

Veikka Ikäheimonen

**6G TEKNOLOGIA JA SEN SUUNNITeltu KÄYTTÖ
TULEVAISUUDESSA**



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO
INFORMAATIOTEKNOLOGIAN TIEDEKUNTA
2022

TIIVISTELMÄ

Ikäheimonen, Veikka

6G teknologia ja sen suunniteltu käyttö tulevaisuudessa

Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, 2022, s.

Tietojärjestelmätiede, kandidaattitutkielma

Ohjaaja: Clements, Kati

Tämän kandidaattitutkielman tarkoituksena on selvittää mitä suunniteltuja käytötarkoituksia 6G teknologialle tulevaisuudessa on, sekä millä uusilla teknologioilla 6G verkko aiotaan saada paremmaksi kuin edeltävät sukupolvien verkot. Tutkielma on toteutettu kirjallisuuskatsauksena. Tutkielmaa varten on käytetty lähteinä aiheeseen liittyviä tieteellisiä tutkimusartikkeleita ja julkaisuja, sekä virallisia 6G aihepiirin organisaatioiden ja tahojen verkkosivuja. Tutkielmassa on parhaan mukaan yritetty avata aihepiiriin kuuluvia käsitteitä, sekä myös mobiiliverkkojen toimintatapaa yleisesti. Tutkielman tuloksena tulevaisuuden käyttötarkoituksiksi tieteellisissä artikkeleissa on nostettu esiin muun muassa aistittava internet, laajennettu todellisuus, digitaalinen kaksoiskappale, ja autonomisten kulkuneuvojen linkitys. Myös monia muita uusia mahdollisia teknologioita löytyi, mutta nämä olivat ne jotka mainittiin lähteissä eniten. Tutkielman tuloksena 6G:n mahdollistavat teknologiat, jotka mainittiin tieteellisissä artikkeleissa, olivat millimetriaallot, terahertsiaallot, optinen langaton viestintä, tekoäly, large intelligent surface ja MIMO-teknologiat. Kaikkia asioita liittäen käyttötarkoituksiin ei ole käyty läpi aiheen laajuuden ja tulevaisuuden ennustamisen takia. 6G on kehityksessä, eikä varsinaista varmuutta esimerkiksi standardeista ole vielä tässä vaiheessa. Kuitenkin tuloksia voidaan käyttää suuntaa-antavina.

Asiasanat: 6G, langaton verkkoyhteys, mobiiliverkot, sähkömagneettiset aallot, 6G teknologiat

ABSTRACT

Ikäheimonen, Veikka

6G technology and its planned use in the future

Jyväskylä: University of Jyväskylä, 2022, p.

Information Systems, Bachelor's Thesis

Supervisor: Clements, Kati

The purpose of this bachelor's thesis is to find out what are the planned uses for 6G technology in the future, as well as with which new technologies the 6G network is going to be made. The thesis was made as a literature review. Scientific research articles and publications related to the topic, as well as official websites of 6G organizations and entities, have been used as sources for the thesis. In the thesis, purpose is to open up the concepts that belong to the subject area, as well as the way the mobile network works in general. As a result of the thesis, scientific articles have highlighted future uses and needs of 6G as such: a tactile internet, extended reality, a digital twin, and the linking of autonomous vehicles. Many other possible new technologies were also found, but ones above were the ones mentioned the most in the articles. As a result of the thesis, the 6G enabling technologies mentioned in the scientific articles were as such: millimeter waves, terahertz waves, optical wireless communication, artificial intelligence, large intelligent surface and MIMO technologies. Not all issues related to the research questions have been reviewed in this thesis due to the scope of the topic and the prediction of the future. 6G is under many research, and there is no real certainty about many things at this stage. However, the results can be used as guidance.

Keywords: 6G, wireless internet connection, mobile network, electromagnetic waves, 6G technologies

KUVIOT

KUVIO 1 Sähkömagneettiset aallonpituudet ja spektri..... 9

KUVIO 2 Mobiiliverkkotukiasemien solukkonverkon esimerkkirakenne 9

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
KUVIOT	4
SISÄLLYS.....	5
1 JOHDANTO.....	6
2 MOBIILIVERKKOTEKNOLOGIAT YHTEISKUNNASSA.....	8
2.1 Mobiiliverkkosukupolvien määritelmä.....	8
2.2 Mobiiliverkkojen kehittyminen	10
3 6G.....	12
3.1 6G:n määritelmä.....	12
3.2 6G:n vaatimukset ja käyttötarkoitukset yhteiskunnassa	12
3.3 Uudet käyttötarkoitukset.....	14
4 6G:N MAHDOLLISTAVAT TEKNOLOGIAT	17
5 YHTEENVETO JA JATKOTUTKIMUSAIHEET	22
LÄHTEET	27

1 Johdanto

Kuudennen sukupolven tietoverkko(6G) on suunnitteilla, vaikka vielä nykyisen 5G verkon rakentaminen on kesken. Tässä kandidaattitutkielmassa tavoitteena on selvittää, millaisia toteutustapoja 6G viestintäteknologialle on suunniteltu, ja mitä 6G-teknologialla ylipäättään tarkoitetaan. Tarkoituksena on myös avata näkymää tämän hetken tarpeista, vaatimuksista ja haasteista 6G verkolle.

Tutkijoiden katseet siirtyvät vähitellen 5G:stä eteenpäin, muun muassa koska mobiilidatan käyttö on jatkuvassa nousussa ja nyky-yhteiskunnan tiedonsiirtotarpeet kasvavat. Suurimpia tekijöitä mobiiliverkkoja käyttävien laitteiden määrän kasvuun tällä hetkellä ovat muun muassa IoT-laitteiden yleistyminen ja autonomisesti toimivien koneiden lisääntyminen (Zhang ym., 2019). Myöskin IoT-palveluiden ja -laitteiden vaatimukset suurentuvat muun muassa yhteyden viiveen ja luotettavuuden osalta (Wikström ym., 2020).

6G teknologian tutkimiseen panostetaan, koska jossakin vaiheessa 5G:n kapasiteetti ei ole riittävä kysyntää ja tarpeita varten. Tässä pisteessä 6G:n on kyettävä jo toimimaan ja käsittelemään tulevaisuuden haasteet (Wikström ym., 2020). Suomen valtion liikenne- ja viestintävirasto Traficom (2022) pitää tärkeänä tutkia 6G:tä jo nyt tässä vaiheessa, koska se auttaa kestäväen kehityksen tavoitteiden saavuttamisessa yhdistämällä fyysisen, digitaalisen ja biologisen maailman. Tulevaisuuden päätelaite on muutakin kuin älypuhelin: miljardit koneet, laitteet, ihmiset, ajoneuvot, robotit ja dronet liittyvät pilveen tekoälyn optimoiman verkon kautta (Traficom 2022).

Vaikka 5G:tä ollaan ottamassa vasta kunnolla käyttöön, valtioiden ja organisaatioiden välistä yhteistyötä tehdään tiiviisti 6G:n parissa, ja myös Suomi on mukana. Suomi aloitti maailmassa ensimmäisenä 6G projektin "6Genesis/6Flagship" ja järjesti ensimmäisenä maailmassa 6G huippukokouksen (Zhang ym., 2019). Eritoten 6Flagship- tutkimus mainitaan monessa aihepiirin artikkelissa ja sitä arvostetaan hyvin paljon, mikä osoittaa että Suomi on hyvin osallisena 6G:n kehityksessä. 6Flagship- tutkimuksesta vastaa Oulun yliopisto, joka tekee aiheesta yhteistyötä monen eri maan toimijoiden kanssa(6G Flagship, 2019).

Tutkimuskysymyksinä tässä tutkielmassa toimivat seuraavat kysymykset:

1. Mitä suunniteltuja käyttötarkoituksia 6G teknologialle on/mitä asioita teknologian ajatellaan ratkaisevan yhteiskunnassa?
2. Millä uusilla teknologioilla 6G verkko aiotaan saada paremmaksi kuin edeltävät sukupolvien verkot?

Kandidaattitutkielman toisessa luvussa käsitellään langattomien mobiiliverkkojen kehittymistä ja toimintatapaa. Luvussa käydään myös läpi kuinka mobiiliverkot ovat kehittyneet. Kolmannessa luvussa käydään läpi 6G teknologian vaatimuksia ja käyttötarkoituksista yhteiskunnassa. Kolmannessa luvussa perehdytään 6G teknologian uusiin suunniteltuihin ja mahdollisiin käyttötarkoituksiin. Käydään läpi 6G:n etuja ja hyötyjä verrattuna aikaisempaan teknologiaan, sekä arvioidaan tiedetyn tiedon pohjalta teknologian potentiaalista kykenevyyttä.

Neljännessä luvussa käydään läpi, mitä 6G verkon rakentaminen vaatii ja mitä teknologisia ratkaisuja 6G verkon rakentaminen vaatii. Samassa katsotaan miten jo olemassaolevaa järjestelmää on suunniteltu hyödynnettävän 6G verkon luomisessa, ja mitä uusia parannuksia on tehtävä, jotta tarvittava taso saavutetaan.

