



# 5G-verkot

## Ominaisuudet, tekniikat ja arkkitehtuuri

Irina Marakueva

OPINNÄYTETYÖ  
Huhtikuu 2020

Tieto- ja viestintäteknikan tutkinto-ohjelma  
Sulautetut järjestelmät ja elektroniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tieto- ja viestintätekniikan tutkinto-ohjelma  
Sulautetut järjestelmät ja elektroniikka

MARAKUEVA, IRINA:  
5G-verkot  
Ominaisuudet, tekniikat ja arkkitehtuuri

Opinnäytetyö 36 sivua  
Huhtikuu 2020

---

Parhaillaan rakennettava 5G-verkko vähentää edellisten sukupolvien teknologioiden rajoituksia. 5G:n avainominaisuuksia ovat kehittynyt mobiililaajakaista, erittäin alhaisen viiveen luotettava tiedonsiirto ja massiivinen koneiden välinen viestintä. Yleisesti ottaen voidaan sanoa, että 5G-verkko sisältää mobiilit palvelut ja kiinteät viestintäpalvelut sekä nopean Internet-yhteyden, jolla on pieni viive, ja lisäksi erikoistuneet verkot ja yritysverkot taloutta ja teollisuutta varten.

5G-alustan palvelut ovat synergistisiä ja skaalautuvia, eivätkä rajoitu vain kerran määritettyihin toimintoihin. 5G toimii uusien palvelujen ja DevOps-sovellusten kehittämisalustana, kun kehittäjät luovat uusia toimintoja yhteistyössä niiden toteuttamisesta ja käytöstä vastaavien ryhmien kanssa.

Ekosysteemi, joka perustuu 5G-tekniikkaan, edellyttää useiden taajuusalueiden käyttöä: sekä noin 6 GHz:n taajuusalueen, että yli 20 GHz:n alueita. Tärkeätä on ilmaisten taajuuksien saatavuus alueella 4,6 – 7,1 GHz. Koska korkeiden taajuuksien alueet eivät ole olleet käytössä nykyisillä mobiiliverkoilla, niiden kehittämiseen liittyy laadullisesti uusien verkko- ja arkkitehtuuriratkaisujen kehittäminen.

Skaalautuva OFDM-modulaatio tukee verkoissa käytettäviä alikantoaaltojen välisiä muuttuvia etäisyyksiä. Verrattuna LTE-numerologiaan (alikantoaaltoväli ja symbolipituus), merkittävin ero, joka voidaan huomata, on, että NR-tekniikka tukee useita erityyppisiä alikantoaaltovälejä. Polaarikoodaustekniikka lisää vähintään kolminkertaisesti verkon taajuusspektrin tehokkuutta verrattuna nykyisiin RAN-standardeihin. Tämän avulla pystytään data dekodamaan yksinkertaisesti, mikä vähentää 5G-verkkojen käyttöönoton kustannukset minimiin. Polaarikoodaus tekee myös mahdolliseksi käyttää tiedonsiirtonopeutta, joka on lähellä Shannonin raja-arvoa.

Eri käyttötapauksilla on eri tarpeet 5G-verkoissa, kuten suuri datamäärä tai millimetriaalloilla suuri siirtonopeus. Operaattoreiden on muutettava langattomia verkkojaan nopeasti myös kapasiteetin skaalauksen lisäämiseksi ja hallinnan yksinkertaistamiseksi.

Asiasanat: 5G-verkko

---

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in ICT Engineering  
Embedded Systems and Electronics

MARAKUEVA, IRINA:  
5G Networks  
Features, Technologies, and Architecture

Bachelor's thesis 36 pages  
April 2020

---

5G network is currently under development to reduce the limitations of technology of previous generations once it is deployed. The key features of 5G include advanced mobile broadband, ultra-low latency, reliable data transfer, and massive machine-to-machine communication. In general, a 5G network includes mobile and fixed communication services as well as low latency high-speed Internet access for both specialized and corporate networks for economy and industry.

5G platform services are synergistic and scalable and are not limited to the once-defined functions. 5G serves as a platform for developing new services and DevOps applications as developers create new functionality in collaboration with the teams responsible for their implementation and use.

An ecosystem based on 5G technology requires the use of several frequency bands: both around 6 GHz and above 20 GHz. What is important is the availability of free frequencies in the range of 4.6 to 7.1 GHz. As high-frequency areas have not previously been used on existing mobile networks, their advancement involves developing a qualitatively new network and architectural solutions.

Scalable OFDM modulation supports variable distances between the subcarriers used in networks. Compared to LTE numerology (subcarrier interval and symbol length), the most significant difference that can be observed is that NR technology supports several different types of subcarrier intervals. Polar coding technology increases the efficiency of the network frequency spectrum by at least three times compared to the current RAN standards, allowing data to be decoded simply, which minimizes the cost of deploying 5G networks. Polar coding also makes it possible to use the data rate close to the Shannon limit.

Different use cases have different needs in 5G networks such as large amounts of data or high transmission speeds with millimeter waves. In addition to that, operators need to quickly change their wireless networks to increase capacity scaling as well as simplify management.

---

Key words: 5G network

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	8
2	5G-VERKON TARVE .....	9
3	5G-TEKNIIKAN STANDARDISOINTI .....	11
	3.1 Varsinaiset standardointijärjestöt .....	11
	3.2 Suomen yritysten rooli 5G-standardisoinnissa .....	12
4	5G-VERKKOJEN TARKOITUS .....	13
5	5G-TAAJUUDET .....	14
6	5G NEW RADIO (5G NR) .....	16
	6.1 Skaalautuva OFDM-numerologia .....	16
	6.2 Joustava aikavälipohjainen kehys .....	17
	6.3 Edistynyt kanavakoodaus .....	18
	6.4 Massive MIMO (Multy Input Multy Output) .....	19
	6.5 Millimetriaallot .....	21
	6.5.1 Pienet solut .....	21
7	5G-VERKON ARKKITEHTUURI .....	23
	7.1 Pilvi-infrastruktuuri (Cloud RAN) .....	23
	7.2 Verkkotoimintojen virtualisointi (NFV) .....	25
	7.3 Ohjelmistopohjainen verkko (SDN) .....	26
	7.4 Verkon viipalointi .....	27
	7.5 Yhteenveto .....	29
8	5G:N KÄYTÄNNÖN ETUJA .....	31
9	6G-TEKNIikka .....	33
10	POHDINTA .....	34
	LÄHTEET .....	35

## LYHENTEET JA TERMIT

1G	Ensimmäisen sukupolven verkko
2G	Toisen sukupolven verkko
3G	Kolmannen sukupolven verkko
3GPP	The 3rd Generation Partnership Project
4G	Neljännän sukupolven verkko
5G	Viidennen sukupolven verkko
5G NR	5G New Radio
API	Application Programming Interface
ARIB	Association of Radio Industries and Businesses
ATIS	The Alliance for Telecommunications Industry Solutions
BBU-pool	Base-Band Unit pool
Beamforming	Säteilykeilan muotoilu
CCSA	China Communications Standards Association
C-RAN	Cloud Radio Access Network
DAS	Distributed Antenna System
Data plane	Datakerros
DevOps	Development & Operations
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
eMBB	enhanced Mobile Broadband,
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FEC	Forward Error Correction
FR	Frequency Rate
Fronthaul	Kuljetuskerros
GPRS	General Packet Radio Service
Hypervisor	Virtual machine monitor
IIoT	Industrial Internet of Things
LDPC-code	Low-Density Parity-Check code
LTE	Long-Term Evolution
Massive IoT	Massive Internet of Things
Massive MIMO	Massive Multi Input Multi Output
MBB	Mobile Broadband
mMTC	massive Machine Type Communication

mmWave	millimetriaalto
Control plane	Reitityskerroksen osa verkon arkkitehtuurissa
Network slicing	Verkon viipalointi
NFV	Network Function Virtualisation
NMT	Nordic Mobile Telephone, ensimmäinen täysautomaattinen mobiiliverkon standardi
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
RAN	Radio Access Network
RRH	Remote Radio Head or Remote Radio Unit (RRU)
SDN	Software Defined Network
Small cells	Pienet solukot
TCO	Total Cost of Ownership
TSDSI	Telecommunications Standards Development Society
TTA	Telecommunications Technology Association
TTC	Telecommunication Technology Committee
ULLRC	Ultra Low Latency Reliable Communication
VoLTE	Voice over LTE

## 1 JOHDANTO

5G on seuraavan sukupolven langaton verkkoteknologia. Aiempien sukupolvien langattomia verkkoja ovat 1G, 2G, 3G ja 4G / LTE. Tähän asti langattomia 1G – 4G-verkkoja on käytetty mobiililaitteilla datansiirtoon kodin ulkopuolella pääasiassa vain, kun Wi-Fi-yhteys ei ole ollut saatavilla.

