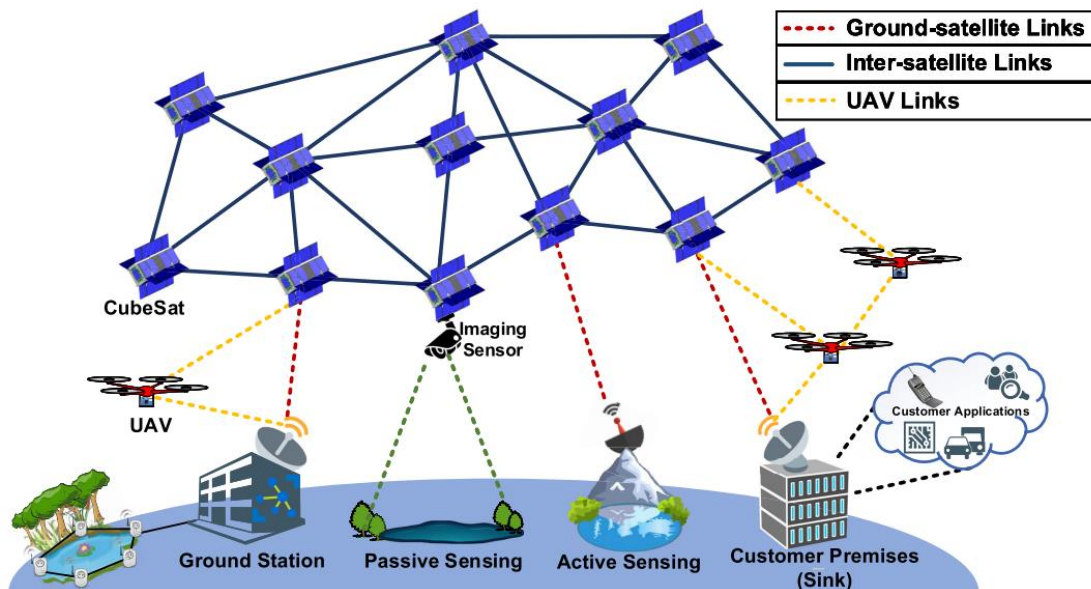
Tuotteiden suunnittelussa voitaisiin käyttää apuna myös yhdistettyä todellisuutta (MR). Tämä mahdollistaisi tuotteiden suunnittelun, testaamisen ja rakentamisen virtuaalisessa ympäristössä tai virtuaalisen ja oikean maailman sekoituksessa. Tällä tavoin voitaisiin varmistaa tuotteen toimivuus vaaditussa ympäristössä ennen kuin sen valmistus aloitetaan. (NGMN 2022, 18.)

6G:tä voitaisiin hyödyntää myös liikkeenohjauksessa, joka vastaa laitteen sekä laitteiden osien liikkumisesta ja kontrolloimisesta. Pienemmällä latenssilla, erittäin tarkalla synkronoinnilla sekä korkealla tiedonsiirron luotettavuudella voidaan mahdollistaa parempi liikkeenohjaus ja erittäin tehokas tuotantoprosessi sekä korkealaatuisempien tuotteiden valmistaminen. (NGMN 2022, 18.)

6G:n uskotaan myös mahdollistavan automatisoidun toimitusketjun. 6G-liitettävien mikrotunnisteiden avulla voitaisiin yksinkertaistaa tavaroiden tullaamista, seuraamista ja turvatarkastamista ja sen avulla päästäisiin eroon manuaalisista häiriöistä. (Hexa-X 2021, 42.) Mikrotunnisteiden käyttö voisi myös auttaa vähentämään materiaalien kulutusta ja tehostaa resurssien kiertokulkua. Toimitusketjujen tehokkuutta voitaisiin lisätä myös tavaroita kuljettavilla droneilla ja älykkäillä roboteilla. (NGMN 2022, 18.)

4.1.4 IoST

6G tulee myös olemaan olennainen osa IoST:n (englanniksi Internet of Space Things eli avaruus esineiden internet) kehittämistä. IoST tarkoittaa esineiden internetin (IoT) laajennusta maanpäällisistä sovelluksista avaruuteen. IoT:n laajeneminen avaruuteen on tulevaisuuden tietoliikenneverkkojen kannalta tarpeellista, sillä perinteisiä IoT ratkaisuja käyttämällä on mahdotonta saavuttaa maailmanlaajuinen kattavuus. IoT perustuu olemassa olevaan infrastruktuuriin, joka ei tarjoa tarpeeksi skaalautuvuutta eikä joustavuutta. Kattavuuden saavuttaminen on erityisen hankalaa ja kallista syrjäisillä alueilla kuten napa-alueilla. (Akyildiz, Kak & Nie 2020, 20.)



Kuva 7. Havainnollistava kuva IoST:stä (Akyildiz, Kak & Nie 2020, 20)

IoST on suunniteltu olevan kaikkialle ulottuva kyberfyysinen järjestelmä, joka kattaisi maan, ilman ja avaruuden. Kuvassa 7 havainnollistetaan IoST-järjestelmää, joka muodostuu maa- ja avaruus-segmenteistä. Maasegmentin muodostavat maanpäälliset anturilaitteet, asiakkaiden toimitilat sekä maa-asemat. Avaruussegmentin muodostavat avaruusanturilaitteet, CubeSats-satelliitit ja UVA-alukset. (Akyildiz, Kak & Nie 2020, 20.) CubeSats-satelliitit ovat olennainen osa IoST-järjestelmää, ja ne ovat osoittautuneet lupaavaksi ratkaisuksi maailmalaajuisten yhteyksien luomiseen alhaisin kustannuksin (Akyildiz & Kak 2020).

IoST järjestelmän uskotaan olevan turvallinen, kustannustehokas ja joustava. Sitä voitaisiin hyödyntää muun muassa avaruuden tutkimiseen, maaston ja omaisuuden seurantaan, maailmalaajuisten liikenteen hallintaan, kaukokartoitukseen ja internetpalveluiden tarjoamiseen alueilla, joissa ei ole internetyhteyttä. Sillä voitaisiin myös yhdistää fyysisiä esineitä, laitteita ja ajoneuvoja erilaisiin maanpäällisiin ja maanläheisiin päätepisteisiin (esimerkiksi maanalaisiin tai vedenalaisiin päätepisteisiin). IoST tarjoaisi täysin integroidun järjestelmän, joka mahdollistaisi aktiivisen ja passiivisen havainnoinnin sekä tiedonsiirron. (Georgia Institute of Technology s.a.)