Kuudennen sukupolven tietoverkon(6G) on määrä toimia pohjana tulevien yhteiskunnan innovaatioiden taustalla. Kuudennella sukupolvella halutaan taata kustannustehokas ja toteuttamiskelpoinen uusien innovaatioiden kehitys yhdistääkseen kaikki yhteiskunnan osa-alueet(Wikström ym., 2020). Toisaalta myös muut teknologiat, kuten tekoäly, edesauttavat ja ovat yhtenä mahdollisena osana 6G verkon rakennuksessa. Oletettavasti myös 5G kauden aikana kehitetyt teknologiat hyödyttävät 6G teknologian kehitystä(Tariq ym., 2020). Koska tiedonsiirtoverkkojen sukupolvet ovat valmistuneet noin kymmenen vuoden välein toisistaan voidaan olettaa 6G:n tarkoitus olla johtavana tiedonsiirron teknologiana vähintään 2040 luvulle asti.

Tutkimuksessa on käytetty lähteinä aiheeseen liittyviä tieteellisiä tutkimusartikkeleita ja julkaisuja. Lähteinä on käytetty myös Suomen valtion alaisuudessa toimivien laitoksien julkaisuja, ja myös yliopistojen ylläpitämiä tutkimushankkeita. Edellämäinittuja lähteitä ovat esimerkiksi Suomen valtion liikenne- ja viestintävirasto Traficom ja Oulun yliopiston yhteistyötutkimus 6Genesis/6Flagship. On tärkeä muistaa, että suunnitelmat 6G teknologialle muovautuvat ajan myötä. Julkaisuihin sisältyy aina spekulatiota, koska virallista standardia 6G:lle ei vielä ole. Aihetta tutkitaan jatkuvasti ja tieteellisiä julkaisuja aiheesta julkaistaan tasaisin väliajoin.

2 Mobiiliverkkoteknologiat yhteiskunnassa

Ennen 6G:hen siirtymistä, on tärkeä ymmärtää kuinka langattomat mobiiliviestintäverkot toimivat ja kuinka ne ovat kehittyneet tähän asti. Tässä luvussa käsitellään kuinka olemassaolevat mobiiliverkot toimivat yhteiskunnassa. Luvussa käydään myös läpi lyhyesti miten mobiiliverkot ovat kehittyneet lähivuosien aikana, mihin suuntaan ollaan menossa, ja mistä kehityksen suuruus ja suunta johduvat.

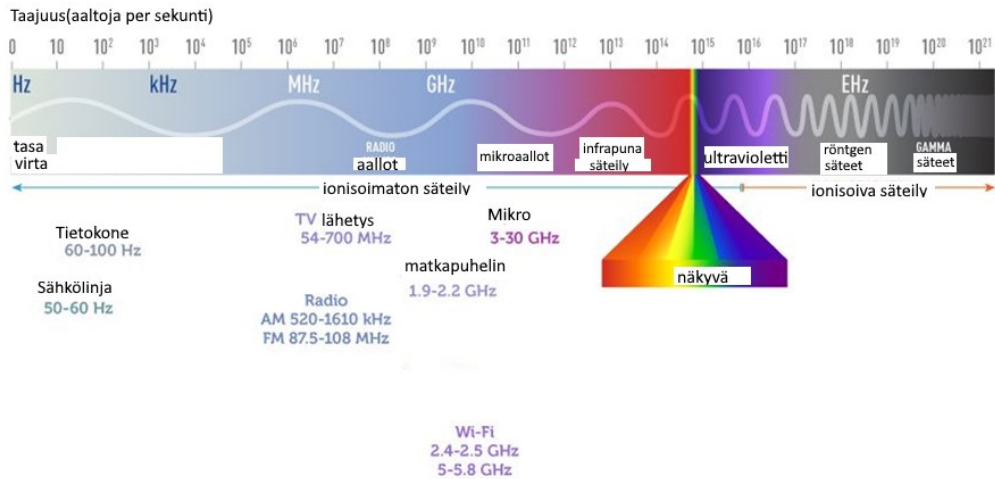
2.1 Mobiiliverkkosukupolvien määritelmä

Sanastokeskuksen(2001) mukaan mobiiliverkko on langattomaan viestintään tarkoitettu verkko, jossa radioyhteyttä käytetään laajalla maantieteellisellä alueella liikkuvien päätelaitteiden ja tietoliikenneverkon välillä.

Mobiiliverkkojen toiminta

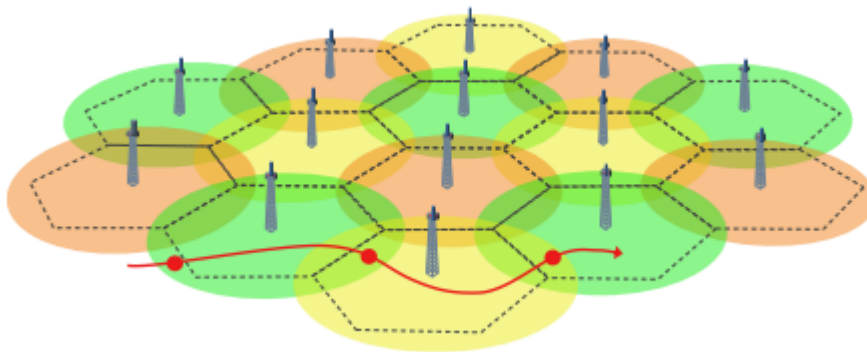
Langattomien viestintäverkkojen toiminta perustuu sähkömagneettisiin aaltoihin, tarkemmin sanottuna radioaaltoihin. Radioaallot ovat osa sähkömagneettisten aaltojen spektriä, ja tähän spektriin kuuluvat myös esimerkiksi näkyvä valo ja röntgenaallot. Tämä havainnollistetaan kuviossa 1. Sama kuvio havainnollistaa myös, että radioaalloilla on alhaisin taajuus ja suurin aallonpituus muihin sähkömagneettisiin aaltoihin verrattuna. Mitä alhaisempi taajuus sitä suurempi aallonpituus ja kantama. Päinvastoin suuremmissa taajuuksissa on pienempi aallonpituus sekä usein lyhyempi kantama. Toisaalta pienempi aallonpituus kuljettaa enemmän informaatiota ja energiaa. Tämänhetkiset mobiiliverkkoteknologiat, käyttävät monia erilaisia toimintatapoja mahdollistakseen nopean, luotettavan ja kattavan langattoman verkon. Toimintatavat liittyvät muun muassa arkkitehtuurillisiin ratkaisuihin ja monien yksittäisten teknologisten ratkaisujen muodostamaan yhteiseen kokonaisuuteen. Radiotaajuuksia tarvitaan matkaviestinän lisäksi muun muassa muuhun langattomaan laajakaistaviestintään, satelliittiviestintään, antenniverkon televisiotoimintaan ja radiolähetystoimintaan varten (Suomen Liikenne- ja viestintä ministeriö, 2022).

Elektromagneettinen spektri



Kuvio 1 Sähkömagneettiset aallonpituudet ja spektri

Haasteita ja rajoituksia radiotaajuksillakin on. Eri taajuiset radioaallot käyttäytyvät ilmakehässä eri tavoin. Lisäksi ilmakehän epähomogeenisuus aiheuttavat sirontaa, joka vaimentaa signaalia (Kilkki, 2019). Verkossa tarvitaan tukiasemia, joihin päätelaitteet ovat yhteydessä. Tukiasemat muuttavat lähetettävän datan sähkömagneettiseksi aalloiksi ja tietynlaisiksi signaaleiksi, jotka vastaanottava päätelaite purkaa takaisin alkuperäiseksi informaatioksi. Tukiasemat sijoitetaan tyypillisesti erilleen omille alueilleen solurakenteeseen (Kuvio 2)



Kuvio 2 Mobiiliverkkotukiasemien solukoverkon esimerkkirakenne. Solut menevät osittain päällekkäin, joten vierekkäiset tukiasemat eivät voi käyttää samoja

taajuuksia. Värit kuvaavat eri taajuusalueita. Jokaisen värin tukiasema lähettää siis eri taajuudella olevaa signaalia, jottei häiriöitä tulisi. (Kilkki, 2019)

Mobiiliverkkosukupolvet

Termit 1G, 2G, 3G, 4G, 5G ja 6G jne. ovat nimityksiä langattomien verkko-tekniologioiden sukupolville (eng. "Generation") (IATE 2022, Euroopan unioni). Jokaisella sukupolvella on omat standardit ja raja-arvot joiden perusteella langattomat verkkoyhteydet luokitellaan omille tasolle (3GPP, 2022). Kun yhteys ylittää tietyn standardin tason, voidaan sitä yhteyttä nimittää sen tietyn sukupolven nimityksellä. Standardeja ohjaa ja kehittää maailmanlaajuisesti 3GPP (3rd Generation Partnership Project), joka on kansainvälinen katto-organisaatio useille muille matkaviestinten standardiorganisaatioille. 3GPP:tä ohjaa Yhdistyneiden kansakuntien televiestintäliitto International Telecommunication Union (ITU), joka säätelee matkaviestinnän maailmanlaajuisesta käyttöä. ITU asettaa ohjeet ja vaatimukset, joiden mukaan 3GPP:n on toimittava.