Langaton viestintäverkko on yksi nykymailman suurimmista teknologisista alustoista, joka on kehittynyt 11 miljoonan tilaajan vuonna 1990 käyttämistä analogisista pisteestä toiseen -viestintäpalveluista integroituun tekniseen ekosysteemiin, joka palvelee yli 7,7 miljardia yhteyttä, mukaan lukien yksityiskuluttajia, liiketoimintasegmentin asiakkaita ja IoT-laitteita.

Uusien sukupolvien tekniikan kehityksen myötä odotetaan, että 5G-standardi lisää merkittävästi nopeutta, vähentää viivettä ja puskurointia sekä lisää vakautta. Aiempiin verkkoteknologioiden sukupolviin verraten 5G-standardi ei kuitenkaan tarjoa vain mobiiliverkon mahdollisuuksia, vaan se voi korvata nykyiset Internet-palvelut.

Tämän työn tarkoituksena on esitellä lukijalle 5G-verkon ominaisuuksia, tekniikoita ja arkkitehtuurin pääkomponentteja mahdollisimman yksinkertaisesti antaakseen yleiskuvauksen 5G-alustasta ja lisätäkseen ymmärtämystä, miten se poikkeaa nykyisestä LTE-viestintäjärjestelmästä. Tämän tavoitteen saavuttamiseksi on tarpeen ratkaista eri tehtäviä:

- 5G-verkoissa käytettyjen taajuuksien tarkastelu
- LTE:stä poikkeavien 5G:n erikoistekniikoiden käsittely
- 5G-alustan virtuaalisoidun arkkitehtuurin kuvaus

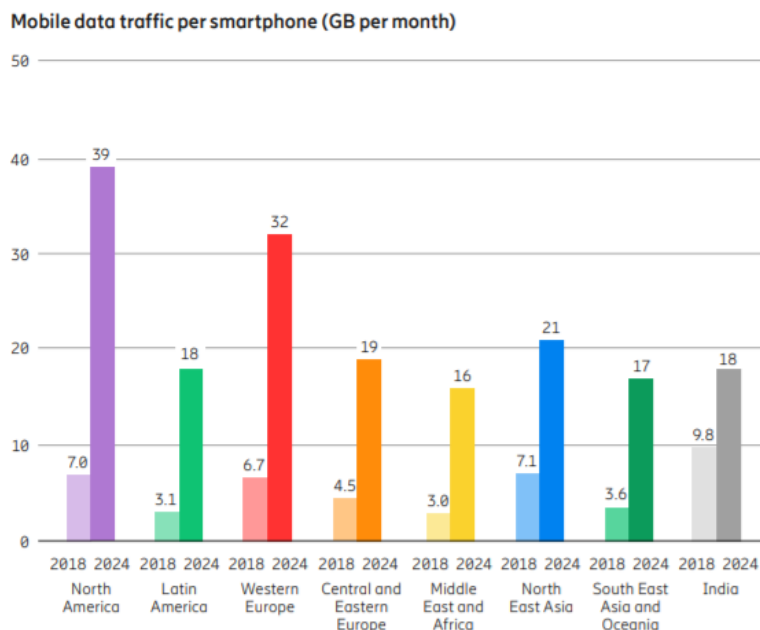
Lisäksi työssä esitellään uuden sukupolven verkon tuomia käytännöllisiä etuja, arvioidaan tarvetta ja tarkastellaan standardisoinnin aikataulua.



## 2 5G-VERKON TARVE

Viidennen sukupolven (5G) viestintäverkkojen lupailtaan tulevan Big Data -analyysin ja esineiden Internetin (IoT) kanssa digitaalitalouden perustaksi, jonka ytimenä tulisi olemaan tekoäly (AI). Kuluneiden 40 vuoden aikana on käytössä ollut neljä mobiiliverkkojen sukupolvea. Jos ensimmäisen sukupolven 1G-solukoverkot ovat kauan sitten kadonneet, 2G-, 3G- ja 4G-verkot ovat edelleen toiminnassa ja käytössä. Lisäksi tietty määrä vanhoja 3G- ja 4G-verkkoinfrastruktuureja liittyy luonnollisesti viidennen sukupolven 5G-matkapuhelinverkkoihin (5G viidennen sukupolven matkaviestintäverkot 2019).

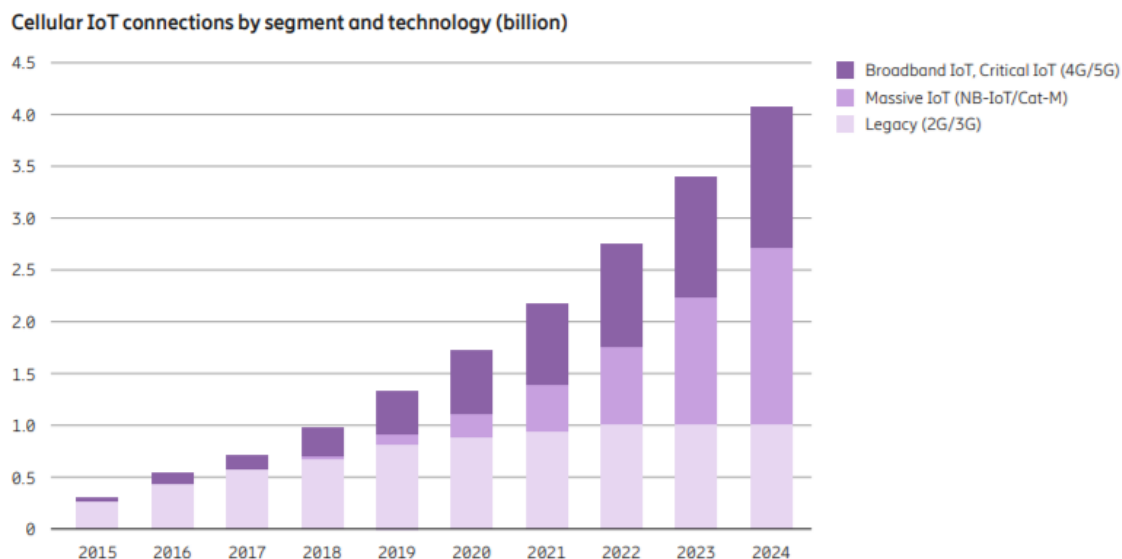
Teleyritysten tulot datansiirrosta mobiiliverkoissa ovat alentuneet vuodesta 2019 alkaen, vaikka siirretyn datan määrä kasvaa (kuva 1). Tähän vaikuttaa mobiilipuhelujen siirto messenger-sovellusten puolelle ja suuresti lisääntynyt kommunikointi tekstiviesteillä. Operaattorit selviävät mobiilin Internet-liikenteen kasvusta, mutta palvelun laadun ylläpitämiseksi operaattoreiden on investoitava paljon näihin verkkoihin (Mobiili talous Venäjä ja lähialueet 2018).



Kuva 1. Mobiilidatan siirto per älypuhelin alueittain (Jejdling 2019)

Samaan aikaan vaikka älypuhelimien lukumäärän lisääntymistä ei enää odoteta, Ericssonin asiantuntijoiden ennusteen mukaan esineiden Internetin (IoT)

laitesegmentissä on odotettavissa suuri kasvu (kuva 2). LTE-verkot eivät kykene ylläpitämään tarvittavaa määrää IoT-yhteyksiä, siksi 5G-verkkoja voidaan pitää yhtenä digitaalimuutoksen ja digitaalitalouden välttämättömistä komponenteista.

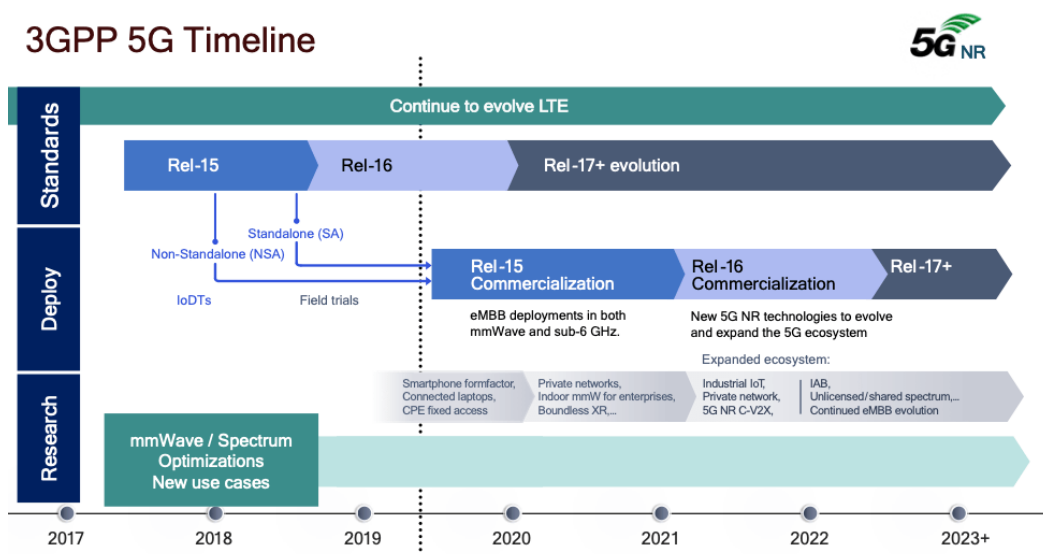


Kuva 2. IoT-laitteiden määrän kasvu (Jejdling 2019)