4.1.5 Mobiilihologrammit

Nokian toimitusjohtajan Pekka Lundmarkin mukaan mobiilihologrammit mahdollistaisivat aivan uuden tavan kommunikoida. Hän kertoo MTV- uutisten artikkelissa, että 6G:n avulla voitaisiin jopa luopua fyysisestä matkapuhelimesta. (Korhonen 4.6.2022.) Maailman talous foorumin paneelissa vuonna 2022 hän kertoi, että tulevaisuudessa älypuhelimet eivät ole enää yleisin käyttöliittymä, vaan monet näistä laitteista rakennetaan suoraan meidän kehoomme (Shead 24.5.2022). Lundmarkin mukaan tulevaisuudessa puhelu voisi olla sellainen, että sanotaan, kenelle halutaan soittaa ja sitten eteen ilmestyisi hologrammikuva puhelun vastapuolesta. Puhelun ääni kuulostaisi siltä kuin se tulisi samasta huoneesta. (Korhonen 4.6.2022.)

Mobiilihologrammeja voisi hyödyntää kommunikoinnin lisäksi myös esimerkiksi terveydenhuollossa ja koulutuksessa. Terveydenhuollossa lääkärit ja kirurgit voisivat hyödyntää hologrammiteknologiaa diagnostiikan ja hoitosuunnitelmien parantamiseksi. Hologrammiteknologia mahdollistaisi sen, että he voisivat prosessoida kuvia ihmisen kehosta ja muuntaa ne 3D-kuviksi. Koulutuksessa hologrammit voisivat helpottaa oppimista, sillä ne voisivat mahdollistaa abstraktien käsitteiden visualisoinnin ja lisätä käsitteellistä selkeyttä. (Brady & Lancellotti 15.3.2023.)

4.1.6 Miehitämättömät ilma-alukset

6G-tekniikan kehittymisen myötä tekoälypohjaiset ratkaisut voisivat auttaa ratkomaan yhteysongelmiä taivaalla (Alashbi, Alhammandi, Azmi, Banafaa, Daradkeh, Din & Shayea 2023). Miehitämättömät ilma-alukset (UAV), jotka tunnetaan myös droneina, tarjoavat matkapuhelinyhteyden taivaalta käsin, niihin asennettujen tukiasemien avulla. Miehitämättömät ilma-alukset tarjoavat korkean langattoman tiedonsiirtonopeuden lisäksi ominaisuuksia, joita ei löydy kiinteistä tukiasema infrastruktuureista. Näitä ominaisuuksia ovat esimerkiksi helppo käyttöönotto sekä liikkuvuus. (Ahmed, Chowdhury, Jang & Shahjalal s.a, 4-7.) Miehitämättömät ilma-alukset voivat olla todella pienikokoisia ja kevyitä, ja lepotilassa ne voisivat pysyä ilmassa jopa yhden kuukauden ajan (Leino 14.10.2021).

Miehitämättömillä ilma-aluksilla voidaan kartoittaa ympäristön, rakenteiden ja kasvillisuuden tilaa ja sen avulla voidaan luoda ympäristöstä digitaalinen kaksonen. Tämän avulla taas voidaan tarkkailla mahdollisia huoltotarpeita ja muutoksia ympäristössä, tai seurata ketä tilassa liikkuu. (Leino 14.10.2021.) Miehitämättömiä ilma-aluksia voidaan hyödyntää muun muassa maataloudessa, armeijan tarpeissa, kuljetuksessa, ilmakuvaus- ja valvonnassa. UAV-tekniikkaa voidaan myös hyödyntää epävakaisissa ympäristöissä ja hätätilanteissa, joissa maanpäällisen viestintä infrastruktuurin asentaminen olisi mahdotonta tai se olisi taloudellisesti liian kallista. (Ahmed, Chowdhury, Jang & Shahjalal s.a, 4-7.)

4.2 6G:n huonot puolet

Tällä hetkellä kuluttajakäyttöön lanseerattu 5G ei ole vielä tähän mennessä (vuonna 2023) täyttänyt niitä lupauksia, mitä siltä on odotettu ja sen kehittäminen onkin vielä kesken. Seuraavaa sukupolvea 6G:tä tutkivat ja kehittävät tahot hehkuttavat jo nyt 6G-verkon nopeutta ja sitä, kuinka se tulee mullistamaan meidän elämäämme. 5G:n tämänhetkinen keskeneräisyys kuitenkin muistuttaa meitä siitä, että uusien teknologioiden kehittämisessä menee oma aikansa ja matkan varrella voi tulla vastaan teknisiä haasteita, jotka pitää ratkaista, ennen kuin uusi teknologia saadaan laajaan kuluttajakäyttöön. Uusiin teknologioihin voi liittyä teknisten haasteiden lisäksi myös turvallisuus riskejä, joita käsitellään seuraavissa kappaleissa.

4.2.1 Tekniset haasteet

Tekniikka&Talous-lehden artikkelin mukaan 6G:n kehittämistä varjostaa kaksi ongelmaa, joita tutkijat eivät ole vielä pystyneet ratkaisemaan. Tutkijoiden mukaan 6G-teknoologiaan käytetään niin korkeita taajuuksia, että nykyisten teknologioiden rajat tulevat vastaan. Radiotekniikalla ei ole vielä tarjota kaupallisesti järkeviä ratkaisuja, joiden avulla voitaisiin toteuttaa soluverkkoja terahertsin taajuusalueella. Korkea lähetystaajuus itsessään tuo jo ongelmia, sillä korkeilla lähetystaajuuksilla signaalit liikkuvat huonommin ja niiden on vaikeampi läpäistä esteitä. Suuren lähetystehon generointi on myös haastavaa korkeilla taajuuksilla. (Pulliainen 20.6.2022.)

Toinen ongelma artikkelin mukaan on se, että nykyinen transistorien valmistamisessa käytetty cmos-puolijohdeteknologia lähentelee rajojaan. Transistorin nopeuteen vaikuttaa myös entistä pienemmät rakenteet, jotka aiheuttavat häviötä. Oulun yliopiston professori Aarno Pärssisen mukaan tutkijat eivät ole tähän päivään mennessä löytäneet mitään, jolla he voisivat päästä transistorin teoreettiseen nopeuteen. Professori Pärssisen mukaan tähän ratkaisuna voisi olla se, että radiopiirit suunniteltaisiin toisilla teknologioilla. (Pulliainen 20.6.2022.)