Sukupolvien määritelmien käytön raja on välillä häilyvä kaupallisissa tarkoituksissa. Esimerkiksi ITU on joulukuussa 2010 vahvistanut, että nimitystä "4G" voidaan markkinoinnissa käyttää myös edistyneistä 3G-tekniologioista. Tätä tukee myös Suomen markkinaoikeus (2013), joka on kirjannut, että "sekä Dual Carrier HSPA+ että LTE-tekniologia ovat sellaisia edistyneitä 3G-tekniologioita, joita on markkinoinnissa sallittua kutsua 4G-tekniologioiksi".

Jokainen sukupolvi tähän asti on tullut noin kymmenen vuotta seuraavan jälkeen (Bassoli ym., 2021). On tämän mukaan odotettua, että 6G otetaan käyttöön yhteiskunnassa 2030-luvulla. Kuten aikaisemmat verkkosukupolvet, 6G tekniologia tulee varmasti kehittymään vielä senkin jälkeen kun se on otettu käyttöön.

2.2 Mobiiliverkkojen kehittyminen

Langaton viestintäteollisuus on toimiala, joka on jatkuvasti kasvanut nopeasti paremmaksi useiden vuosikymmenten ajan. 4G -verkot ovat johtaneet mobiilin internetin kukoistamiseen mahdollistaen erilaisia innovatiivisia sovelluksia, kuten mobiiliostoksia ja -maksuja, älykstä kotia/kaupunkia, mobiilipelaamista ja niin edelleen (Andrews ym., 2014). Viimeisen vuosikymmenen aikana älypuhelimien ja tablettien määrä on kasvanut räjähdysmäisesti mobiililaajakaistan yleistyksen vuoksi (Jiang ym., 2021). Jiang ym. arvioivat että trendi jatkuu 2020-luvulla, sillä älypuhelimien ja tablettien levinneisyys ei ole loppumassa varsinkaan kehitysmaissa. Statista (2022) mukaan vuonna 2021 yksittäisten mobiili-internetkäyttäjien määrä oli 4,32 miljardia, mikä osoittaa, että yli 90 prosenttia maailman internettiä käyttävästä väestöstä käyttää ainakin mobiililaitetta verkossa olemaan. Toisaalta myös yksilötasolla mobiiliverkon käytön määrä on lisääntynyt ja ennustetaan lisääntyvän edelleen (ITU-R, 2015) (Statista, 2022). Tämä johtuu muun muassa videopalveluiden kuten Youtube, Netflix ja Tik-Tok suosiosta, sekä mobiililaitteiden näyttöjen resoluution parantumisesta (Jiang ym., 2021).

Myös mobiilipelaaminen ja muiden palveluiden, kuten musiikin kuuntelu on kasvussa (Statista, 2022). Samaan aikaan uudentyyppiset käyttäjälaitteet, kuten puettava elektroniikka ja VR-lasit (Virtual Reality; virtuaalitodellisuus), tulevat markkinoille nopeasti ja ne omaksutaan nopeasti kuluttajien keskuudessa (Jiang ym., 2021).

Arvioidaan, että 5G-järjestelmän on vaikea kestää valtavaa mobiililiikennettä vuonna 2030 ja sen jälkeen. Globaali langaton verkkoliikenne kasvaa jatkuvasti räjähdysmäisesti, muun muassa teräväpiirto videosovellusten, näytön resoluution parantumisen, koneiden välisen (Machine to Machine, M2M) viestinnän, mobiilipilvipalvelujen ja muun verkon käytön lisääntymisen vuoksi (Jiang ym., 2021). M2M-liittymien määrän ennustetaan vuonna 2030 nousevan 97 miljardiin, mikä on noin 14 kertaa enemmän kuin vuonna 2020 (ITU-R, 2015).

YK:n alainen televiestintäverkkoja ja -palveluja koordinoiva kansainvälinen televiestintäliitto, ITU-R (2015), arvioi mobiililiikenteen kasvavan 80 kertaaisesti vuodesta 2020 vuoteen 2030.

Ihmiskeskeisen viestinnän lisäksi M2M-päätelaitteiden mittakaava kasvaa nopeammin. Tämä toimii myös yhtenä liikkeellepanevana voimana 6G mobiiliverkkojen kehittämiseksi. (Jiang ym., 2021) Muun muassa nämä asiat asettavat lisäävän kysynnän langattomille viestintäverkoille.

Vaikka 5G on vielä alkuvaiheessa, langattomien viestintäjärjestelmien kestävyys ja kilpailukykyyn ylläpitämiseksi on sekä teollisuuden että tiedemaailman aika miettiä, mitä 6G on. On jo aloitteita, jotka kuvaavat etenemissuunnitelmaa kohti 6G:tä sekä esiin nousevia trendejä ja vaatimuksia sekä erilaisia mahdollisia tekniikoita ja arkkitehtuureja (David & Berndt, 2018).

3 6G

Tässä luvussa käsitellään, mikä 6G verkko on ja mikä on sen rooli yhteiskunnassa. Luvussa käydään läpi mitä vaatimuksia 6G verkolle tässä vaiheessa on asetettu ja mytä uusia tulevaisuuden käyttökohteita tälle verkolle on.

3.1 6G:n määritelmä

6G on mobiiliverkkoteknologioiden kuudes sukupolvi (IATE 2022, Euroopan unioni)

3.2 6G:n vaatimukset ja käyttötarkoitukset yhteiskunnassa

Tässä alaluvussa esitellään mitä vaatimuksia 6G teknologialle on tässä vaiheessa asetettu ja mitä motivaattoreita 6G verkon kehittämiseen on .

6G:hen kohdistuu yhteiskunnallisia vaatimuksia ja niiden mukana tulee suorituskykyyn liittyvät numereellisesti mitattavat vaatimukset. Matkapuhelinoperaattoreiden, toimittajien, valmistajien ja tutkimuslaitosten matkaviestinliitto NGMN:n (2021) mukaan 6G verkon kehittämiseksi on kolme laajaa motivaattoria:

- Sosiaaliset tavoitteet yhteiskunnassa
- Markkinoihin kohdistuvat odotukset
- Operaationalliset tarpeet.

NGMN:n (2021) kertoo ensimmäisen 6G verkon kehittämisen motivaattorin olevan sosiaaliset tavoitteet yhteiskunnassa. NGMN kertoo sosiaalisten tavoitteiden muokkautuvan Yhdistyneiden kansakuntien jäsenmaiden keskenään sopimista kestävä kehityksen tavoitteista. Nämä YK:n tavoitteet liittyvät esimerkiksi ympäristön kestävä ylläpitoon, terveydenhuoltoon, köyhyyden ja eriarvoisuuden vähentämiseen, turvallisuuden ja yksityisyyden parantamiseen, väestön ikääntymisen tukemiseen, sekä kaupungistumisen hallintaan. NGMN: mukaan verkkoinfrastruktuuri on olennainen yhteiskunnan tarpeiden kannalta, ja sen odotetaan muuttuvan kriittisemmäksi

viestintäverkkojen roolin laajentuessa yhteiskunnan kaikilla osa-alueilla. Siksi NGMN listaa muun muassa seuraavat tekijät keskeisiksi asioiksi tulevaisuuden teknologioita harkittaessa sosiaalisista näkökulmista:

Kyberturvallisuus, sietokyky ja ennakointi ilmastotilanteita, hyökkäyksiä, laitevikoja, ohjelmistovirheitä, inhimillisiä virheitä vastaan, sekä

tietotekniikkateollisuuden kokonaisvaltainen ympäristövaikutus ja energiatehokkuus.

Toisena laajana motivaattorina NGMN(2021) pitää markkinoiden odotuksia 6G teknologiaa kohtaan. NGMN:n(2021) mukaan 6G teknologiaan kohdistuu kaupallisia tarpeita liittyen esimerkiksi teknologian käytännöllisyyteen, kustannustehokkuuteen, saatavuuteen ja turvallisuuteen. Lisäksi hyvin olennaisena asiana 6G teknologian kehitykseen liittyy sen mukana tulevat uudet sovellukset ja muut teknologiapalvelut(NGMN, 2021).

Kolmas laaja motivaattori matkapuhelinoperaattoreiden, toimittajien, valmistajien ja tutkimuslaitosten matkaviestinliitto NGMN:n (2021) mukaan on operationaaliset tarpeet. Tämä osa-alue NGMN:n (2021) mukaan liittyy verkkoteknologian hallinnollisiin asioihin kuten verkon käyttöönottoon, valvontaan, käyttöön ja hallintaan. Käytännössä tämä motivaattori syntyy kahden ensimmäisen motivaattorin seurauksena (NGMN, 2021)

6G:n vaatimukset

Oulun yliopiston Flagship(2019) projektin mukaan 6G:llä yritetään tavoitella aiempiin sukupolviin, verrattuna muun muassa nopeampaa datansiirtoa, lyhyempää viivettä, enemmän tuettuja laitteita neliömetrejä kohden, mahdollisuutta suurempaan dataliikenteeseen, parempaa luotettavuutta ja parempaa energiatehokkuutta. Tämä on myös konsensus muiden lähteiden tutkimuspaperissa ja julkaisuissa. Samankaltaiset tavoitteet on listattu myös muun muassa Rappaportin ym., (2019), Jiangin ym., (2021), Wikströmin ym., (2020), Zhangin ym., (2019), Saadin ym., (2020) ja Tariqin ym. (2020) tutkimuksissa.