*”Näemme, että Yhdysvallat ja Kiina tulevat nopeasti 5G:n edelläkävijäksi markkinoilla. Myös Sveitsi pyrkii eteenpäin, Australia, Japani ja Korea ovat jo tekemässä varhaisia 5G-hankkeita. Uskon, että näiden maiden hallitukset ymmärtävät, että 5G on todella tärkeä kansallinen infrastruktuuri.”, sanoi Ericssonin toimitusjohtaja Borje Ekholm (What is 5G? And How It Works! 2019.)*

### 3 5G-TEKNIIKAN STANDARDISOINTI

Vuonna 2018 kansainvälinen 5G-standardi (Release 15) oli hyväksytty 3GPP-täysistunnossa. Kolmen vuoden ajan sadat insinöörit ja maailman johtavien IT-yritysten edustajat ovat kehittäneet uutta standardia. 5G-verkkojen, joita nykyinen 4G-infrastruktuuri tukee, standardit hyväksyttiin joulukuussa 2017 (ETSI Annual report 2018 2019).



Kuva 3. 5G-standardien kehityskartta (Yost 2019)

Siitä asti standardointityö on jatkunut ja edistynyt. Uusi spesifikaatio- ja vaatimuspaketti suunnitellaan hyväksyttävän vuonna 2020, ja sen jälkeen aiotaan panostaa enemmän 5G-tekniikan kehitykseen.

#### 3.1 Varsinaiset standardointijärjestöt

The 3rd Generation Partnership Project (3GPP) yhdistää seitsemän televiestintästandardin kehitysorganisaatiota (ARIB, ATIS, CCSA, ETSI, TSDSI, TTA, TTC), jotka tunnetaan nimellä "Organizational Partners". 3GPP:n tavoitteena on muotoilla teknisiä vaatimuksia, arvioida ehdotuksia ja viimeistellä standardeja. Yhteisen arkkitehtuurin kehittämisen lisäksi 3GPP on kehittänyt myös 5G New Radio (5G NR) -tekniikan standardeja. (5G viidennen sukupolven matkaviestintäverkot 2019.)

### 3.2 Suomen yritysten rooli 5G-standardisoinnissa

Nokian mukaan sen 2000:s 5G-patenttiperhe kattaa patentin US9,338,785B2 USA:ssa ja EP2848055B1 Euroopassa. Niissä kuvataan, miten älypuhelimille, teollisuuslaitteille ja muille laitteille annetaan verkkoresursseja siten, että päätelaitteessa havaittava tiedonsiirron latenssi lyhenee, linkin luotettavuus paranee ja siirtonopeus kasvaa.

Patenttien takana ovat Bell Labsin tutkijat Tanskan Aalborgissa (Nokiolla yli 2000 keskeistä 5G-patenttiperhettä 2019; Nokia announces over 2,000 5G patent declarations 2019).

Uusimpien patenttien myötä Nokiolla on ns. essentiaalipatenttien perheitä 2G-, 3G-, 4G- ja 5G-tekniikassa yli 2700. Näitä patenteja lisensoi ja hallinnoi Nokia Technologies ja lisensoijia on yli 150. Joukkoon kuuluvat esimerkiksi kaikki suuret älypuhelinvalmistajat. (Nokiolla yli 2000 keskeistä 5G-patenttiperhettä 2019; Nokia announces over 2,000 5G patent declarations 2019.)

## 4 5G-VERKKOJEN TARKOITUS

Jokaisella matkaviestintäverkkosukupolvella on ollut oma tarkoituksensa ja mahdollisuusvalikoimansa. NMT-verkko, jota pidetään 1G-verkkona, tarjosi analogisen äänen siirtopalvelun. 2G-vaiheessa verkkoa digitalisoitiin ja hitaat datapalvelut ilmestyivät (GPRS, EDGE). 3G toi mukanaan nopean IP-puhesiirron ja mobiililaajakaistan (MBB). LTE-aikakautena yhteisön käytössä on laajakaistan lisäksi nopea ja korkealaatuinen äänen siirto (VoLTE). 5G vähentää edellisten sukupolvien teknologioiden rajoituksia. Sen avainominaisuuksina ovat kehittynyt mobiililaajakaista eMBB (enhanced MBB), erittäin alhaisen viiveen luotettava tiedonsiirto ULLRC (Ultra Low Latency Reliable Communication) ja massiivinen koneiden välinen viestintä (Massive IoT / IIoT, mMTC, massive Machine Type Communication). Yleisesti ottaen voidaan sanoa, että 5G-verkko sisältää mobiili- ja kiinteät viestintäpalvelut sekä nopean Internet-yhteyden, jolla on pieni viive, ja lisäksi erikoistuneet ja yritysverkot taloutta ja teollisuutta varten. (5G viidennen sukupolven matkaviestintäverkot 2019.)

Niin muodoin näiden kolmen yleistetyn toiminnallisuuden ympärille kehitetään viidennen sukupolven verkkoteknologia, joka avaa laajoja mahdollisuuksia kuten

- älykkäät ekosysteemit (älykoti ja älykaupunki)
- pilvipalvelut (ei pelkästään talletus, vaan työskentely pilvessä)
- lisätty todellisuus ja virtuaalitodellisuus
- teollisuuden robotisaatio ja automatisaatio
- kriittiset sovellukset (hätäviestintä, robotisoitu kirurgia, potilaiden jatkuva seuranta ja niin edelleen).

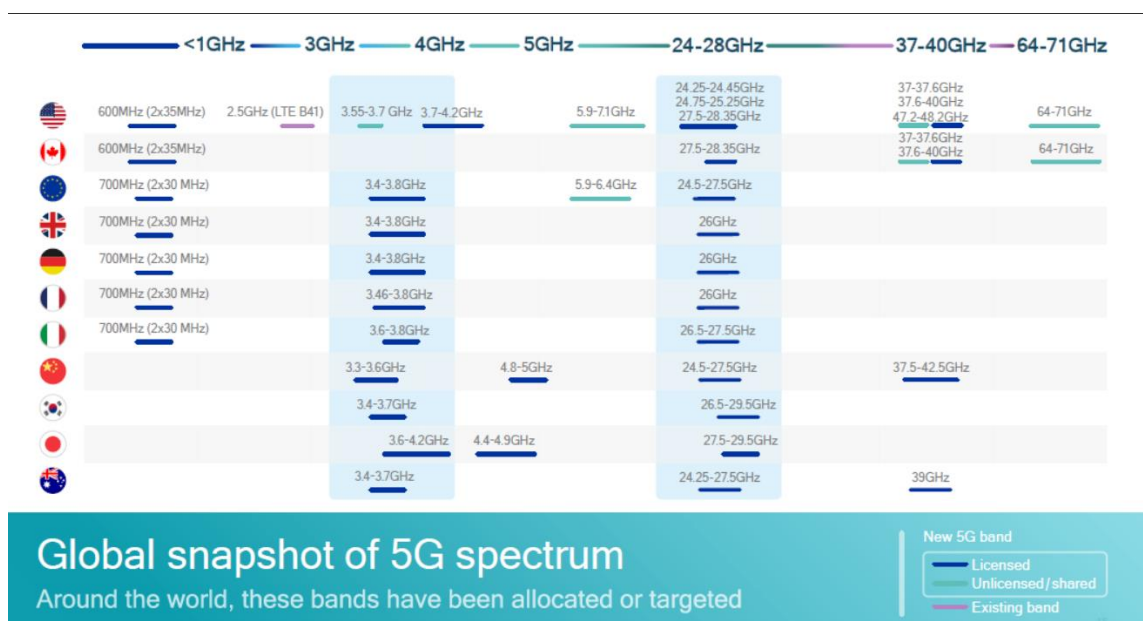
Yllä oleva lista kuvaa vain osan 5G-alustan palveluista ja ratkaisuista. 5G-alustan palvelut ovat synergistisiä ja skaalautuvia, eivätkä rajoitu vain kerran määritettyihin toimintoihin. Itse asiassa 5G toimii uusien palvelujen ja DevOps-sovellusten kehittämisalustana, kun kehittäjät luovat uusia toimintoja yhteistyössä niiden toteuttamisesta ja käytöstä vastaavien ryhmien kanssa. (5G viidennen sukupolven matkaviestintäverkot 2019.)