Myös 6G:tä kehittävän Samsungin mukaan terahertsi taajuuden käyttäminen aiheuttaa teknisiä haasteita. Heidän mukaansa terahertsin haasteena ovat signaalin voimakas vaimeneminen sekä ilmakehän absorptio. Tämä tarkoittaa sitä, että ilmakehässä olevat molekyylit hidastavat terahertsi taajuisen signaalin liikettä. Happi- ja vesimolekyylien absorptiolinjat sijaitsevat juuri enimmäkseen terahertsi taajuuskaistalla, tehden terahertsi kaistasta alttiimman ilmakehän absorptiovaikutukselle. Tähän ratkaisuksi Samsung ehdottaa ultra-massive MIMO-antennijärjestelmän käyttämistä. (Samsung Research s.a., 23.)

Teknisiä haasteita on myös lähettimien jäädyttämisessä. Oulun yliopiston professori Matti Latva-ahon kertoo Mikrobitti lehden artikkelissa, että ”Tyypillisesti antennielementtejä ladotaan puolen aallonpituuden välein. Kun pienellä pinta-alalla on paljon elementtejä, lämpenemishaasteesta tulee aikamoinen.” Myös Latva-aho nostaa artikkelissa esiin 6G-signaalin heikkouden. Hänen mukaansa joka suuntaan säteilevän lähettimen kantama olisi sisätiloissa maksimissaan kymmenen metriä, kun taas kapeakeilaisella linkkiyhteydellä kantama olisi satoja metrejä. 6G-signaalin lyhyen kantaman takia verkoista pitäisi rakentaa tiheämpiä. (Pulliainen 2.2.2021.)

Lyhyen kantaman lisäksi 6G-signaalin kuuluvuuteen lisähaastetta tuo tiivis kaupunkirakentaminen sekä rakennuksissa käytetyt rakennusmateriaalit, jotka vaimentavat signaalin liikettä. Suomessa talojen ikkunoissa on käytetty 2000-luvun alusta lähtien selektiivilasia, joka lisää rakennuksen energiatehokkuutta. Selektiivilasissa oleva pinnoite kuitenkin vaimentaa mobiilisignaalin liikkumista ja tekee tiedonsiirrosta hitaampaa. Heikko signaali saa mobiililaitteet kasvattamaan lähetystehoja ja tämä voi kuumentaa mobiililaitteen sekä lisätä säteilyn määrää sisätiloissa. Selektiivilasin lisäksi myös muut rakentamisessa käytetyt materiaalit voivat estää signaalin kulkua. Tähän ongelmaan on kuitenkin kehitelty ratkaisuja, esimerkiksi antennilasien muodossa. Nokian entiset antennisuunnittelijat ovat kehitelleet antennilaseja, jotka tehostaisivat tulevan 6G-signaalin läpäisevyyttä merkittävästi. (Yritysmaailma s.a.) 6G-signaalin tehokas toimiminen sisätiloissa (erityisesti meillä Suomessa) voisi siis vaatia sen, että rakennuksiin asennettaisiin antennilasit vanhojen selektiivi-ikkunoiden tilalle. Antennilasien asentaminen jokaiseen asuin- ja toimistorakennukseen olisi kuitenkin kallista.

4.2.2 Turvallisuus

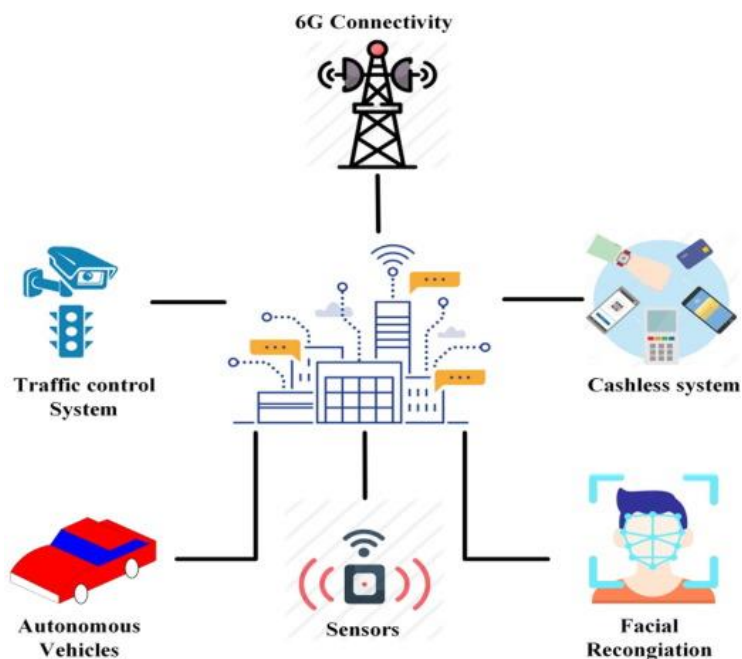
Teknisten haasteiden lisäksi yksi 6G-tekniikan tuomista haasteista on tietoturva. 6G-verkkoa tullessaan käyttämään kaikkialla läsnä olevana sensorina, joka hämärtää fyysisen ja digitaalisen maailman välistä rajaa. Jos sen turvallisuutta vahingoitettaisiin, niin siitä voisi seurata tiedon, rahan ja omaisuuden menettämistä. Turvallisuusongelmat voisivat myös estää laitteiden käyttöä tai jopa vahingoittaa ihmisiä fyysisesti. Fyysisessä maailmassa tuhoa voisi aiheuttaa myös kybersota, joka vaikuttaisi suoraan kansalliseen turvallisuuteen. (Parson Trommler s.a.)

4.2.3 Eettisyys ja yksityisyys

Useiden tutkijoiden sekä 6G:tä kehittävien tahojen, kuten Nokian (kappale 3.3) mukaan 6G:tä tullessaan hyödyntämään älykaupunkien ja ihmisten valvonnan kehittämisessä. Nokia Bell Labs visioi, että 2030-luvulla tapahtuisi massiivinen langattomien kameroiden käyttöönotto. Näitä antureina toimivia kameroita voitaisiin hyödyntää esineiden ja ihmisten tunnistamiseen. 6G-verkot mahdollistaisivat kehittyneemmän tekoälyn ja konenäön, mitkä puolestaan mahdollistavat sen, että kaikkialla olevat kamerat voisivat tunnistaa ihmisiä ja kasvoja tehokkaasti. 6G mahdollistaisi myös nopean pääsyn ihmisistä kerättyyn dataan. (Alashbi, Alhammandi, Azmi, Banafaa, Daradkeh, Din & Shaye 2023; Nokia Bell Labs 2020, 5.)