6G:n tavoitteet on kirjattu numereellisesti Oulun Yliopiston Flagship(2019) projektissa seuraavasti:

Nopeutena 100-1000 Gigatavua dataa sekunnissa

Viive korkeintaan 0.0001s

Tuettuna 100 laitetta per neliömetri(m²)

Kymmentuhatkertainen(10 000x) dataliikenteenkasvuraja 5G:hen verrattuna

99.9999% luotettavuus katkoksissa/katkoksia yksi miljoonasta

Kymmenen kertaa(10x) energia tehokkaampi 5G:hen verrattuna(6G Flagship)

Huomioitavaa on että kaikkiin vaatimuksiin ei kyetä välttämättä samanaikaisesti, vaan tarkoituksena on rakentaa teknologia, joka pystyy mukautumaan käyttötapauksien tarpeiden mukaisesti (6G Flagship, 2019).

3.3 Uudet käyttötarkoitukset

Tässä alaluvussa esitellään mitä uusia tulevaisuuden käyttötarkoituksia 6G teknologialle on suunniteltu. Alaluvussa käydään läpi konkreettisia esimerkkejä uusista teknologioista, joiden toimintaan 6G verkkoa tarvitaan. 6G tulee vaikuttamaan siellä ja sellaisissa asioissa missä nykyäänkin verkkoa tarvitaan, mutta tämä alaluku keskittyy uusiin mahdollisiin käyttötarkoituksiin, joita on mainittu lähteinä käytetyissä tutkimusartikkeleissa. Esimerkiksi Saadin ym. (2020), Zhan- gin ym.(2019) ja Jiangin ym. (2021) mukaan 6G:n on määrä mahdollistaa näitä tulevia teknologioita ja tietojärjestelmiä, eikä niitä ole mahdollista saavuttaa nykyisellä verkkoteknologian tasolla. Mutta tosiaan monet 6G:n mahdolliset käyttöskenaariot liittyvät myös vahvasti 5G-skenaarioiden parannukseen tai laajentamiseen (Saad ym., 2020), (Tariq ym., 2020).

Luvussa läpikäytävät käyttötapaukset ovat pääasiassa kehitteillä olevia uusia teknologioita, joiden katsotaan vaativan avukseen 6G verkon toimiakseen luotettavasti ja tehokkaasti . Näitä teknologioita ovat muun muassa aistittava internet, digitaalinen kaksoiskappale ja autonomisten kulkuneuvojen linkitys.

Arvioituja 6G verkkoteknologian tulevaisuuden käyttötarkoituksia, joita tässä tutkielmassa ei käsitellä ovat esimerkiksi holografinen kommunikaatio(Jiang ym. 2021) lohkoketjujen hyödyntäminen verkkojen käytössä (Kotobi & Bilan, 2018).

Aistittava internet

Aistittava internet yrittää saada internetin ihmisen aistittavaksi muutenkin kuin näön tai kuulon avulla. Aistittavan internetin(eng. tactile internet) avulla ihmiset ja koneet voivat olla vuorovaikutuksessa ympäristönsä kanssa reaaliajassa tietyllä alueella (Kavanagh & Mundy, 2021). Ihmisellä on viisi aistia (näkö, kuulo, kosketus, haju ja maku) ulkoisen ympäristön havaitsemiseen, kun taas nykyinen verkolla välitettävä viestintä keskittyy pääasiassa vain nähtäviin (teksti, kuva ja video) ja kuultaviin (ääni, ääni ja musiikki) palveluihin(Xu ym., 2011). Kansainvälinen televiestintäliitto ITU (ITU-T FG-NET-2030, 2019) määrittelee aistittavan internetin verkoksi, jossa yhdistyy erittäin alhainen viive ja erittäin korkea käyttömäärä, luotettavuus ja turvallisuus. Tunto-, maku- ja hajuaistien osallistuminen voi luoda täysin kokemusta, joka voi tuoda uusia palveluita esimerkiksi elintarvike- ja rakenneteollisuudessa (ITU-T FG-NET-2030, 2019). Esimerkiksi ihminen voi aistia ympäristön jossa käytettävä kone on, vaikka ihminen ei olisi itse

henkilökohtaisesti samassa ympäristössä läsnä Kosketusta hyödyntäviä käyttötapauksia voivat olla esimerkiksi etäkirurgia, kauko-ohjaus. Haju- ja maku- ja muiden aistien ja osallistamista vielä tutkitaan (Jiang ym., 2021).

Laajennettu todellisuus Laajennettu todellisuus(Extended Reality, XR) on yläkäsite, tai sateenvarjo termi tietokoneella luoduille ympäristöille, jossa yhdistyy fyysinen ja virtuaalinen maailma tai maailma on kokonaan virtuaalinen (Breia, 2022). Lisättyä, virtuaalista ja sekatomellisuutta yhdistävä laajennettu todellisuusalkaa astua kunnolla käytäntöön 5G:ssä, mutta se on vielä alkuvaiheessa esimerkiksi mobiilialustoilla. Esimerkiksi laajennetun todellisuuden hologrammainen video, joka kattaa 360:n asteen näkökentän, tarvitsee paljon suuremman tiedonsiirron kuin 2D-videon suoratoisto. Laajennetun todellisuuden mahdollistavien laitteiden lisääntyminen ja leviäminen 5G ympäristössä on rajallista, johon tuen siitä että, 5G:n kapasiteetti ei tulisi riittämään tarvittavan datan siirrossa erityisesti signaalialueiden reunalla. Suuren data siirron lisäksi lyhyt viive ja korkea luotettavuus ovat tärkeitä vaatimuksia laajennetun todellisuuden käyttöön. Esimerkki käyttötarkoituksia ovat esimerkiksi viihdemarkkinat, terveysala ja teollisuus.(Jiang ym., 2021)

Digitaalinen kaksoiskappale

Digitaalinen kopiointia käytetään yksityiskohtaisen virtuaalisen kopion luomiseen fyysisestä todellisesta esineestä. Ohjelmistokopio on tarkka virtuaalinen malli alkuperäisestä ja se mallintaa kaikkia alkuperäiseen kohteeseen liittyviä ominaisuuksia ja tietoja. Tällaista kaksoiskappaletta voidaan käyttää esimerkiksi sitten useiden uusien kappaleiden valmistamiseen. Digitaalinen kaksoiskappale kykenee myös seuraamaan fyysisen kaksosen elinkaarta. Siksi sen seuranta-, ohjaus-, ylläpito-, ennustus- ja optimointiprosessit alkavat ja päättyvät rinnakkain vastaavan fyysisen kaksoisosan kanssa. Digitaalisen kaksosen avulla voi hallita, muuttaa ja jakaa sen fyysiseen vastineeseen liittyvää tietoa. Esimerkiksi kaksoiskappaleen avulla voi hallita fyysistä anturia, tai tarkkailla rakennuksen venttiilien tai moottorien tilaa. Näin digitaalisen kaksoiskappaleen avulla voi alentaa käyttökustannuksia ja ylläpitokustannuksia. Digitaalisten kaksoisverkkojen varhaiset käyttöönotot ovat herättäneet huomiota useilla toimialoilla. Sen täysimittainen käyttöönoton odotetaan kuitenkin toteutuvan 6G-verkkojen kehittämisen myötä.(Jiang ym. 2021)

6G osana nanoteknologiaa

6G voisi Zhangin ym. (2019) mukaan tarjota tarpeeksi hyvän luotettavuuden ja täyttää muut tarvittavat vaatimukset biolääketieteen ja verkoteknologian yhdistämiselle. Nanoteknologia voi mahdollistaa nanolaitteiden, kuten nanorobottien, istutettavien sirujen ja biosensoreiden, valmistuksen biolääketieteessä (Akan ym., 2017). Nanoteknologian soveltaminen biolääketieteessä on herättänyt huomiota, koska sen avulla voidaan suorittaa tehtäviä kuten älykäs lääkeannostus verisuonissa ja kehon elinten seuranta parantaakseen merkittävästi ihmisten terveydenhuoltoa (Zhang ym., 2019). Nanolaitteiden yhdistäminen internetiin voi

saavuttaa tehokkaan viestinnän ja tiedonsiirron, ja voi mahdollistaa nanolaitteiden ja biologisten kokonaisuuksien yhdistämisen(Akan ym., 2017).

Autonomisten kulkuneuvojen linkitys

Yksi syy 6G teknologian tarpeelle on linkitettyjen autonomisten kulkuneuvojen luotettavuus. Kyse on siis linkittää ajoneuvot suuressa mittakaavassa kommunikoimaan toisten kanssa keskenään liikenteen sujuvoittamiseksi, sekä onnettomuuksien ehkäisyksi. Kytkeytyillä autonomisilla ajoneuvoilla on tiukat vaatimukset luotettavuudelle ja latenssille matkustajien ja jalankulkijoiden turvallisuuden takaamiseksi. 6G edesauttaa linkitettyjen ajoneuvojen kehitystä ja käytössä ylläpitämään kommunikaatiota kulkuneuvojen kesken(6G Flagship, 2019). Zhangin ym.(2019) mukaan itseohjautuvien ajoneuvojen yhdistäminen vaatii hyvin korkean luotettavuuden ja alhaisen viiveen. Zhang ym. puhuvat yli 99,99999 prosentin luotettavuudesta ja alle 1 ms viiveajasta. He ottavat esimerkiksi skenaariot, joissa kulkuneuvon vauhti voi lähentyä jopa 1000 km/h ja luotettavuus ja viive täytyvät olla hyvät matkustajien turvallisuuden takaamiseksi. Lisäksi lisääntyvä anturien määrä ajoneuvoa kohti vaatii kasvavia tiedonsiirtonopeuksia, jotka ylittävät nykyisen verkon kapasiteetin (Choi ym., 2016). Autonomisten autojen lisäksi lentävät ajoneuvot kuten droonet edustavat valtavaa potentiaalia erilaisissa skenaarioissa esimerkiksi rakentamisessa ja ensiaputoissa (Giordani ym., 2020). Miehittämättömät ilma-ajoneuvot, erityisesti drooniparvi, tarjoavat mahdollisuuden monenlaisiin käyttötarkoituksiin ja tuovat samalla vaatimuksia mobiili-verkoille.