## 5 5G-TAAJUUKSET

Yksi ensisijaisista ehdoista viidennen sukupolven solukoverkon (5G) kehittämiseksi on vapaiden taajuusresurssin saatavuus. Tällä hetkellä havaitut suuntaukset, kuten käytetyn mobiilidatan lumivyörytyinen lisääntyminen ja IoT-alan kehitys, asettavat operaattorien verkoille vakavia vaatimuksia nopeaan tiedonsiirtoon, pieneen viiveeseen ja kykyyn palvella suuri määrä laitteita. (Taajuudet 5G:lle 2020.)

5G-tekniikkaan perustuva ekosysteemi edellyttää eri taajuusalueiden käyttöä: sekä matalien (lähellä 6 GHz) että korkeiden taajuuksien (yli 20 GHz) alueita. Erityisen tärkeitä on ilmaisten taajuuksien saatavuus alueella 4,6 – 7,1 GHz. Koska korkeiden taajuuksien alueet eivät ole olleet käytössä nykyisillä mobiiliverkoilla, niiden kehittämiseen liittyy laadullisesti uusien verkko- ja arkkitehtuuriratkaisujen kehittäminen. 5G-tekniikka ei pysty nopeasti korvaamaan 3G:tä eikä 4G:tä. (Taajuudet 5G:lle 2020.)

Kuva 4 havainnollistaa 5G-taajuuskaistojen suunnitellun jakauman maailman eri maissa ja alueilla WRC-19-raportin (World Radiocommunication Conference 2019) mukaan.



Kuva 4. Taajuuskaistojen jakauma eri valtioilla ja alueilla (Smee 2019)

Liikenne- ja viestintäviraston sivuston mukaan Suomessa on jaettu luvat 2 GHz:n (1920 - 1980 MHz/2110 - 2170 MHz) ja 2,6 GHz:n (2500 - 2690 MHz) taajuuskaistojen käyttöön 5G NR-tekniikan tarkoituksiin (Matkaviestinverkkojen taajuudet ja luvanhaltijat 2020).

## 6 5G NEW RADIO (5G NR)

Mobiiliverkon käyttäjien kasvavien vaatimusten tyydyttämiseksi 5G:tä varten kehitetylle uudelle radorajapinnalle on annettu nimi 5G New Radio (5G NR). Tässä työn osassa tarkastellaan 5G New Radio -tekniikkaa: sen ominaisuuksia ja uutuuksia, joita ne tuovat.

Kuluttajat vaativat nykyään rikkaampia mobiilikokemuksia ja operaattorit etsivät tapoja tarjota entistä tehokkaampia palveluita. 3GPP Release 15 –määrittelyn hyväksymisestä alkaen 5G NR (New Radio) on suunniteltu tuottamaan enemmän verkkokapasiteettia, tuomaan uudelle tasolle mobiililaajakaistan siirtonopeus ja tehokkuus, toimimaan pienemmällä viiveellä ja luotettavammin ja joustavammin. Kaikki nämä parannukset saadaan aikaan yhdistämällä keskeisiä 5G-tekniikoita, ja alla on kurkistus muutamalle 5G NR -avainkeksinnölle:

- Skaalautuva OFDM-numerologia
- Joustava aikavälipohjainen kehys
- Edistynyt kanavakoodaus
- Massiivinen MIMO
- Millimetriaalto

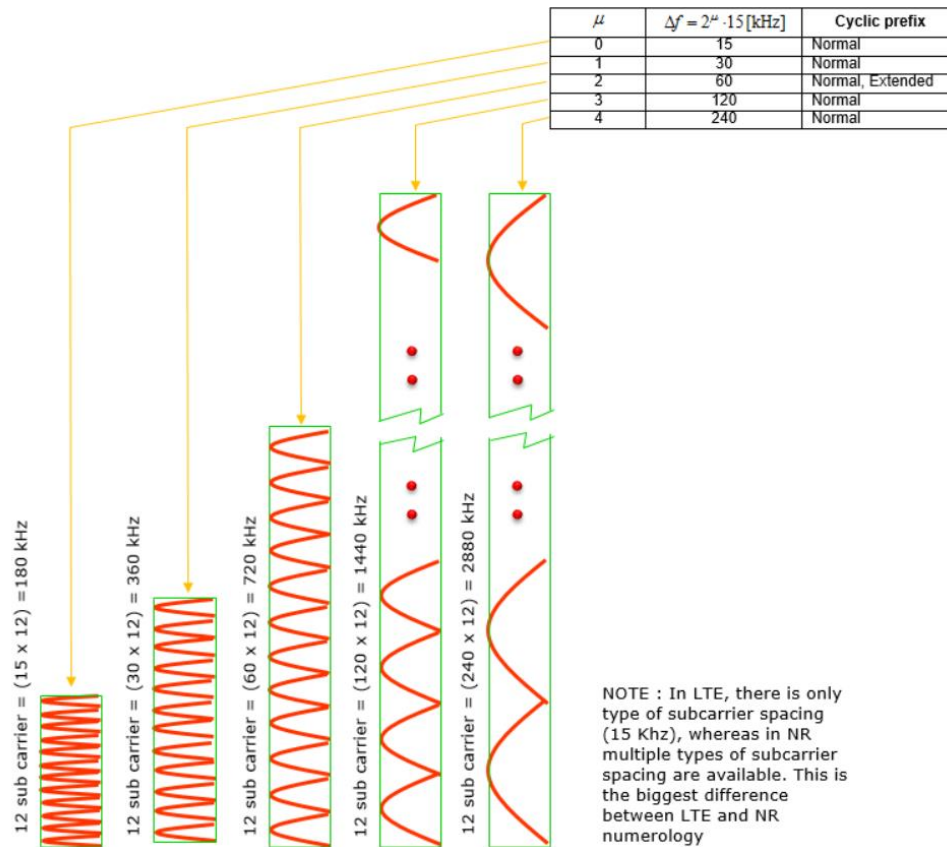
(Smee 2017.)

Tarkastellaan mainittuja 5G NR-tekniikan osa-alueita erikseen.

### 6.1 Skaalautuva OFDM-numerologia

Skaalautuva OFDM-modulaatio (Ortogonaalinen taajuusjakoinen multipleksointi) tukee verkoissa käytettäviä alikantoaaltojen välisiä muuttuvia etäisyyksiä kantoaallon taajuudesta. Verrattuna LTE-numerologiaan (alिकantoaaltoväli ja symbolipituus), merkittävin ero, joka voidaan huomata, on, että NR-tekniikka tukee useita erityyppisiä alikantoaaltovälejä (LTE:ssä on vain yksi alikantoaaltoväli, 15 kHz). NR-numerologian tyypit on esitelty kuvassa 5. Taulukossa on yhteenveto alikantoaaltoväleistä, ja ne on muutettu kuvaksi antamaan käsitys numerologioista (5G EMF Considerations 2018).





Kuva 5. 5G NR -tekniikan OFDM-modulaation numerologia (5G EMF Considerations 2018)

Uusi ilmarajapintamuotoilu tukee sekä skaalautuvaa numerologiaa että lähetyisaikavälejä, jotka voidaan dynaamisesti mukauttaa laajaan valikoimaan palvelu-, käyttöönotto- ja taajuusvaatimuksia (Smee 10.2017).

## 6.2 Joustava aikavälipohjainen kehys

5G NR -suunnittelun avainkomponentti on joustava aikavälipohjainen kehys (engl. Flexible slot-based framework), jonka avulla mobiilioperaattorit voivat multiplexoida tehokkaasti suunnitellut (ja myös täysin uudet) 5G-palvelut samalla taajuudella. Tämän joustavan kehyyksen keskeinen teknologinen keksintö on autonominen 5G NR -kehysrakenne. (Smee 12.2017.)

5G NR:ssä tiedonsiirto ylävirran (Uplink - UL) ja alavirran (Downlink - DL) suuntiin järjestetään kehyyksien perusteella, joiden kesto on 10 ms. Jokainen kehys (frame) on jaettu 10 alakehykseen, joiden kesto on 1 ms. Myös jokainen alikehys (sub-frame) on jaettu kahteen puolikehykseen (half-frame 0 ja half-frame 1);

kukin alikehys on jaettu aikaväleihin (slot). Aikavälien lukumäärä määräytyy alikantoaaltopektrin (tai numerologian) leveyden perusteella ja on 1, 2, 4, 8 tai 16 aikaväliä. LTE-verkoissa käytetään rakennetta, jossa on kaksi aikaväliä jokaiselle alikehykselle. (Smee 12.2017; 5G-radioverkko, osa 2 n.d.)

Jokainen 5G NR -lähetys on modulaarinen tapahtuma. Se tarkoittaa, että jokaisen lähetyksen yhteydessä tapahtuvan dekodauksen ajoitussuhteet ja aikavälit säädetään erikseen. Uusi joustava kehyksen muotoilu mahdollistaa uusien 5G NR -ominaisuuksien ja palvelujen lisäämisen tulevaisuudessa. Tulevat, joustavan kehyksen perusteella muotoillut mobiiliverkkojen tekniikat ovat eteenpäin yhteensopivammat kuin aikaisemmissa sukupolvissa.