Tutkijoiden mukaan 6G:tä hyödynnettäisiin myös sellaisen yhteiskunnan kehittämisessä, joka toimisi ilman käteistä rahaa (Alashbi, Alhammandi, Azmi, Banafaa, Daradkeh, Din & Shayea 2023). Myös Nokia Bell Labs visioi, että käteisen sijaan tulevaisuudessa käytettäisiin digitaalista valuuttaa. Heidän mukaansa 2030-luvulla käytettäisiin digitaalisen rahan lisäksi myös digitaalisia avaimia. (Nokia Bell Labs 2020, 5.) Käteisen rahan lakkauttaminen voisi mahdollistaa sen, että valtiot voisivat tarkkailla ja kontrolloida ihmisten rahan käyttöä.

Tällaisen yhteiskunnan luominen ja valvonnan lisääntyminen voisi mahdollisesti rikkoa yksityisyyden suojaa ja luoda mahdollisuuden totalitaariseen kontrollointiin, jollaista esimerkiksi Kiinassa on harjoitettu sosiaalisen pisteytysjärjestelmän muodossa viime vuosina. Business Insider artikkelin mukaan Kiinassa käytössä oleva sosiaalinen pisteytysjärjestelmä mahdollistaa sen, että ”huonosti” käyttäytyvältä kansalaiselta voidaan muun muassa estää matkustaminen tai evätä opiskelu- tai työpaikka. Kiinan valtion mukaan huonosti käyttäytyviltä voidaan myös hidastaa internet-yhteyden nopeutta tai valtio voisi riistää koiran pois koiranomistajilta. (Canales & Mok 28.11.2022.) 6G tekisi tällaisen sosiaalisen pisteytysjärjestelmän ylläpidon tehokkaammaksi ja helpommaksi. 6G:n kehittäminen ei automaattisesti tarkoita sitä, että sitä käytettäisiin väärin, mutta se voi luoda tällaiselle toiminnalle paremmat edellytykset tehokkaampien ihmisten kontrollointiin soveltuvien teknologioiden ja niiden kehittymisen muodossa. Kuvassa 8 havainnollistetaan, miten älykaupungit voisivat käyttää 6G-teknologiaa.



Kuva 8. Älykaupungit käyttämässä 6G-mobiiliteknologiaa (Alashbi, Alhammandi, Azmi, Banafaa, Daradkeh, Din & Shayea 2023)

Euroopan komission 6G-lippulaivahankkeen Hexa-X:n visiossa tarkastellaan 6G:tä eettisestä näkökulmasta. Heidän mukaansa tulevaisuudessa verkot kattaisivat tiettyjä tekniikoita, jotka todennäköisesti koettelisivat nykyisiä eettisiä rajoja. Hexa-X visioi, että tulevaisuudessa käytettäisiin mini-kokoisia energiankeräyslaitteita, joita injektoitaisiin ihmisiin tai niitä nieltäisiin tai niitä voitaisiin asentaa implantteina ihmiskehon sisälle. Tämä herättäisi kysymyksiä terveysvaikutuksiin liittyen, sekä siihen, että kuka omistaisi tällaisten laitteiden datan. Hexa-X nostaa visiossaan myös esiin sen, että kaikkialle ulottuvien anturien ja laitteiden pitkäaikaisvaikutukset voisivat herättää huolta. Myös kasvava digitalisaatio voisi herättää huolta eettisestä näkökulmasta, sillä sensorit voivat seurata jokaista liikettämme vaikuttaen meidän yksityisyyteemme. (Hexa-X 2021, 23.)

4.2.4 Mahdolliset terveydelliset vaikutukset

6G:n edeltäjä 5G on herättänyt paljon keskustelua mikroaaltosäteilyn eli radiotaajuisen säteilyn vaikutuksista ihmisiin. Radiotaajuisen säteilyn vaikutuksista on tehty paljon tutkimuksia, joissa on havaittu säteilyn vaikuttavan ihmisiin negatiivisesti (Balmori 2022). On olennaista perehtyä myös seuraavien langattoman verkkotekniikan sukupolvien turvallisuuteen, jos aiempien sukupolvien on havaittu vaikuttavan ihmisten terveyteen.

5G-verkko tarvitsee aiempiin sukupolviin verrattuna tiheämmän verkoston tukiasemia, sillä sen kantama on lyhyempi kuin aiemmilla sukupolvilla. Suurempi määrä tukiasemia lisää säteilyn määrää ja tuo ne lähemmäksi ihmisiä. Monia tukiasemia on rakennettu asutusten, koulujen ja muiden julkisten rakennusten läheisyyteen. Esimerkiksi Yhdysvaltojen Wyandottessa 5G-tukiasema asennettiin ala-asteen katolle. 5G-tukiaseman rakennuttaminen näin lähelle pieniä lapsia herätti huolta oppilaiden vanhemmissa. (Francis 2.3.2023.) Kuten kappaleessa 4.4. kerrottiin, myös 6G-signaalin kantama on lyhyt, jopa lyhyempi kuin 5G:n. Lyhyempi kantama tarkoittaa sitä, että 6G-tukiasemia tarvittaisiin rakentaa vielä tiheämmin kuin 5G-tukiasemia.

6G:n vaikutuksia ihmisten terveyteen ei olla vielä laajasti tutkittu, mutta maailmalla on iso joukko tutkijoita, joiden mielestä mikroaaltosäteily on vaarallista ihmiselle, ja jotkut tutkijat epäilevät 6G:n edeltäjän 5G:n turvallisuutta. 430 tutkijaa ja lääkäriä eri puolilta maailmaa ovat allekirjoittaneet 5G Appeal nimisen valituksen, jossa he pyytävät Euroopan Unionia lykkäämään 5G-verkkojen käyttöönoton vedoten sen vaarallisuuteen (Nyberg & Hardell s.a.).

Radiotaajuisen säteilyn vaaroista on puhuttu jo pitkään tutkijoiden keskuudessa. Terveysjärjestö WHO kertoi vuonna 2011, että radiotaajuiset sähkömagneettiset kentät ovat mahdollisesti karsinogeenisiä ja ne lisäävät riskiä sairastua glioomaan, eli pahanlaatuiseen aivosyöpään (WHO 2011).

WHO:n lisäksi esimerkiksi tutkija Alfonso Balmori on tutkinut radiotaajuisen säteilyn vaikutuksia ihmisten terveyteen. Vuonna 2022 hän julkaisi tutkimuksen, jossa hän oli tehnyt katsauksen ole-massa olevaan tieteelliseen kirjallisuuteen, jossa käsitellään radiotaajuisen säteilyn vaikutuksia matkapuhelintukiasemien lähellä asuviin ihmisiin. Tässä tutkimuksessa keskityttiin selvittämään säteilyn vaikutuksia kolmeen terveyden osa-alueeseen: syöpään, biokemiallisten parametrien muu-tokseen ja radiotaajuussairauteen. Tutkimuksen tulos oli, että suurin osa tutkimuksista (jopa 73,6%) vahvisti radiotaajuisen säteilyn aiheuttavan vaikutuksia näillä kolmella terveyden osa-alueilla. (Balmori 2022.)