4 6G:n mahdollistavat teknologiat

Tämän luvun tarkoituksena on selventää, että 6G verkon toiminnan aikaansaamiseksi yhteiskunnassa, tarvitaan avuksi monia teknologioita. Näitä teknologioita ovat muun muassa millimetriaallot, terahertsiaallot, MIMO teknologiat ja optinen langaton viestintä. Tarkoituksena on käydä pinnallisesti läpi suunnitellut teknologiat ja kertoa niistä mahdollisimman yksinkertaisesti. Luvussa mainittavat teknologiat ovat kompleksisia kokonaisuuksia, ja yksinkertaistakseen asioita teknologioista on kerrottu vain olennaisimmat tiedot toimintatapaa ja hyötyjä painottaen. Teknologioiden on tarkoitus toimia yhdessä ja näin ollen mahdollistaa 6G:lle asetettavat standardit. Tämän takia teknologioita läpikäydessä teksti on pyritty pitämään mahdollisimman laajana, mutta informatiivisena ja selkeänä ymmärtää. Osa luvussa mainituista teknologioista on verrattain uusia tai vasta kehitteillä. Osa teknologioista on jo osittain jonkinlaisessa käytössä. 6G verkkoon suunniteltuja uusia teknologioita on monia, ja vielä ei varmuudella voida sanoa mitkä näistä teknologioista tulevat standardiksi verkon rakentamisessa.

6G verkon rakentamiseen kyetään käyttämään mahdollisimman paljon ole-massaolevaa arkkitehtuuria, lisäämällä niihin tiettyä parannuksia. On myös muistettava, että riippuen maasta, 4G, 5G ja jopa aiemmat verkkoteknologiat jäävät käyttöön 6G:n tullessa, sillä 6G:n vaikutusalue ei heti pysty kattamaan samoja alueita kuin aikaisemmat verkkoteknologiat. Aivan kuten 5G:n tullessa käyttöön 4G ja 3G verkot olivat käytössä, maasta riippuen. Syynä on, että uuden verkkoteknologian rakentaminen ja laajentuminen on aikaavievää.

Millimetriaallot

Yksi 6G verkon mahdollistavista teknologioista muun muassa Saadin ym. (2020), Zhangin ym. (2019), Flagship(2019) sekä Björnsonin, Hoydisin ja Sanguinetin(2018) mukaan ovat millimetriaallot. Taajuusalueetta välillä 30GHz-300Ghz nimitetään millimetriaaltotaajuusalueeksi ("millimeter wave band, mmWave band"), koska aallonpituuden näissä taajuuksissa ovat 1-10mm(Marcus & Pattan, 2005). Millimetriaaltopituudet ovat käytössä jo 5G:ssä, ja niiden uskotaan pysyvän olennaisena osana myös tulevassa 6G-verkossa. Lyhyemmän aallonpituuden ansiosta millimetriaallot pystyvät kuljettamaan jopa kymmen kertaa enemmän dataa kuin 4G:n vastaavat mikroaallot(Chittimoju & Yalavarthi, 2021). Andrews ym. mukaan uusi laajempi taajuusalue auttaa myös keventämään aikeisempien taajuuskaistojen kuormitusta. Samaan aikaan lyhyempi aallonpituus johtaa myös pienempään antennin kokoon.

Millimetriaaltojen edut tuovat samalla mukanaan myös haasteita. Yksi millimetriaaltojen suurimmista käytännön haasteista on niiden huono eteneminen. Millimetriaaltojen etenemisen vaimeneminen on suurempaa kuin aiemmin käytetyillä matalilla taajuuksilla. (Agiwal, Roy & Saxena, 2016.) Millimetriaaltojen tehokasta etenemistä rajoittaa myös isot ja pienet fyysiset esteet sekä myös ilma-kehän ja molekyylien absorptio (Björnson, Hoydis, Sanguinetti, 2018). Millimet-

riaallot läpäisevät huonosti kiinteitä objekteja, joten niiden hyödyntämiseksi tulee kiinnittää enemmän huomiota sekä verkon rakenteeseen että käyttäjän ja tukiaseman väliseen etäisyyteen (Agiwal ym., 2016). Signaali voi heikentyä merkittävästi alueilla, joissa on tiheästi pienimuotoisia esteitä, kuten ajoneuvoja, jalkenkulkijoita tai jopa käyttäjän oma keho (Han ym., 2017). Mitä pienempi aallonpituus on, sitä herkemmin aaltojen muoto muuttuu niiden osuessa esteisiin. Myös millimetriaaltotaajuusalueen laaja kaistanleveys ja suuri lähetysteho voivat johtaa vakaviin epälineaarisiin signaalien vääristymiin, mikä asettaa korkeampia teknisiä vaatimuksia laitteistolle. (Jiang ym., 2021.)

Terahertsiaallot/alimillimetriaallot

Terahertsitaajuusalue on langaton teknologia, joka toimii vieläkin korkeammalla taajuudella, kuin millimetritaajuusalue. Terahertsisäteily on sähkömagneettista säteilyä, jonka taajuus on välillä 300GHz – 3 000 GHz ja aallonpituus on siten 0,1-1mm (Glaser, 2012). Huolimatta laajasta taajuuspektristä, millimetriaaltopituuudet ovat tuskin riittävät verkkojen tarpeen lisääntyessä vielä vuosikymmenen ajan ja se on yksi syy, miksi terahertsiaaltoja halutaan käyttöönottaa (Jiang ym., 2021). Millimetriaaltoihiin verrattuna terahertsiaallot, tuovat yhä nopeamman ja paremman datansiirron mahdollistaen satojen gigabitien sekunnissa tiedonsiirtonopeudet (Jornet & Akyildiz, 2011). Alimillimetrialueen tai terahertsialueen käyttön ajatellaan auttavan verkon suorituskyvyn, tehokkuuden ja laadun parantamisessa. Toisaalta merkittävimmät ongelmat, jotka ovat toistaiseksi estäneet terahertsilinkkien käyttöönoton kaupallisissa järjestelmissä, ovat suuri etenemishäviö molekyylien absorptio ilmassa, suuri läpäisyhäviö fyysisissä esteissä, sekä antennien ja radiotaajuuspiirien tekniset haasteet (Zhang ym., 2019). Kuten millimetriaallot, myös alimillimetriaallot kärsivät suuresta etenemishäviöstä ja ovat siksi erittäin riippuvaisia signaalien suuntauksesta ja näköesteettömyydestä. Kuitenkin kun tarpeeksi hyvä yhteys on saatavilla, terahertsitaajuus tuo kaistanleveyden, joka on huomattavasti suurempi kuin mikään vanha tekniikka, mikä mahdollistaa samanaikaisesti erittäin korkean suorituskyvyn, vähäisen viiveen ja korkean luotettavuuden. (Jiang ym., 2021.). Terahertsiviestinnän suorituskykyä voidaan maksimoida toimimalla tietyillä taajuuskaistoilla, joihin molekyyliabsorptio ei vaikuta vakavasti (Jornet & Akyildiz, 2011). Korkeiden taajuuksien käyttö, mahdollistaa erittäin pienikokoisia elektronisia pakkausratkaisuja signaalien lähettimiksi (Giordani ym., 2020). Terahertsialueella on paljon rikkaammat spektriresurssit kuin millimetri-aallonpituusalueella, ja terahertsialueella voidaan hyödyntää radioaaltojen lisäksi valoaaltoja (Boulogeorgos ym., 2018). Terahertsialue voi olla hyödyllinen useiden antennien integroimiseksi ja satojen säteiden tuottamiseksi, koska sen aallonpituus on paljon lyhyempi kuin mm-aaltokaistan (Zhang ym., 2019). Kapeat säteet parantavat signaalien etenemispituutta, datansiirron suuruutta, ja mahdollistavat yhä suuremman käyttäjä- ja laitemäärän palvelemisen (Zhang ym., 2019.)