5G NR:n erityinen kehysrakenne tarjoaa myös huomattavasti alhaisemman latenssin (viiveen) kuin LTE:ssä, nopean UpLink / DownLink -kääntymisen ja skaalautuvan kehyksen keston. Tämä joustava kehys mahdollistaa myös UL / DL -ajoituksen, datansiirron ja kuittauksen tapahtua samassa aikavälissä (Smee 2017).

### **6.3 Edistynyt kanavakoodaus**

Matkaviestinnässä kanavakoodausta tai lähtövirheenkorjausta (engl. forward error correction, FEC) käytetään kohinan, häiriöiden ja heikon signaalinvoimakkuuden aiheuttamien virheiden korjaamiseksi. Kanavakoodaus mobiiliverkoissa vaikuttaa kapasiteettiin, tiedonsiirtonopeuteen, kuuluvuuteen ja palvelun laatuun. Dekoodaus on tosiasiallisesti koodatun sanan etsintää kanavasta vastaanotetusta vektorista käyttäen tiettyjä dekodausalgoritmeja. LTE:ssä käytetään turbokoodausta ohjaus- ja datakanaville, 5G käyttää kehittyntä polaari- ja LDPC-koodausta (Low-density parity-check code).

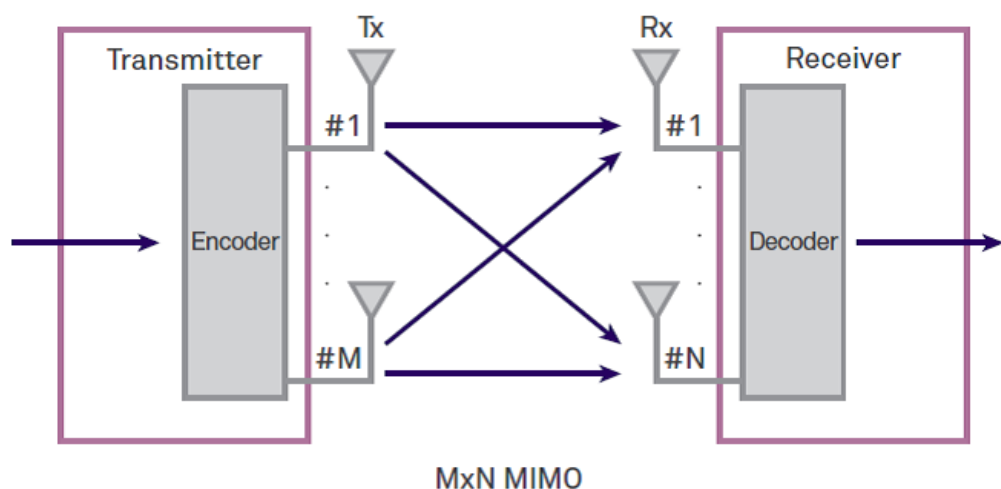
Polaarikoodaustekniikka lisää vähintään kolminkertaisesti verkon taajuusspektrin tehokkuutta verrattuna nykyisiin RAN-standardeihin. Tämän ratkaisun avulla pystytään data dekoodaamaan mahdollisimman yksinkertaisesti, mikä vähentää 5G-verkkojen käyttöönoton kustannukset minimiin. Polaarikoodaus tekee myös mahdolliseksi käyttää tiedonsiirtonopeutta, joka on lähellä Shannonin raja-arvoa. Kun dekodataan käyttämällä yksinkertaista polarisoitua kanavaa

kohinanvaimennuksen kanssa, se tarjoaa samanlaisen tuloksen, joka saavutetaan dekoodaamalla suurimman todennäköisyyden menetelmää käyttäen, mutta polaarikoodien käyttö on paljon yksinkertaisempaa. (Polaarikoodit – tehokas ratkaisu 5G verkoille. n.d.)

#### 6.4 Massive MIMO (Multy Input Multy Output)

MIMO (Multy Input Multy Output) on konsepti, joka identifioi yhden neljästä vaihtoehdosta langattoman kanavan luomiseksi kanavan alkupisteen (input) ja loppupisteen (output) välille. Radiokanavan tapauksessa alkupiste on radiosignaalin lähetin ja loppupiste on vastaanotin. Käytetään siis kuvan 6 mukaisesti useita lähettämiä ja useita vastaanottimia tiedonsiirtoon yhdessä radiokanavassa (Konarev n.d.)

Usein MIMO-lyhennettä käytetään yhdessä numeroiden kanssa. Ensimmäinen numero osoittaa tässä lähettimien lukumäärän ja toinen osoittaa vastaanottimien määrän. Esimerkiksi MIMO  $2 \times 2$  tarkoittaa, että lähettämiä ja vastaanottimia on kaksi. LTE-standardin vähimmäisvaatimus lähettimien ja vastaanottimien lukumäärälle on esimerkin mukainen  $2 \times 2$ . (Konarev n.d.)

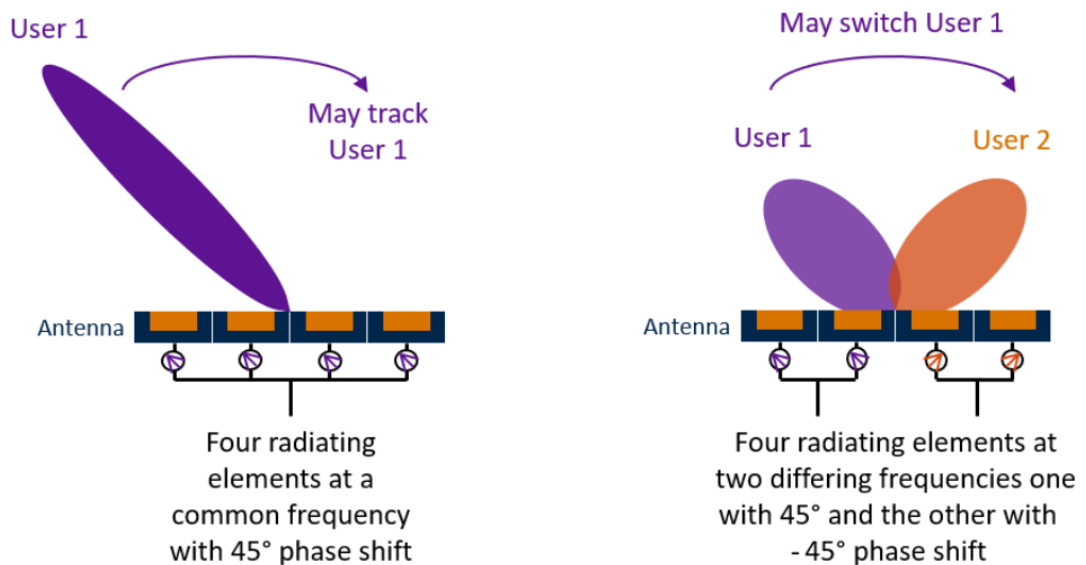


Kuva 6. MIMO-rakenteen skemaattinen kuvaus (Konarev n.d.).

Jos lähettimien (lähetysantennien) ja vastaanottimien (vastaanottoantennien) lukumäärä tällaisessa järjestelmässä on vähintään kahdeksan, järjestelmää

kutsutaan Massive MIMO:ksi. Massiivisessa MIMO-järjestelmässä, jossa on suuret antenniryhmät, säteilykeilaa voidaan säätää sekä vaaka- että pystysuunnassa (Beamforming), mikä mahdollistaa energian ja suuntatarkkuuden paremman fokuoinnin tiettyyn päätelaitteeseen. Tämä vähentää solujen välisiä häiriöitä ja tukee spatiaalista eli avaruudellista multiplexointia, kun tilaajia on paljon. (Konarev n.d.)

Säteilykeilan suuntausta säädetään muuttamalla lähetettävän signaalin vaihetta kaikissa säteilevissä elementeissä. Vaiheensiirto mahdollistaa signaalin kohdistamisen tiettyyn vastaanottimeen. Antenni voi käyttää samalla taajuudella säteileviä elementtejä yhden säteen ohjaamiseen tiettyyn suuntaan (kuva 7, vasen puoli).



Kuva 7. Beamforming (What is 5G beamforming, beam steering and beam switching with massive MIMO. n. d.)

Eri taajuiset säteet voidaan myös ohjata eri suuntiin eri käyttäjien palvelemiseksi (kuva 7, oikea puoli). Tukiasema laskee signaalin lähettämissuunnan dynaamisesti päätepisteen liikuessa seuraamalla käyttäjää tehokkaasti. Jos käyttäjää ei pystytä seuraamaan signaalin tehon heikkouden takia, siihen voidaan suunnata toinen säteilykeila. (What is 5G beamforming, beam steering and beam switching with massive MIMO. n. d.)