Tämän lisäksi hän mainitsee tutkimuksessaan, että kansainvälinen ionisoimattoman säteilyn suoje-lukomissiota (ICNIRP) on syytetty eturistiriidoista. Tämän yksityisen järjestön hallituksille laatimat raja-arvot ovat tuhansia kertoja korkeammat kuin tasot, joilla terveystaikutuksia kirjataan, ja niissä on otettu huomioon vain säteilyn lämpövaikutukset. Hän myös mainitsee tutkimuksensa päätel-mässä, että tieteelliset tutkijat näyttäisivät olevan hyvin selvillä antennien aiheuttamista ongelmista, mutta tiedotusvälineet ja vastuulliset järjestöt eivät välitä tätä tietoa väestölle, ja tämä voi aiheuttaa kriisin. (Balmori 2022.)

5 Pohdinta

Työn tavoitteena oli analysoida mahdollisimman monipuolisesti 6G-tekniologiaan liittyviä mahdollisuuksia ja haasteita. Tutkimuksen tavoitteena oli myös verrata 5G:n ja 6G:n eroavaisuuksia sekä selvittää mihin 6G-tekniologiaa voidaan hyödyntää.

6G-tekniologia on aiempiin sukupolviin verrattuna paljon nopeampi ja se toimii korkeammalla terahertsillä taajuudella. Arvioidaan, että 6G olisi jopa 50 kertaa nopeampi kuin 5G ja sen latenssi putoaisi kymmenesosaan 5G:n latenssista. 5G mahdollistaa älykaupungit ja esineiden internetin, kun taas 6G:n avulla voitaisiin mennä astetta pidemmälle ja luoda avaruusesineiden internetti sekä kehittää tehokkaampia älykaupunkeja. 6G:n nopeus, äärimmäisen pieni latenssi ja tekoälyä hyödyntävä langaton yhteys mahdollistavat uusien teknologioiden kehittämisen ja käyttöönoton.

6G-tekniologiaa voitaisiin hyödyntää lukuisiin uusiin teknologioihin, kuten esimerkiksi digitaalisiin kaksosiin, mukaansatempaavaan laajennettuun todellisuuteen (XR), mobiilihologrammeihin ja kobotteihin. 6G mahdollistaisi myös digitaalisen terveydenhuollon ja älyteollisuuden. Teollisuudesta voisi tulla automatisoidumpaa ja terveydenhuollossa voitaisiin seurata potilaan elintoimintoja ja terveyttä reaaliajassa. Kehittynyt digitaalinen terveydenhuolto mahdollistaisi sen, että lääkärit voisivat tehdä etänä operaatioita, digitaalisten kaksosten, haptisten tietojen ja laajennetun todellisuuden avulla. Näitä samoja teknologioita voitaisiin soveltaa useilla muillakin aloilla, kuten teollisuudessa ja logistiikassa. 6G mahdollistaisi myös laajennetun todellisuuden käytön viihdeteollisuudessa, taidon peleistä ja elokuvista aidomman oloisia ja viihdyttävämpiä.

6G-verkot mahdollistaisivat myös teknologioita, joilla voitaisiin kehittää robotiikkaa, digitalisaatiota sekä koneiden ja ihmisten välistä vuorovaikutusta. Tällaisia teknologioita olisivat esimerkiksi käyttäytymisen internetti (IoB), aivo-tietokone rajapinnat (BCIs) sekä aistiva verkko. Näiden teknologioiden avulla voitaisiin kehittää muun muassa ihmisiä paremmin ymmärtäviä robotteja, voitaisiin mahdollistaa robottien ja ihmisen välinen telekineesi sekä kehittää autonomisia kulkuneuvoja, jotka voisivat havainnoida asioita näkökentän ulkopuolelta.

6G-tekniologia voisi siis tuoda paljon uusia mahdollisuuksia ja se voisi viedä ihmiskunnan teknologian kehitystä eteenpäin. Se olisi myös muihin langattoman verkkotekniikan sukupolviin verrattuna huomattavasti energiatehokkaampi, mukautuvampi ja nopeampi. Tässä vaiheessa 6G:n kehitystä pitää kuitenkin muistaa se, ettei 6G:tä edeltävä 5G ole vielä tähän mennessä lunastanut lupauksiaan. Kuten 5G:n, myös 6G:n kohdalla on ollut paljon hypetystä ja lupauksia esimerkiksi suurista tiedonsiirtonopeuksista. 5G-verkot ovat vielä vuonna 2023 keskeneräisiä eikä 5G-verkkoyhteydellä olla päästy vielä luvattuihin tiedonsiirtonopeuksiin ainakaan kuluttajakäytössä. Voidaan siis olettaa, että myös 6G:n kohdalla terahertsillä nopeuksia tulisi odottamaan luvattua kauemmin. Tällaisiin

nopeuksiin vaadittaisiin aivan uudenlaista teknologiaa sekä tiheää tukiasemien verkostoa. Tällainen verkko on kuitenkin taloudellisesti erittäin kallista rakentaa.

Yksi 6G:n isoimmista haasteista onkin sen kehittämiseen liittyvät tekniset ongelmat. Radiotekniikalla ei ole vielä tarjota kaupallisesti järkeviä ratkaisuja, joiden avulla voitaisiin toteuttaa soluverkkoja terahertsin taajuusalueella eivätkä tutkijat ole löytäneet mitään, jolla he voisivat päästä transistorin teoreettiseen nopeuteen. 6G-signaalin heikkous ja sen kantaman lyhyys aiheuttavat myös omat ongelmansa.

Työ sai minut pohtimaan myös sitä, millaisia yhteiskunnallisia vaikutuksia 6G:llä voisi olla. 6G voisi viedä ihmiskunnan teknologista kehitystä eteenpäin ja tuoda monia hyviä asioita, etenkin terveydenhuollon ja teollisuuden saralla, mutta toisaalta se voisi mahdollistaa myös ihmisten totaalisen kontrolloinnin ja heikentää yksityisyyden suojaa. 6G-signaalien avulla voitaisiin nähdä mitä ihminen tekee omassa kodissaan. Tämä on toisaalta hyvä asia, jos joku henkilö on saanut sairaskohtauksen ja tarvitsee apua. Mutta entä jos tätä samaa teknologiaa käytettäisiin vakoiluun? Onko mahdollista, että älykaupungeissa tätä teknologiaa käytettäisiin kasvojentunnistus teknologian tapaan ihmisten tarkkailuun? Idea älykaupungeista ja käteisen rahan lakkauttamisesta on myös kyseenalainen. Miksi tavan kansalaisia pitäisi tarkkailla ja kontrolloida? 6G-teknologialla voisi saada myös suurta tuhoa aikaan, jos rikolliset tahot hyödyntäisivät sitä esimerkiksi kybersodassa. Myös autonomiset kulkuneuvot, dronet ja älylaitteet olisi mahdollista hakkeroida, ja tämä voisi aiheuttaa turvallisuusriskin.