MIMO-teknologiat

MIMO on teknologia, jonka avulla dataa lähetetään tukiasemista käyttäjille. Tätä teknologiaa käytetään tukiasemissa, ja ideana on että näissä sähkömagneettisia aaltoja lähettävissä tukiasemissa on useita antennoja jotka lähettävät signaalia yhtäaikaaisesti. MIMO teknologia on jo käytössä 4G verkoissa sekä 5G verkoissa, mutta sitä konseptia pystytään edelleen laajentamaan. MIMO teknologiaa pystytään laajentamaan lisäämällä antennien määrää, ja näin ollen saadaan luotua parempi yhteys monen säteen avulla käyttäjille. Yhtenä pääajatuksena on että antennoja on enemmän käyttäjiin nähden. Mitä enemmän antennoja, sitä paremmin signaalia pystytään vahvistamaan ja kohdistamaan käyttäjälaitteeseen. (Björnson, Hoydis, Sanguinetti, 2018)

Hanin ym. (2017) mukaan kapeiden keilojen tuottaminen samanaikaisesti on tärkeää, jotta voidaan voittaa suuri säteiden etenemishäviö ilmakehässä ja saavuttaa samanaikaisesti erittäin suuri kaistanleveys, joka mahdollistaa lähettää suurta määrää dataa. Zhang ym. (2019) perustelevat MIMO:n etuina myös sitä, että hyvin kapeiden säteiden muodostaminen auttaa voittamaan millimetriaalto ja terahertsiaaltojen etenemishäviön ja myös vähentämään tukiasemien välisiä häiriöitä. Zhangin ym. (2019) esittävät, että 6G tukiasemiin tai muihin vastaaviin aaltojen lähetystorneihin on odotettavissa lisättävän tuhansia pieniä antennoja, jotka kykenevät muodostamaan hyvin kapeita säteitä.

Optinen langaton viestintä

Optinen langaton viestintä (optical wireless communication, OWC) viittaa langattomaan tietoliikenteeseen, joka käyttää lähetysvälineenä infrapunavaloa, näkyvää valoa tai ultraviolettivaloa (Elgala ym., 2009). Se on lupaava täydentävä tekniikka perinteiseen radioaalloilla toimivaan viestintään (Jiang ym., 2021). Hyötyjä ultraviolettivalon, infrapunavalon ja näkyvän valon käyttöön on se, että niiden signaali kantaa joissakin ympäristöissä ja olosuhteissa normaaleja radioaaltoja paremmin (Jiang ym., 2021). Oulun yliopiston 6G Flagship projektin professori Katzin(2021) haastattelun mukaan kommunikaatio näkyvän valon kanssa voi hyödyntää samaa valoinfrastruktuuria, jota huoneiston katoissa käytetään tilan valaisuun. Katz(2021) kertoo, että laitteiden välisessä kommunikaatiossa tyypillisesti datan lähetin käyttää valaisimen näkyvää valoa kommunikoimaan puhelimen kanssa ja puhelin käyttää ihmissilmälle näkymätöntä ultraviolettivaloa kommunikoimaan takaisin lähettimen kanssa. Valoon perustuva kommunikaatio on hyvin turvattu, koska valosignaali pysyy eristettynä siinä tilassa, jossa sitä käytetään. Kukaan valolähteen ulkopuolella ei voi vastaanottaa dataa. Kuitenkin optiset viestintävälineisiin kärsivät muista valonlähteistä, ja siksi niitä voidaan käyttää enimmäkseen sisätiloissa, joissa ei ole muita häiritseviä valonlähteitä (Pathak ym., 2015). Katzin (2021) mielestä valoallot ja radioaallot täytyy olla toisiaan tukevia kommunikaation keinoja ja toimittava vuorottain, sillä käyttäjän käyttöympäristön ja sijainnin muuttuessa optiset signaalit voivat myös estyä.

Kun taas vastaavasti hyvin käyttäjätiheillä alueella optiset signaalit voivat tarjota Katzin mielestä paljon luottettavamman ja turvallisemman yhteyden. Katzin(2021) mukaan valon hyviä puolia on muun muassa sen suuri taajuus spektri, jota voi vapaasti hyödyntää, sekä mahdollisuus tukea hyvin suurta määrää datan siirtoa nopeasti.

Sevincer ym. (2013) mukaan lähetin-vastaanottimien toteuttamisessa valonlähteinä voidaan käyttää esimerkiksi LED valoja. Näillä lähetin-vastaanottimilla voidaan helposti saavuttaa suuri kaistanleveys pienellä virrankulutuksella ilman sähkömagneettisia tai radiohäiriöitä (Sevincer ym., 2013). Jiangin(2021) mukaan optisen langattoman viestinnän odotetaan tuovan etuja eri käyttötilanteisiin kuten ajoneuvoviestintään älykkäisiin liikennejärjestelmiin, ja lääketieteellisiin koneissa, jotka ovat herkkiä sähkömagneettisille häiriöille. Edustaan huolimatta optinen langaton teknologia kärsii haitoista, kuten ympäristön muusta valosta ja ilmakehän absorptiosta (Kahn & Barry, 1997).(Jiang ym., 2021)

Tekoäly

Jiangin ym. (2021) mukaan 6G-järjestelmän odotetaan tukevan sellaisten monipuolisten mobiili-tekoälysovellusten nousua jotka hyödyntäisivät toiminnassaan tekoälyä. Matkaviestinverkot ovat yhä monimutkaisempia ja sen seurauksena monet optimointitehtävät muuttuvat vaikeaksi ratkaistavaksi. Tekoälyä voitaisiin Huangin, Songin, Yangin, Guin, ja Adachin (2019) mukaan hyödyntää osaan langattoman viestinnän ja verkkotoiminnan haasteiden ratkomiseksi. Huang ym., (2019) esimerkiksi esittävät tekoälyä käytettävän MIMO-teknologioissa, mikä mahdollistaisi tarkemman arvioinnin säteiden suuntaamiseen ja käyttöön, tehokkaampaan taajuuksien käytön suunnitteluun, virtuaalisten resurssien hallintaan sekä muun laskennan parantamiseksi. Jiangin ym (2021) mukaan myöskin uudentyyppiset päätelaitteet saattavat tarvita tulevaisuudessa tekoälypohjaista laskentaa, kuten robottien, älyautojen, droneiden ja virtuaalilaisien toiminta, jotka vaativat paljon laskentaresursseja mobiiliverkon toiminnassa. Tällaiset tekoälytehtävät tarkoittavat Jiangin ym.(2021) mukaan pääasiassa laskentaintensiivisiä tekoälytehtäviä, kuten tietokonenäköä, puhe- ja kasvojen tunnistusta, luonnollisen kielen käsittelyä ja liikkeenohjausta.

LIS(large intelligent surface)

LIS tai IRS("intelligent reflecting surface") tai RIS ("Reconfigurable intelligent surface") on ohjelmoitava rakenne, jolla kyetään hallitsemaan elektromagneettisten aaltojen etenemistä muuttamalla pinnan sähköisiä ja magneettisia ominaisuuksia(Tapio ym., 2021). Yksinkertaisuudessaan LIS on pinta, jolla pystytään kohdistamaan vastaanotettuja signaaleita tarkasti seuraavaan vastaanottiin(Wu ym., 2021). Pinta siis heijastaa signaaleita, ja pinnan ominaisuuksia pystytään muokkaamaan, jotta signaalin suunta ja kohdistus muuttuu. Pintoja voidaan asentaa esimerkiksi kaupunkialueiden rakennuksien seiniin, jotta tukiasemasta lähtevä signaali voisi paremmin tavoittaa suorien näköesesteiden taakse jääneitä laitteita (Zhang ym., 2019). Verrattuna aktiivisiin tukiasemiin ja tukipisteisiin, joissa on perinteisiä antenniryhmiä, pinnan etuna on alhainen hinta ja al-

hainen virrankulutus (Björnson, Sanguinetti, Wymeersch, Hoydis, Marzetta, 2019).

5 Yhteenveto ja jatkotutkimusaiheet

Tässä kandidaattitutkielmassa käytiin läpi mihin uusiin käyttötarkoituksiin 6G verkko on suunnitteilla, ja millä teknologioilla 6G verkko aiotaan saada paremmaksi kuin edeltävät sukupolvien verkot. Lisäksi käytiin läpi peruseriaatteen mobiiliverkkojen toiminnasta.