## 6.5 Millimetriaallot

Yleisesti 5G NR:llä on kaksi taajuusaluetta:

Taajuusalue 1 (FR1) on niin sanottu Sub-6 GHz –kaista, joka tarkoittaa alle 6 GHz:n taajuuksia (osa aiempien sukupolvien alueista siirretään 5G:n tarpeisiin). Uuden sukupolven viestinnässä käytettävä aiempaa tehokkaampi koodaustekniikka tekee mahdolliseksi LTE:hen verrattuna 30 % suuremman datamäärän siirron samalla kaistanleveydellä.

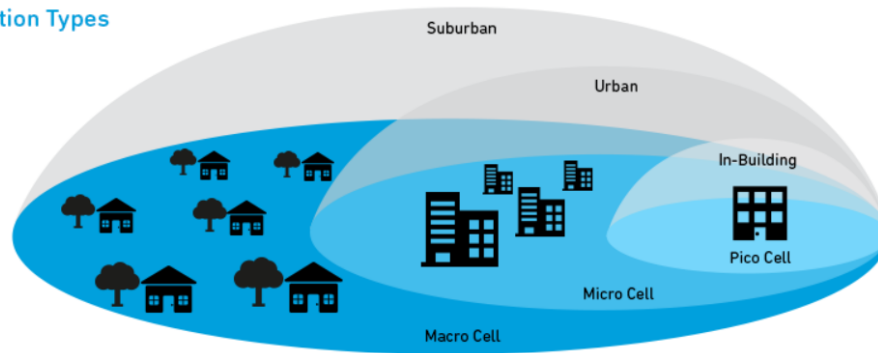
Taajuusalue 2 (FR2) - uusi millimetriaaltotaajuusalue 24 GHz ~ 50 GHz, taajuusalue riippuu valtiosta ja operaattorista. Näillä taajuuksilla on lyhyt kantomatka. Millimetriaalloilla (mmWaves) siirtonopeus voi olla useita gigabittejä sekunnissa. Tätä tekniikkaa ei toteuteta nykyisillä tukiasemilla, vaan lukuisilla pienillä soluilla (Small cells). (5G: miten tekniikka toimii ja miksi tarvitaan 2019.)

Taajuusalueella 2–5 GHz datan lähettämiseen käytettävä kaistanleveys on suhteellisen kapea ja on harvemmin kymmeniä megahertsejä. Taajuusalueella 40–70 GHz käytettävissä oleva spektri on paljon suurempi, mikä lisää kanavan kaistanleveyden satoihin ja tuhansiin megahertseihin. Siten millimetrialue on käytännössä "äärettömyyden ekvivalentti" operaattoreille (käytettävissä olevien kanavaresurssien määrän suhteen). Ongelmana on se, että dataa voidaan siirtää vain laitteille, jotka ovat suorassa näköyhteydessä, muuten signaalin laatu heikkenee voimakkaasti. (5G viidennen sukupolven matkaviestintäverkot 2019.)

### 6.5.1 Pienet solut

Verkon peittoalueen tiivistäminen johtaa siihen, että tukiasemien määrän pitäisi kasvaa. Siksi ehdotettiin Small cells -järjestelmää - pienitehoisten tukiasemien verkostoa, joka on edullinen, helppo asentaa ja ylläpitää. Tukiasemia voidaan kiinnittää katuvalaistuksen mastoihin, talon seiniin ja muihin esineisiin. 5G-verkko pystyy koordinoimaan työnsä tehokkaasti jakamalla kuorman uudelleen antennien välillä. (5G viidennen sukupolven matkaviestintäverkot 2019.)

## Base Station Types



Cell Type	Output Power (W)	Cell Radius (km)	Users	Locations
Femtocell	0.001 to 0.25	0.010 to 0.1	1 to 30	Indoor
Pico Cell	0.25 to 1	0.1 to 0.2	30 to 100	Indoor/Outdoor
Micro Cell	1 to 10	0.2 to 2.0	100 to 2000	Indoor/Outdoor
Macro Cell	10 to >50	8 to 30	>2000	Outdoor

QORVO

©2017 Qorvo, Inc.

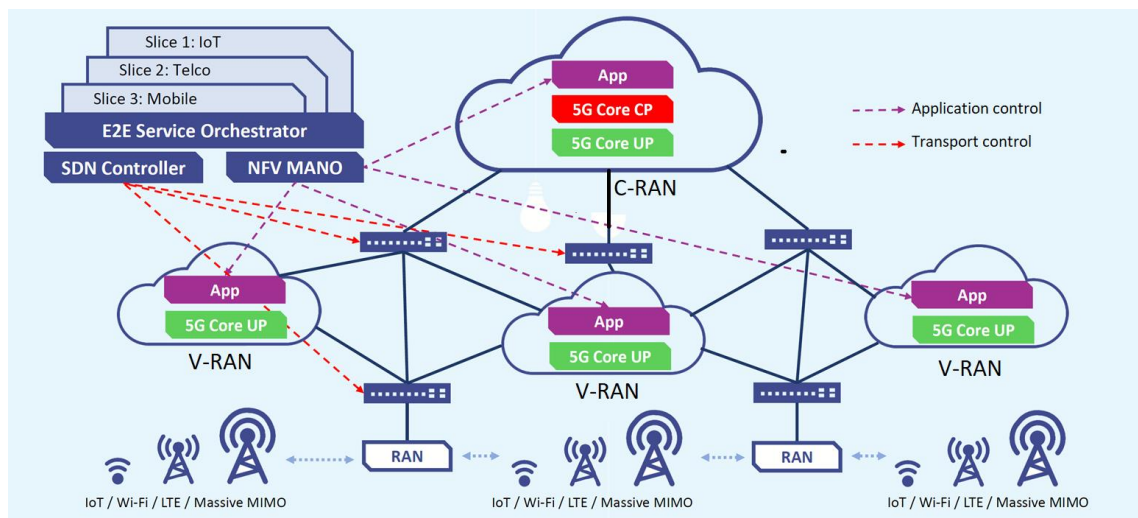
Kuva 8. Pienisolujen ominaisuudet (Small Cell Networks and the Evolution of 5G 2017)

Small cell on periaatteessa tukiasema. Small cell -termi kattaa pikosolut, mikrosolut, femtosolut ja voi käsittää sekä sisä- että ulkojärjestelmät. Pienten solujen päätavoite on lisätä makrosolun reunalla kuuluvuutta, nopeutta ja verkon tehokkuutta. (Small Cell Networks and the Evolution of 5G 2017.)

Mitä matalampi taajuus on käytössä, sitä isompi on solun peittoalue. Ultrakorkeat taajuudet tekevät mahdolliseksi ultranopean tiedonsiirron, mutta millimetriaallot eivät pääse tunkeutumaan rakennuksiin seinien tai edes ikkunoiden läpi. Tässä tapauksessa on käytettävä hajautettua antennijärjestelmää (DAS, Distributed Antenna System) ja kattaa monikerroksiset rakennukset yhdellä tai useammalla tukiasemalla. Pienet antennit voivat sijaita melkein jokaisessa huoneessa, joilla voi tarjota parhaan mahdollisen tiedonsiirron. Useat mobiilioperaattorit voivat käyttää samanaikaisesti tukiasemien ja DAS:in yhteistä infrastruktuuria (5G viidennen sukupolven matkaviestintäverkot 2019.) Sen tekee mahdolliseksi kaistan jako (Spectrum sharing) eri operaattoreille, kun jokainen operaattori käyttää omaa taajuusalueensa palveluilleen.

## 7 5G-VERKON ARKKITEHTUURI

5G-verkon arkkitehtuurin erityispiirre on se, että perinteinen 5G-verkon laitteistoratkaisuihin perustuva käsitys "verkkoarkkitehtuuri" on menettämässä merkitystään. Siksi viidennen sukupolven verkkoja ei usein kutsuta verkoiksi, vaan ekosysteemeiksi tai alustoiksi, jolla tarkoitetaan ohjelmistoalustaa, ei laitteistoalustaa.