5.1 Jatkotutkimus

6G:n kehitystyö jatkuu kovaa vauhtia ja ajan myötä 6G:n kehittämisessä vastaan tullessiin ja tuleviin teknisiin ongelmiin tullaan varmasti löytämään ratkaisuja. Teknisten ongelmien selvittämisen lisäksi olisi hyvin oleellista tutkia 6G-verkkojen vaikutuksia ihmisten terveyteen. Kuten opinnäytetyössä kävi ilmi, on useita tutkijoita ympäri maailmaa, jotka epäilevät langattomien verkkojen radio- ja taajuus säteilyn turvallisuutta ihmisen terveydelle. 5G- ja 6G-verkkojen myötä tukiasemien määrä tulee kasvamaan ja näitä tukiasemia tullaan asentamaan entistä lähemmäksi ihmisiä. Siksi olisi hyvin tärkeää tutkia miten tämä kasvava säteilyn määrä vaikuttaa ihmisten terveyteen. 6G-verkot tulisivat tulevaisuudessa toimimaan jopa terahertsin taajuudella. Näiden korkeiden taajuuksien vaikutuksia terveyteen pitäisi myös tutkia mahdollisimman monipuolisesti, täysin riippumattomien tahojen toimesta.

Tulevaisuudessa olisi myös tärkeää tutkia 6G:n vaikutuksia turvallisuuteen ja yksityisyyteen. 6G mahdollistaa uusia tapoja kontrolloida ihmisiä sekä kehittää teknologioita, joilla voisi päästä käsiksi

jopa ihmisten ajatuksiin. Esimerkiksi opinnäytetyössä mainitut aivo-tietokone rajapinnat ovat sellainen teknologia, joka aiheuttaisi suuren turvallisuusriskin joutuessaan väärin käsiin. Nämä rajapinnat voisivat mahdollistaa sen, että ihmisen aivot voitaisiin yhdistää internetiin. Kuvitellaan tilanne, että meidän aivomme olisivat kytkettynä 6G-verkkoon. Voitaisiinko tällaisessa tilanteessa olla varmoja siitä, ettei joku taho lukisi meidän ajatuksiamme tai pyrkisi ohjailemaan meidän käyttäytymistämme? Tällä hetkellä on jo olemassa aivoimplanteja, joita on käytetty sikojen, apinoiden ja rottien käyttäytymisen kontrollointiin ja tahdosta riippumattomien liikkeiden tuottamiseen tutkimustilanteissa. Maailman talous foorumin mukaan ihmisten ajatuksia voitaisiin lukea jo kymmenen vuoden päästä aivoimplanttien avulla. Mielestäni on aiheellista tutkia, onko tällaisten teknologioiden käyttäminen eettistä ja, miten voitaisiin välttyä siltä, etteivät tällaiset teknologiat päätyisi väärin käsiin.

Lähteet

- Abdel Hakeem, S., Hussein, H. & Kim, H. 2022. Security Requirements and Challenges of 6G Technologies and Applications. Luettavissa: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/5/1969>. Luettu: 3.3.2023.
- Ahmed, S., Chowdhury, M., Jang, Y. & Shahjalal, M. s.a. 6G Wireless Communication Systems: Applications, Requirements, Technologies, Challenges, and Research Directions. Luettavissa: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1909/1909.11315.pdf>. Luettu: 18.3.2023.
- Akl,R. & Chataut,R. 2020. Massive MIMO Systems for 5G and beyond Networks—Overview, Recent Trends, Challenges, and Future Research Direction. Luettavissa: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/10/2753>. Luettu: 15.3.2023.
- Akyildiz, I. & Kak, A. 2020. Designing Large-Scale Constellations for the Internet of Space Things With CubeSats. Luettavissa: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9167267>. Luettu: 17.4.2023.
- Akyildiz, I., Kak, A. & Nie, S. 2020. 6G and Beyond: The Future of Wireless Communications Systems. Luettavissa: <https://ieeexplore.ieee.org/ielx7/6287639/8948470/09145564.pdf>. Luettu: 17.4.2023.
- Alashbi, A., Alhammandi, A., Azmi, M., Banafaa, M., Daradkeh, Y., Din, J. & Shayea, I. 2023. 6G Mobile Communication Technology: Requirements, Targets, Applications, Challenges, Advantages, and Opportunities. Luettavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S111001682200549X>. Luettu: 20.3.2023.
- Astely, D., Butovitsch, P., Faxer, S. & Larsson, E. 2022. Meeting 5G network requirements with Massive MIMO. Luettavissa: <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/ericsson-technology-review/articles/using-massive-mimo-to-meet-5g-network-requirements>. Luettu: 19.3.2023.
- Balmori, A. 2022. Evidence for a health risk by RF on humans living around mobile phone base stations: From radiofrequency sickness to cancer. Luettavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935122011781>. Luettu: 25.3.2023.
- Brady, A. & de Lancellotti, D. 15.3.2023. How holograms and private wireless are powering the metaverse. Nokia blogi. Luettavissa: <https://www.nokia.com/blog/how-holograms-and-private-wireless-are-powering-the-metaverse/>. Luettu: 1.4.2023.