Tutkielmassa uusiksi suunnitelluiksi käyttötarkoituksi havaittiin ja otettiin läpikäytäväksi käsitteet aistittava internet, laajennettu todellisuus, digitaalinen kaksoiskappale, autonomisten kulkuneuvojen linkitys ja nanoteknologia. 6G verkkoon suunnitellut teknologiat

Ensimmäisessä synteesitaulukossa listataan nämä kandidaattitutkielmassa läpikäytyt uudet käyttötarkoitukset, joissa 6G verkkoteknologia olisi mukana. Synteesitaulukossa on myös mukana lähteet, joissa kerrottiin kyseisistä aiheista. Toisessa synteesitaulukossa listataan kandidaattitutkielmassa läpikäytyt uudet suunnitellut teknologiat, joilla 6G verkko toimisi, ja joiden avulla 6G verkko olisi edeltäviä verkkosukupolvia parempi. Asioita joita nostetaan esiin ovat sähkömagneettisten aaltojen tehokkaampi hyödyntäminen ja niihin kuuluvan laitteiston tuottaminen, arkkitehtuuriset muutokset infrastruktuuriin, sekä energian tehokkaampi käyttö alueellisesti ja volyyymillisesti ajatellen (Saad ym., 2020). 6G mahdollistaa teknologioita ja tietojärjestelmiä, joita ei ole mahdollista saavuttaa nykyisellä teknologian tasolla. (Saad ym., 2020)

Synteesitaulukko 1. Uudet käyttötarkoitukset

Käyttötarkoitus	Miten hyödynnetään	Lähde
Aistittava internet	Aistittava internet yrittää saada internetin ihmisen aistittavaksi muutenkin kuin näön tai kuulon avulla. Aistittavan internetin avulla ihmiset voivat aistiensa avulla olla vuorovaikutuksessa koneiden kanssa, ja aistia ympäristön jossa kone on vaikka ihminen ei olisi itse henkilökohtaisesti siellä läsnä	Xu ym., (2011) Kavanagh & Mundy., (2021) Kansainvälinen televiestintäliitto ITU (ITU-T FG-NET-2030, 2019)

Laajennettu todellisuus	Laajennettu todellisuus(Extended Reality, XR) on yläkäsite, tai saateenvarjo termi tietokoneella luoduille ympäristöille, jossa yhdistyy fyysinen ja virtuaalinen maailma tai maailma on kokonaan virtuaalinen. Esimerkki käyttö-tarkoituksia ovat esimerkiksi viihdemarkkinat, terveysala ja teollisuus	Breia (2022) Jiang ym., (2021)
Digitaalinen kaksoiskappale	Digitaalinen kaksoiskappale on tarkka virtuaalinen malli alkuperäisestä ja se mallintaa kaikkia alkuperäiseen kohteeseen liittyviä ominaisuuksia ja tietoja. Tällaista kaksoiskappaletta voidaan käyttää esimerkiksi siten useiden uusien kappaleiden valmistamiseen.	Jiang ym., (2021)
6G osana nanoteknologiaa	Nanoteknologia voi mahdollistaa nanolaitteiden, kuten nanorobottien, istutettavien sirujen ja biosensoreiden, valmistuksen biolääketieteessä. 6G auttaa nanotiedettä tehden siitä esimerkiksi tarkempaa ja viiveettömämpää.	Zhang ym., (2019) Akan ym., (2017)
Autonomisten kul-kuneuvojen linkitys	Itseohjautuvien ajoneuvojen yhdistäminen vaatii hyvin korkean luotettavuuden ja alhaisen viiveen. 6G edesauttaa linkitettyjen ajoneuvojen kehitystä ja käytössä ylläpitämään	Giordani ym., (2020) Zhang ym., (2019) 6G Flagship., (2019) Choi ym., (2016)

	<p>kommunikaatiota kul-kuneuvojen kesken. Autonomisten autojen lisäksi lentävät ajoneu-vot kuten droonet edustavat valtavaa po-tentiaalia erilaisissa skenaarioissa esimer-kiksi rakentamisessa ja ensiaputöissä.</p>	
--	---	--

Synteesitaulukko 2: Mahdollistavat teknologiat

Teknologia	Miten toimii ja mitä pa-rantaa	Lähde
Millimetriaallot	Lyhyemmän aallonpi-tuuden ansiosta milli-metriaallot pystyvät kuljettamaan jopa kym-men kertaa enemmän dataa kuin 4G:n vastaa-vat mikroaallot. Käy-tössä jo 5G:ssä	Saad ym. (2020) Zhang ym. (2019) Flagship.,(2019) Han ym., (2017) Chittimoju & Yalavarthi, (2021) Jiang ym., (2021) Björnson, Hoydis & San-guinetti., (2018)
Terahertsiaallot /alimilli-metriaallot	Terahertsialueen käyttö auttaa verkon suoritus-kyvyn, tehokkuuden ja laadun parantamisessa. Millimetriaaltoihin verrattuna terahertsiaallot, tuovat yhä nopeamman ja paremman datansiir-ron mahdollistaen sato-jen gigabittien sekun-nissa tiedonsiirtono-peudet.	Jornet & Akyildiz., (2011) Boulogeorgos ym., (2018) Jiang ym., (2021) Zhang ym., (2019) Giordani ym., (2020)
MIMO-teknologiat	Sähkömagneettisia-aal-toja lähettävissä tu-kiasemissa on useita antennoja jotka lähettä-vät signaalia yhtäaikai-sesti. MIMO teknologia	Zhang ym. (2019) Björnson, Hoydis, San-guinetti., (2018) Han ym., (2017)

	<p>on jo käytössä 4G verkoissa sekä 5G verkoissa, mutta sitä konseptia pystytään edelleen laajentamaan. Eritään suuri kaistanleveys, joka mahdollistaa lähettää suurta määrää dataa. Mahdollista kohdistaa signaalia.</p>	
Optinen langaton viestintä	<p>Langattomaan tietoliikenne, joka käyttää lähetysvälineenä infrapuna- ja näkyvää valoa tai ultravioletivaloa. Tietoturvallinen yhteys. Mahdollistaa lähettää suurta määrää dataa.</p>	<p>Katz (2021) Jiang ym., (2021)</p>
Tekoäly	<p>Paljon laskentaresursseja vaativat toiminnot. Esimerkiksi robottien, älyautojen, droneiden ja virtuaalilasien, tietokonenäköä, puhe- ja kasvojen tunnistusta, luonnollisen kielen käsittelyä ja liikkeenohjausta vaativat toiminnot.</p>	<p>Huang ym., (2019) Jiang ym., (2021)</p>
Large intelligent surface	<p>Ohjelmoitava rakenne, jolla kyetään hallitsemaan elektromagneettisten aaltojen etenemistä muuttamalla pinnan sähköisiä ja magneettisia ominaisuuksia. Pinta heijastaa signaaleita, ja pinnan ominaisuuksia pystytään muokkaamaan, jotta signaalin suunta ja kohdistus muuttuu. Mahdollistaa paremman signaalin kantavuuden ja kohdistuksen</p>	<p>Tapio ym., (2021) Wu ym., (2021) Zhang ym. (2019) Björnson, Sanguinetti, Wymeersch, Hoydis, Marzetta, (2019)</p>

Jatkotutkimuksena voisi tutustua useampaan uuteen mahdolliseen 6G :n käyttötarkoitukseen ja samalla aiheeseen liittyviin suureen määrään eri julkaisualustoilta löytyviin artikkeleihin laajemmin. Käyttötarkoituksiin voisi myös perehtyä jatkotutkimuksissa paljon syvemmin. 6G :n mahdollistavat teknologiat ovat tässä selitetty kattavasti yksinkertaiselle ja selkeälle tasolle. Jatkotutkimuksissa teknologioihin voi syventyä enemmän ja tarkemmin.

LÄHTEET

- Agiwal, M., Roy, A. & Saxena, N. (2016). Next Generation 5G Wireless Networks: A Comprehensive Survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18(3), 1617–1655. <https://doi.org/10.1109/COMST.2016.2532458>
- Akan, O. B., Ramezani, H., Khan, T., Abbasi, N. A. & Kuscü, M. (2017). Fundamentals of Molecular Information and Communication Science. *Proceedings of the IEEE*, 105(2), 306–318. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2016.2537306>
- Andrews, J. G., Buzzi, S., Choi, W., Hanly, S. V., Lozano, A., Soong, A. C. K. & Zhang, J. C. (2014). What Will 5G Be? *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 32(6), 1065–1082. <https://doi.org/10.1109/JSAC.2014.2328098>
- Bassoli, R., Fitzek, F. & Strinati, Emilio Calvanese. (2021). Why do we need 6G? https://www.itu.int/dms_pub/itu-s/opb/jnl/S-JNL-VOL2.ISSUE6-2021-A01-PDF-E.pdf
- Björnson, E., Sanguinetti, L., Hoydis, J., "Massive MIMO Networks" (2018)
- Björnson, E., Sanguinetti, L., Wymeersch, H., Hoydis, J. & Marzetta, T. L. (2019). Massive MIMO is a Reality -- What is Next? Five Promising Research Directions for Antenna Arrays (arXiv:1902.07678). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1902.07678>
- Boulogeorgos, A.-A. A., Alexiou, A., Merkle, T., Schubert, C., Elschner, R., Katsiotis, A., Stavrianos, P., Kritharidis, D., Chartsias, P.-K., Kokkonen, J., Juntti, M., Lehtomäki, J., Teixeira, A. & Rodrigues, F. (2018). Terahertz Technologies to Deliver Optical Network Quality of Experience in Wireless Systems Beyond 5G. *IEEE Communications Magazine*, 56(6), 144–151. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2018.1700890>
- Breia, R What is extended reality, <https://sensoriumxr.com/articles/what-is-extended-reality-2022>
- Chittimoju, G. & Yalavarthi, U. D. (2021). A Comprehensive Review on Millimeter Waves Applications and Antennas. *Journal of Physics: Conference Series*, 1804(1), 012205. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1804/1/012205>
- Choi, J., Va, V., Gonzalez-Prelcic, N., Daniels, R., Bhat, C. R. & Heath, R. W. (2016). Millimeter-Wave Vehicular Communication to Support Massive Automotive Sensing. *IEEE Communications Magazine*, 54(12), 160–167. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2016.1600071> CMChowdhury, Mostafa Zaman, Md. Shahjalal, Shakil Ahmed, ja Yeong Min Jang. "6G Wireless Communication Systems: Applications, Requirements, Technologies, Challenges, and Research

Directions". *IEEE Open Journal of the Communications Society* 1 (2020): 957–75.
<https://doi.org/10.1109/OJCOMS.2020.3010270>.