Kuva 9. 5G-verkon arkkitehtuuri (5G viidennen sukupolven matkaviestintäverkot 2019. Muokattu)

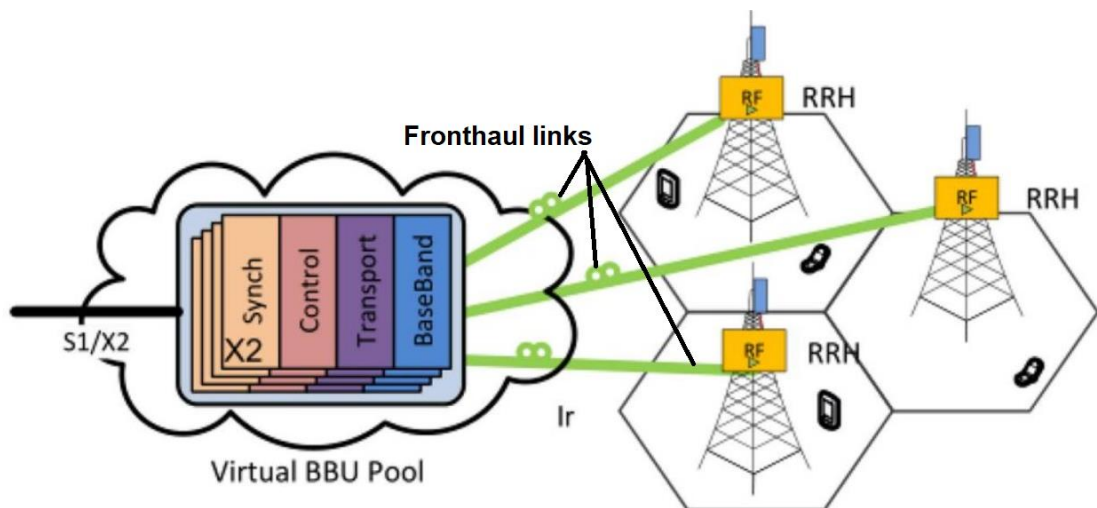
Jos 4G-verkot ja edelliset sukupolvet rakennettiin laitteistojen perustalle, niin 5G-alustat rakennetaan ohjelmistojen, etenkin ohjelmistopohjaisten verkkojen (SDN, Software Defined Network) sekä verkkotoimintojen virtualisointiin (NFV, Network Function Virtualisation), pilvi-infrastruktuurin (Cloud RAN) ja kuljetusverkon virtualisointiin (Virtualized Backhaul) pohjalle. (5G viidennen sukupolven matkaviestintäverkot 2019.)

### 7.1 Pilvi-infrastruktuuri (Cloud RAN)

Viidennen sukupolven verkoissa hyödynnetään Cloud Radio Access Network tai C-RAN-arkkitehtuuria (käytössä on myös Centralized RAN termi). C-RAN on pilvipohjainen arkkitehtuuri radioverkoissa, joka tukee eri langattomia viestintästandardeja (3G, 4G, 5G jne.).

C-RAN-arkkitehtuuri (kuva 10) koostuu seuraavista komponenteista:

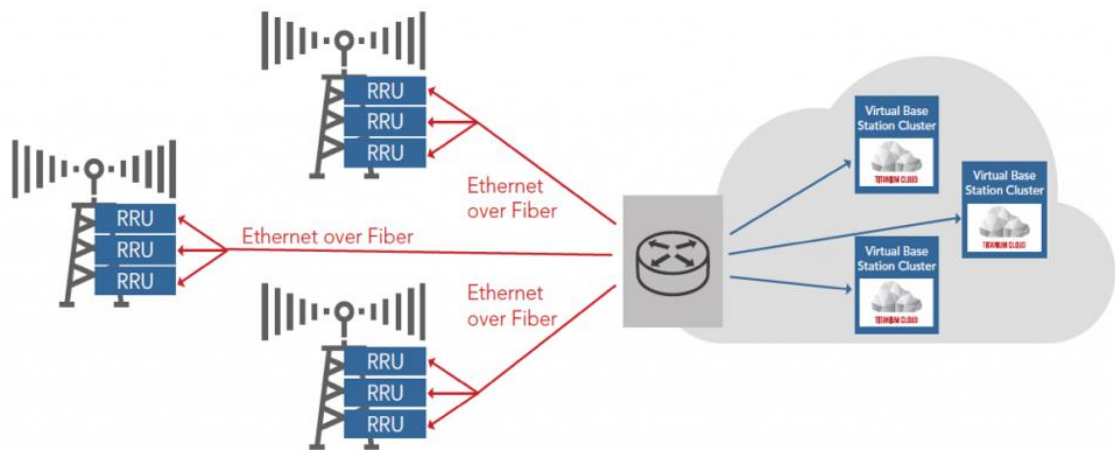
- Base-Band Unit pool (**BBU-allas**) sijaitsee keskitetyssä paikassa ja toimii pilvenä tai datakeskuksena. Sen useat BBU-solmut jakavat resurssit dynaamisesti etäradioyksiköille (RRU) nykyisten verkon tarpeiden perusteella. (Salman 2016.)
- Langattomat laitteet muodostavat yhteyden **RRU-verkkoon**, samalla tavalla kuin ne muodostavat yhteyden tukiasemiin perinteisissä matkapuhelinverkoissa. (Salman 2016.)
- **Fronthaul** tai kuljetusverkko toimii yhteyskerroksena BBU:n ja RRU:n välillä. Se käyttää optista kuituyhteyttä, solukkoviestintää tai millimetriaaltoviestintää (mmWave) suuren kaistanleveyden linkkien tarjoamiseksi useille RRU:ille. (Salman 2016.)



Kuva 10. C-RAN arkkitehtuuri (Okić n.d.)

Eri käyttötapauksilla on eri tarpeet 5G-verkoissa, kuten suuri datamäärä tai millimetriaallot (suuri siirtonopeus ja lyhyt kantavuus). Operaattoreiden on muutettava langattomia verkkojaan nopeasti myös kapasiteetin skaalauksen lisäämiseksi ja hallinnan yksinkertaistamiseksi. Jotta mahdollisimman paljon dataa voitaisiin siirtää 5G-verkoissa, operaattorit integroivat ohjelmistopohjaisen verkkotoiminnan (SDN) ja verkkotoimintojen virtualisoinnin (NFV) tekniikat C-RAN-komponentteihinsa. (Mallory 2019.)





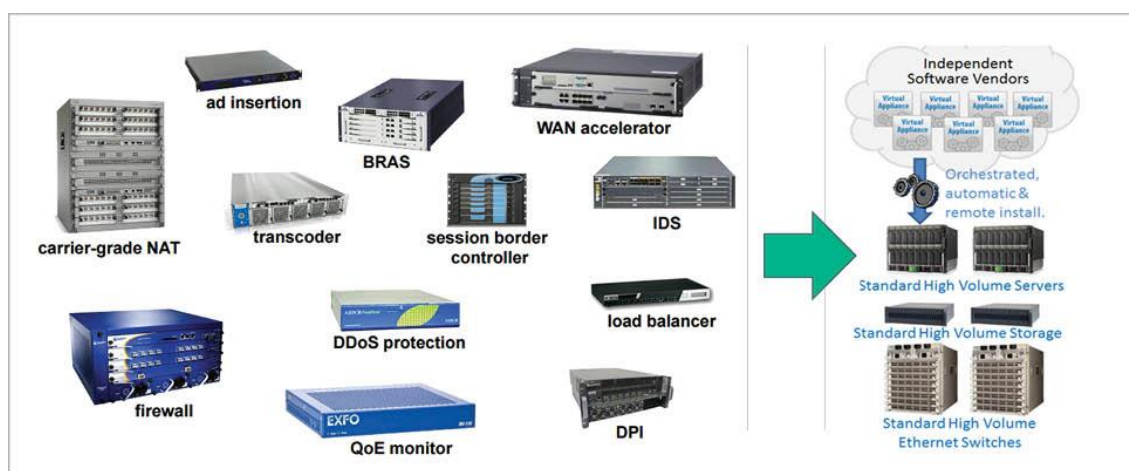
Kuva 11. Virtuaalinen RAN (Mallory 2019)

Niiden avulla operaattorit voivat luoda virtuaalisia RAN-verkkoja (V-RAN, kuva 11) mahdollistamalla BBU-toiminnot pilvessä keskitetyissä virtuaalikoneissa. Nämä virtuaaliset RAN-verkot ovat välttämättömiä 5G:n onnistumiseksi, koska ne antavat operaattoreille mahdollisuuden yksinkertaistaa langattoman verkon toimintoja ja hallintaa, tukea korkeamman taajuuden kaistoja, kuten millimetriaaltoa, vähentää energiankulutusta, lisätä kapasiteetin skaalausta ja tarjota käyttäjille parempaa palvelun laatua ja uusien palveluiden nopeampaa käyttöönottoa mobiililaajakaistaverkoissa. (Mallory 2019.)

## 7.2 Verkkotoimintojen virtualisointi (NFV)

Network Function Virtualization -tekniikan avulla voidaan erottaa ohjelmistot fyysisistä laitteista ja toteuttaa tietoliikennelaitteiden toiminnot palvelimissa. Yhdellä korkean suorituskyvyn fyysisellä palvelimella virtualisointiohjelmiston (hypervisor) avulla voidaan järjestää useita virtuaalipalvelimia niiden käyttöjärjestelmien ja ohjelmistojen kanssa, jotka ovat vuorovaikutuksessa toistensa kanssa virtuaalikytkimen kautta (kuva 12). Samanaikaisesti virtuaalipalvelimet käyttävät fyysisten palvelimien resursseja. (Korolev 2019.)