- Canales, K. & Mok, A. 28.11.2022. China's 'social credit' system ranks citizens and punishes them with throttled internet speeds and flight bans if the Communist Party deems them untrustworthy. Business Insider. Luettavissa: <https://www.businessinsider.com/china-social-credit-system-punishments-and-rewards-explained-2018-4?r=US&IR=T>. Luettu: 20.3.2023.
- Churi, J., Surendran, T., Tidgi, S. & Yewale, S. 2012. Evolution of Networks (2G-5G). Luettavissa: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=88445975b9c0df57ffb3b96c9dc4e1b53c9b511d>. Luettu: 22.2.2023.
- Cisco s.a. What Is 5G? Luettavissa: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/what-is-5g.html#~faq>. Luettu: 15.3.2023.
- Del Peral Rosado, J., Lopez-Salcedo, J., Raulefs, R. & Seco-Granados, G. 2018. Survey of Cellular Mobile Radio Localization Methods: From 1G to 5G. Luettavissa: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8226757>. Luettu: 22.2.2023.
- DNA s.a. DNA:n 3G-verkon alasajo alkaa vuoden 2023 aikana. Luettavissa: <https://www.dna.fi/tuki-3g-sulkeminen>. Luettu: 23.2.2023.
- Du, J., Holma, H., Viswanathan, H. & Weseman S. 2023. Energy efficiency in next-generation mobile networks. Luettavissa: <https://onestore.nokia.com/asset/212810>. Luettu: 19.3.2023.
- Elisa s.a. 3G poistuu käytöstä vuoden 2023 aikana - siirrymme kohti uudempaa teknologiaa. Luettavissa: <https://elisa.fi/3g/>. Luettu: 23.2.2023.
- Francis, E. 2.3.2023. T-Mobile 5G cell tower atop Wyandotte elementary school raises concerns. Fox 2 Detroit. Luettavissa: <https://www.fox2detroit.com/news/t-mobile-5g-cell-tower-atop-wyandotte-elementary-school-raises-concerns>. Luettu: 22.2.2023.
- Garg, S., Khare, V., Sharma, P. & Shukla, S. 2013. Comparative Study of 1G, 2G, 3G and 4G. Luettavissa: https://www.researchgate.net/profile/Sbala-Murugan/publication/328304840_JECAS_Ap_2013_-_FEM_-_Published/links/5bc55d5a299bf17a1c55692d/JECAS-Ap-2013-FEM-Published.pdf#page=57. Luettu: 22.2.2023.
- Georgia Institute of Technology s.a. Internet of Space Things. Luettavissa: <https://licensing.research.gatech.edu/technology/internet-space-things>. Luettu: 17.4.2023.
- Habibi, M., Han, B., Jiang, W. & Schotten, H. 2021. The Road Towards 6G: A Comprehensive Survey. Luettavissa: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9349624>. Luettu: 19.3.2023.

Hardell, L. & Nyberg, R. s.a. Scientists warn of potential serious health effects of 5G. Luettavissa: <http://www.5gappeal.eu/the-5g-appeal/>. Luettu: 22.3.2023.

Hexa-X 2021. Expanded 6G vision, use cases and societal values. Luettavissa: https://hexa-x.eu/wp-content/uploads/2021/05/Hexa-X_D1.2.pdf. Luettu: 27.2.2023.

Hintsala, J. 5.2.2023. 6G-signaali tietää kohta, miten voit kotona – tästä on kyse biosignaalien mitaamisessa. Yle. Luettavissa: <https://yle.fi/a/74-20015687>. Luettu: 3.3.2023.

Holma, H. & Viswanathan, H. 2021. The 6G era's enormous capacity demands will require new spectrum and extreme massive MIMO. Luettavissa: <https://www.bell-labs.com/institute/blog/6g-eras-enormous-capacity-demands-will-require-new-spectrum-and-extreme-massive-mimo>. Luettu: 22.2.2023.

Jansson, K. s.a. First in the world with 4G Luettavissa: <https://www.teliacompany.com/en/about-the-company/history/first-in-the-world-with-4g/>. Luettu: 27.2.2023.

Jegorow, S. 22.2.2008. Maailman ensimmäinen GSM-puhelu. Yle. Luettavissa: <https://yle.fi/aihe/artikkeli/2008/02/22/maailman-ensimmainen-gsm-puhelu>. Luettu: 22.2.2023.

Korhonen, A. 4.6.2022. Nokian Pekka Lundmarkilla hurja visio: 6G-verkko siirtää kännykät historiaan – ”Käyttäjän näkökulmasta jopa nykyistä helpompaa”. MTV-utiset. Luettavissa: <https://www.mtvuutiset.fi/artikkeli/nokian-pekka-lundmarkilla-hurja-visio-6g-verkko-siirtaa-kannykat-historiaan-kayttajan-nakokulmasta-jopa-nykyista-helpompaa/8443428#gs.bsndaj>. Luettu: 22.2.2023.

Kumar, A. 2013. 3G Networks: Opportunities and Challenges. Luettavissa: https://www.researchgate.net/publication/309704408_3G_Networks_Opportunities_and_Challenges#fullTextFileContent. Luettu: 23.2.2023.

Leidenius, S. 12.10.2004. Suomen ensimmäinen 3g-verkko auki tänään. Tivi. Luettavissa: <https://www.tivi.fi/uutiset/suomen-ensimmainen-3g-verkko-auki-tanaan/9744bf56-e8a5-32bf-9385-080b45bc6c06>. Luettu: 23.2.2023.

Leino, R. 14.10.2021. 6g mahdollistaa minikokoiset laitteet – drone pysyy ilmassa jopa kuukauden Mikrobitti. Luettavissa: <https://www.mikrobitti.fi/uutiset/6g-mahdollistaa-minikokoiset-laitteet-drone-pysyy-ilmassa-jopa-kuukauden/97704fb2-bf45-4aac-a56b-f65d89f4f08d>. Luettu: 10.4.2023.

- Maloney, A. 15.1.2019. Drive optimized decision-making: The closed-loop digital twin with IoT. Siemens blogi. Luettavissa: <https://blogs.sw.siemens.com/mindsphere/drive-optimized-decision-making-the-closed-loop-digital-twin-with-iot/>. Luettu: 18.4.2023.
- Martinsson, M. 9.4.2019. What is closed-loop automation? Ericsson blogi. Luettavissa: <https://www.ericsson.com/en/blog/2019/4/what-is-closed-loop-automation>. Luettu: 18.4.2023.
- McCurry, J. 4.4.2019. US dismisses South Korea's launch of world-first 5G network as 'stunt'. The Guardian. Luettavissa: <https://www.theguardian.com/technology/2019/apr/04/us-dismisses-south-koreas-launch-of-world-first-5g-network-as-stunt>. Luettu: 1.3.2023.
- Mikrobitti 2021. Mikä on 6g? Faktat 6g-verkosta ja tekniikan kehityksestä. Luettavissa: <https://www.mikrobitti.fi/uutiset/mika-on-6g-faktat-6g-verkosta-ja-tekniikan-kehityksesta/5d0a16e9-aa40-45db-bfc5-7e92bcb8ede4>. Luettu: 22.2.2023.
- Nasa s.a. Radio Waves. Luettavissa: https://science.nasa.gov/ems/05_radiowaves. Luettu: 5.5.2023.
- NGMN 2022. 6G USE CASES AND ANALYSIS. Luettavissa: <https://www.ngmn.org/wp-content/uploads/220222-NGMN-6G-Use-Cases-and-Analysis-1.pdf>. Luettu: 27.2.2023.
- Nokia 2021. 6G explained. Luettavissa: <https://www.nokia.com/about-us/newsroom/articles/6g-explained/>. Luettu: 22.2.2023.
- Nokia 2022. Nokia's vision for the 6G era. Luettavissa: <https://www.nokia.com/about-us/newsroom/articles/nokias-vision-for-the-6g-era/>. Luettu: 22.2.2023.
- Nokia Bell Labs 2020. Communications in the 6G Era. Luettavissa: <https://www.5gcc.ca/wp-content/uploads/2021/03/Nokia-Bell-Labs-WP-Comm-in-the-6G-Era.pdf>. Luettu: 8.5.2023.
- Nokia Bell Labs 2023. Envisioning a 6G future. Nokia. E-kirja. Luettavissa: https://d1p0gxngcu0lvz.cloudfront.net/documents/Nokia_Bell_Labs_Envisioning_a_6G_future_eBook_EN.pdf. Luettu: 19.3.2023.
- Parson Trommler, K. s.a. Security, Privacy and Trust in 6G Networks. Luettavissa: <https://www.bayern-innovativ.de/en/page/security-privacy-and-trust-in-6g-networks>. Luettu: 2.3.2023.