David, K. & Berndt, H. (2018). 6G Vision and Requirements: Is There Any Need for Beyond 5G? *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 13(3), 72–80.
<https://doi.org/10.1109/MVT.2018.2848498>

Denisowski, P., Cheng, T. "Reducing Cell Edge Interference with Massive MIMO"(2018)

Elgala, H., Mesleh, R. & Haas, H. (2009). Practical considerations for indoor wireless optical system implementation using OFDM. 2009 10th International Conference on Telecommunications, 25–29.

Giordani, Marco, Michele Polese, Marco Mezzavilla, Sundeep Rangan, ja Michele Zorzi. "Toward 6G Networks: Use Cases and Technologies". *IEEE Communications Magazine* 58, nro 3 (maaliskuuta 2020): 55–61.
<https://doi.org/10.1109/MCOM.001.1900411>.

Hassani, Sanae El, ja Abdelfatteh Haidine. "Roadmap towards beyond 4G: Key technologies and challenges for 5G". Teoksessa *2015 International Conference on Wireless Networks and Mobile Communications (WINCOM)*, 1–6, 2015.
<https://doi.org/10.1109/WINCOM.2015.7381324>.

Himmanen, H. "Traficom's Actions towards 6G". Viitattu 3. huhtikuuta 2022.
https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/02_Heidi%20Himmanen_Traficom_in_toimenpiteet_kohti_6Gt%C3%A4.pdf.

Huang, H., Song, Y., Yang, J., Gui, G. & Adachi, F. (2019). Deep-Learning-Based Millimeter-Wave Massive MIMO for Hybrid Precoding. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 68(3), 3027–3032. <https://doi.org/10.1109/TVT.2019.2893928>

Höyhtyä, M. "Tietoliikenneverkkojen kehittyminen avaruustoiminnassa: Kohti 6G:tä". Viitattu 3. huhtikuuta 2022. https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/05_Marko%20H%C3%B6yhty%C3%A4_6G_Sat_Marko.pdf.

IATE "6G" 02.02.2022, Euroopan unioni <https://iate.europa.eu/entry/result/3588217/all>

ITU "World Radiocommunication Seminar Geneva", 6 joulukuuta 2010
https://www.itu.int/net/pressoffice/press_releases/2010/48.aspx

ITU-R: Standard M.2370-0 "IMT Traffic Estimates for the Years 2020 to 2030" , (2015)

ITU-T FG-NET-2030, A Blueprint of Technology, Applications and Market Drivers Towards the Year 2030 and Beyond(2019)

Jiang, Wei, Bin Han, Mohammad Asif Habibi, ja Hans Dieter Schotten. "The Road Towards 6G: A Comprehensive Survey". *IEEE Open Journal of the Communications Society* 2 (2021): 334–66. <https://doi.org/10.1109/OJCOMS.2021.3057679>.

Jornet, J. M. & Akyildiz, I. F. (2011). Channel Modeling and Capacity Analysis for Electromagnetic Wireless Nanonetworks in the Terahertz Band. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 10(10), 3211–3221. <https://doi.org/10.1109/TWC.2011.081011.100545>

Kahn, J. M. & Barry, J. R. (1997). Wireless infrared communications. *Proceedings of the IEEE*, 85(2), 265–298. <https://doi.org/10.1109/5.554222>

Kilkki, K. "Informaatioteknologian perusteet: Luku 5 Mobiiliverkot ja langaton tiedonsiirto"(2019)

Kavanagh, S & Mundy, J. What is the Tactile Internet, <https://5g.co.uk/guides/what-is-the-tactile-internet/> 2021

Kotobi, K. & Bilen, S. G. (2018). Secure Blockchains for Dynamic Spectrum Access: A Decentralized Database in Moving Cognitive Radio Networks Enhances Security and User Access. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 13(1), 32–39. <https://doi.org/10.1109/MVT.2017.2740458>

Letaief, Khaled B., Wei Chen, Yuanming Shi, Jun Zhang, ja Ying-Jun Angela Zhang. "The Roadmap to 6G: AI Empowered Wireless Networks". *IEEE Communications Magazine* 57, nro 8 (elokuuta 2019): 84–90. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2019.1900271>.

Marcus, M. & Pattan, B. (2005). Millimeter wave propagation: spectrum management implications. *IEEE Microwave Magazine*, 6(2), 54–62. <https://doi.org/10.1109/MMW.2005.1491267>

Markkinaoikeus: MAO:406/13 "sopimaton menettely elinkeinotoiminnassa - vertaileva markkinointi"(2013)

NGMN, 6G Drivers and Vision V1.0 (2021)

Pathak, P. H., Feng, X., Hu, P. & Mohapatra, P. (2015). Visible Light Communication, Networking, and Sensing: A Survey, Potential and Challenges. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, 17(4), 2047–2077. <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2476474>

- Pin Tan, Danny Kai, Jia He, Yanchun Li, Alireza Bayesteh, Yan Chen, Peiying Zhu, ja Wen Tong. "Integrated Sensing and Communication in 6G: Motivations, Use Cases, Requirements, Challenges and Future Directions". Teoksessa *2021 1st IEEE International Online Symposium on Joint Communications Sensing (JC S)*, 1–6, 2021. <https://doi.org/10.1109/JCS52304.2021.9376324>.
- Saad, W., Bennis, M & Chen, M. "A Vision of 6G Wireless Systems: Applications, Trends, Technologies, and Open Research Problems". *IEEE Network* 34, nro 3 (toukokuuta 2020): 134–42. <https://doi.org/10.1109/MNET.001.1900287>.
- Sanastokeskus 2001, <https://termipankki.fi/tepa/fi/> Viitattu 29.5.2022
- Sevincer, A., Bhattarai, A., Bilgi, M., Yuksel, M. & Pala, N. (2013). LIGHTNETs: Smart LIGHTing and Mobile Optical Wireless NETWORKs – A Survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 15(4), 1620–1641. <https://doi.org/10.1109/SURV.2013.032713.00150>
- Statista " Mobile internet usage worldwide - statistics & facts", helmikuu 2022
- Tapio, V., Hemadeh, I., Mourad, A., Shojaeifard, A. & Juntti, M. (2021). Survey on reconfigurable intelligent surfaces below 10 GHz. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2021(1), 175. <https://doi.org/10.1186/s13638-021-02048-5>
- Tariq, Faisal, Muhammad R. A. Khandaker, Kai-Kit Wong, Muhammad A. Imran, Mehdi Bennis, ja Merouane Debbah. "A Speculative Study on 6G". *IEEE Wireless Communications* 27, nro 4 (elokuuta 2020): 118–25. <https://doi.org/10.1109/MWC.001.1900488>.
- Traficom "Suomi vahvasti mukana Euroopan 6G-taajuustyössä". Viitattu 3. huhtikuuta 2022. <https://www.traficom.fi/fi/ajankohtaista/suomi-vahvasti-mukana-euroopan-6g-taajuustyossa>.
- Wikström, Gustav, Janne Peisa, Patrik Rugeland, Nicklas Johansson, Stefan Parkvall, Maksym Girnyk, Gunnar Mildh, ja Icaro Leonardo Da Silva. "Challenges and Technologies for 6G". Teoksessa *2020 2nd 6G Wireless Summit (6G SUMMIT)*, 1–5, 2020. <https://doi.org/10.1109/6GSUMMIT49458.2020.9083880>.
- Wu, Q., Zhang, S., Zheng, B., You, C. & Zhang, R. (2021). Intelligent Reflecting Surface-Aided Wireless Communications: A Tutorial. *IEEE Transactions on Communications*, 69(5), 3313–3351. <https://doi.org/10.1109/TCOMM.2021.3051897>

- Xu, X., Pan, Y., Lwin, P. P. M. Y. & Liang, X. (2011). 3D holographic display and its data transmission requirement. 2011 International Conference on Information Photonics and Optical Communications, 1-4. <https://doi.org/10.1109/IPOC.2011.6122872>
- You, Xiaohu, Cheng-Xiang Wang, Jie Huang, Xiqi Gao, Zaichen Zhang, Mao Wang, Yongming Huang, ym. "Towards 6G Wireless Communication Networks: Vision, Enabling Technologies, and New Paradigm Shifts". *Science China Information Sciences* 64, nro 1 (24. marraskuuta 2020): 110301. <https://doi.org/10.1007/s11432-020-2955-6>.
- Zhang, Zhengquan, Yue Xiao, Zheng Ma, Ming Xiao, Zhiguo Ding, Xianfu Lei, George K. Karagiannidis, ja Pingzhi Fan. "6G Wireless Networks: Vision, Requirements, Architecture, and Key Technologies". *IEEE Vehicular Technology Magazine* 14, nro 3 (syyskuuta 2019): 28-41. <https://doi.org/10.1109/MVT.2019.2921208>.
- 6G Flagship, "Key drivers and research challenges for 6G ubiquitous wireless intelligence" (2019)
- 6G Flagship, Marcos Katz [6G Optical Communication - Visible Light Communication Demo](3.9.2021). *6G Optical Communication - Visible Light Communication Demo[video]*. Youtube <https://www.youtube.com/watch?v=aJLUwekle9k>