Pullianen, M. 2.2.2021. 6g käyttää terahertsien taajuuskaistaa: rutkasti nopeampi yhteys vaatii uusia materiaaleja ja uutta teknologiaa. Mikrobitti. Luettavissa: <https://www.mikrobitti.fi/uutiset/6g-kayttaa-terahertsien-taajuuskaistaa-rutkasti-nopeampi-yhteys-vaatii-uusia-materiaaleja-ja-uutta-teknologiaa/9fec9f-2526-40b4-8039-cea309eb6f01>. Luettu: 2.4.2023.

Pullianen, M. 20.6.2022. Tulevaisuuden nopeita 6g-verkkoyhteyksiä varjostaa 2 ongelmaa, joita tutkijat eivät ole pystyneet ratkaisemaan. Tekniikka&Talous. Luettavissa: <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/tulevaisuuden-nopeita-6g-verkkoyhteyksia-varjostaa-2-ongelmaa-joita-tutkijat-eivat-ole-pystyneet-ratkaisemaan/c00d8d32-6672-409a-9652-cc66491326ba>. Luettu: 2.3.2023.

Samsung 2020. Technical White Paper: Massive MIMO for New Radio. Luettavissa: https://images.samsung.com/is/content/samsung/assets/global/business/networks/insights/white-papers/1208_massive-mimo-for-new-radio/MassiveMIMOforNRTechnicalWhitePaper-v1.2.0.pdf. Luettu: 16.3.2023.

Samsung Research s.a. The Vision of 6G Bring the next hyper-connected experience to every corner of life. Luettavissa: <https://cdn.codeground.org/nsr/downloads/researchareas/6G%20Vision.pdf>. Luettu: 22.2.2023.

Sharma, P. 2013. Evolution of Mobile Wireless Communication Networks-1G to 5G as well as Future Prospective of Next Generation Communication Network. Luettavissa: <https://citereerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=8e324078c7b0848c5e8c573861878cdbe417e89e>. Luettu: 27.2.2023.

Shed, S. 24.5.2022. Nokia CEO says 6G will be here by 2030 — but you might not access it via your smartphone. CNBC. Luettavissa: <https://www.cnbc.com/2022/05/24/nokia-ceo-says-6g-will-arrive-by-2030.html>. Luettu: 11.4.2023.

Talwar, S. & Vannithamby, R. 2017. Towards 5G: Applications, Requirements and Candidate Technologies. John Wiley & Sons, Incorporated. E-kirja. Luettu: 23.2.2023.

Tampereen yliopisto 2022. Yhteisö edistää 6G verkkoteknologian kehitystä – Tampereen yliopisto mukana uudessa kotimaisessa yhteenliittymässä. Luettavissa: <https://www.tuni.fi/fi/ajankoh-taista/yhteiso-edistaa-6g-verkkoteknologian-kehitysta-tampereen-yliopisto-mukana-uudessa>. Luettu: 21.2.2023.

Taylor, P. 2022. Volume of data/information created, captured, copied, and consumed worldwide from 2010 to 2020, with forecasts from 2021 to 2025. Statista. Luettavissa: <https://www.statista.com/statistics/871513/worldwide-data-created/>. Luettu: 1.3.2023.

TeckNexus 2023. South Korea Plans To Launch 6g Network In 2028. Luettavissa: <https://tecknexus.com/5gnews-all/south-korea-plans-to-launch-6g-network-in-2028/>. Luettu: 1.3.2023.

Telia s.a.a. 3G-verkko on siirtymässä historiaan. Luettavissa: <https://www.telia.fi/3g>. Luettu: 23.2.2023.

Telia s.a.b. 5G vs. 4G – mikä muuttuu? Luettavissa: <https://www.telia.fi/yrityksille/artikkelit/artikkeli/5g-vs-4g>. Luettu 1.3.2023

Universidad Internacional de Valencia 2018. Evolución de la red de comunicación móvil, del 1G al 5G. Luettavissa: <https://www.universidadviu.com/int/actualidad/nuestros-expertos/evolucion-de-la-red-de-comunicacion-movil-del-1g-al-5g>. Luettu: 22.2.2023.

U.S. Government Accountability Office 2022. Science & Tech Spotlight: Brain-Computer Interfaces. Luettavissa: <https://www.gao.gov/assets/gao-22-106118.pdf>. Luettu: 18.4.2023.

Uy, M. 2020. 3G vs. 4G Technology. Luettavissa: <https://www.lifewire.com/how-fast-are-4g-and-3g-internet-speeds-3974470>. Luettu: 1.3.2023

Whatis6g 2020a. What is Massive MIMO Technology? How It Impacts 5G and 6G. Luettavissa: <https://whatis6g.com/mimo-technology-how-impacts-5g-6g/>. Luettu: 5.5.2023.

Whatis6g 2020b. Which Countries Are Currently Working on 6G? Luettavissa: <https://whatis6g.com/which-countries-are-currently-working-on-6g/>. Luettu: 21.2.2023.

Yritysmailma s.a. Pihlan antennilasi mahdollistaa paremmin mobiilitiedonsiirron. Luettavissa: <https://yritma.fi/uutiset/rakentaminen/pihlan-antennilasi-mahdollistaa-paremman-mobiilitiedonsiirron>. Luettu: 8.5.2023.