Virtuaalinen NFV-infrastruktuuri tarjoaa mahdollisuuden rakentaa joustava, skaalautuva viestintäverkko, joka on sovitettu viestintäpalveluiden vaatimuksiin ja vähentää verkon omistamiskustannuksia (TCO, Total Cost of Ownership) käyttämällä tyypillistä korkean suorituskyvyn luotettavaa datakeskusinfrastruktuuria. (Korolev 2019.)

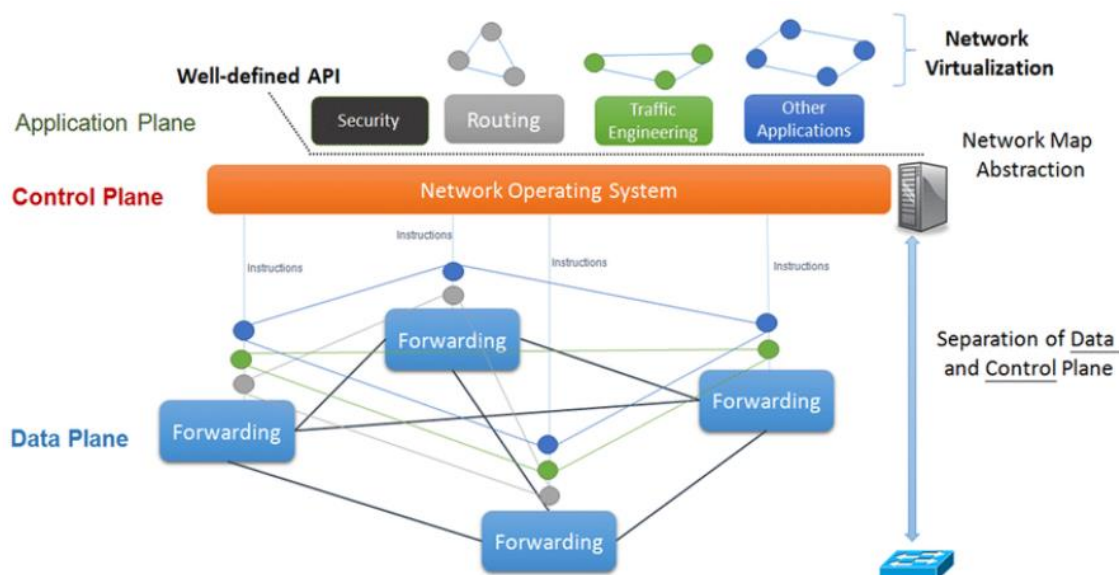


Kuva 12. Virtuaalisoitu verkko verrattuna fyysisesti realisoituun (Sajjan & Chitra 2017)

Virtuaalisen infrastruktuurin haittapuolena on, että käyttäjädata (käyttäjätason tietopaketteja) käsitellään palvelintasolla, mikä vaatii suuria resursseja. Tätä ongelmaa ratkaistaan soveltamalla ohjelmistopohjaisen verkon SDN-konseptia. (Korolev 2019.)

### 7.3 Ohjelmistopohjainen verkko (SDN)

SDN (Software-Defined Network) on tekniikka, jonka avulla voidaan erottaa tiedonsiirtokerroksen toiminnot (data plane) kytkimen ohjauskerroksen toiminnoista (network control plane) ja sen siirtämästä liikenteestä. SDN-lähestymistavan pääideana on erottaa verkkolaitteiden hallinta tiedonsiirron valvonnasta luomalla erityinen ohjelmisto, joka voi toimia normaalissa erillisessä tietokoneessa ja jota verkon valvoja hallitsee. Lisäksi SDN-tekniikalla voidaan siirtyä yksittäisten verkkoelementtien hallinnasta koko verkon hallintaan ja luoda älykäs ohjelmisto-ohjattu rajapinta verkkosovellusten ja -siirtokerroksen välille. (Korolev 2019; Software-Defined Network 2020.)



Kuva 13. Ohjais- ja datakerroksien jakaminen 5G-verkossa (Shah, Sangwook, Jaikar & Seo-Young 2016)

SDN-verkkoinfrastruktuuri tulee rakentaa avoimien OpenFlow-protokollien mukaisesti, sen on oltava yhtenäinen ja annettava mahdollisuus toteuttaa usean toimittajan teknisiä ratkaisuja. OpenFlow-protokollaan perustuvien SDN-verkkojen pääkomponentit ovat

- OpenFlow-kytkin
- OpenFlow-ohjain tai verkon käyttöjärjestelmä
- turvallinen kanava, jonka kautta ohjain ja kytkin ovat vuorovaikutuksessa

(Korolev 2019.)

SDN muodostaa verkon virtuaalisen kerroksen, kuten virtuaalikone muodostetaan palvelimilla tai tietokoneella. OpenFlow-protokolla sallii SDN-ohjelmiston kommunikoida asiaankuuluvien verkkoelementtien (reitittimien ja kytkimien) kanssa avoimen sovellusohjelmointirajapinnan (API) kautta (Korolev 2019.)

#### 7.4 Verkon viipalointi

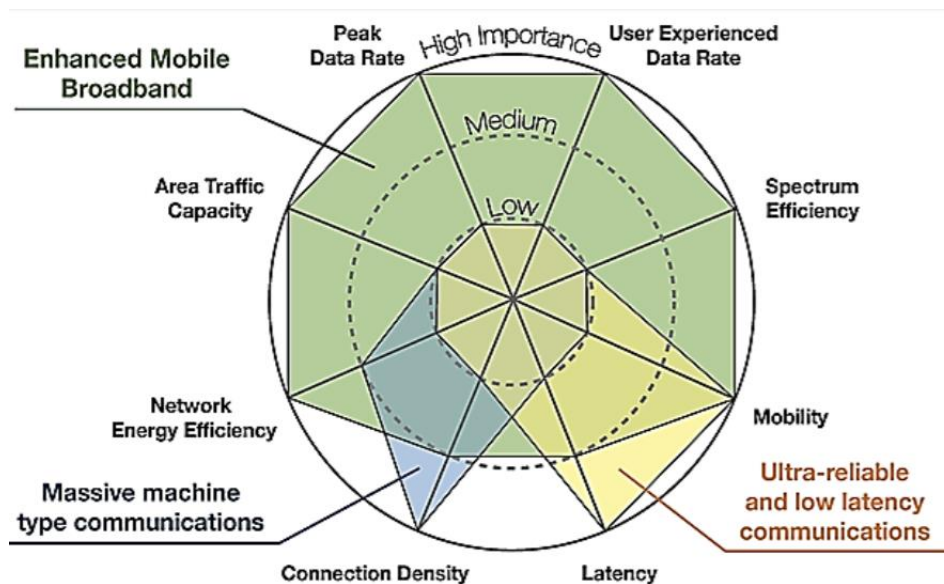
5G-tekniikassa käytetään Network slicing -konseptia eli verkon viipalointia. Tämä tarkoittaa karkeasti sanottuna verkkoresurssien jakamista eri liikennetyypeille, ja jokaiselle viipaleelle (verkon osalle) voidaan käyttää omaa tiedonsiirtotekniikkaansa. Lähestymistavan joustavuuden ansiosta on

mahdollista tyydyttää erityyppisten käyttäjien monimuotoiset ja jopa ristiriitaiset vaatimukset. (5G viidennen sukupolven matkaviestintäverkot 2019.)

Datan siirtämiseen siten, että siirtoon kuuluva aika on erityisen lyhyt, käytetään erityistä viipaletta, jota kutsutaan erittäin luotettavaksi pienviiveiseksi tiedonsiirroksi (ultra-reliable low latency communication). LTE-tekniikan edellyttämä minimiviive on yksi millisekunti, 5G:n minimilähetyskesto on vain millisekunnin murto-osa ja luotettavuus on erittäin korkea, jopa 99,9%. (5G viidennen sukupolven matkaviestintäverkot 2019.)

IoT:lle on varattu erillinen viipale (massive machine type communication). Sen rajoissa voidaan siirtää dataa lukuisille pienitehoisille laitteille. Lisäksi on erillinen viipale erittäin nopeata tiedonsiirtoa (enhanced mobile broadband) varten taajuusalueella alkaen 27 GHz:sta.

Kuvan 14 diagrammi esittelee erilaisten verkon käyttötapausten kriittisiä vaatimuksia.



Kuva 14. Network slicing. 5G-verkon avainominaisuuksien tärkeys käyttötapauksittain (Emerging Trends in 5G 2016)

Kuvassa 14 esitellyt indikaattorit ovat joskus yhteensopimattomia ja usein poissulkevia. Siksi vain osa niistä on yhtäaikaan saatavilla useille laitteille eri ajankohtina. Niin muodoin 5G-verkko voidaan kuvitella "kerroskakkuna", joka

yhdistää erilaisia tekniikoita, joiden käyttö määritetään tietyn käyttäjän tai käyttäjäryhmän tarpeiden mukaan.

## 7.5 Yhteenveto

5G-verkkoarkkitehtuurin pääperiaatteet ovat seuraavat:

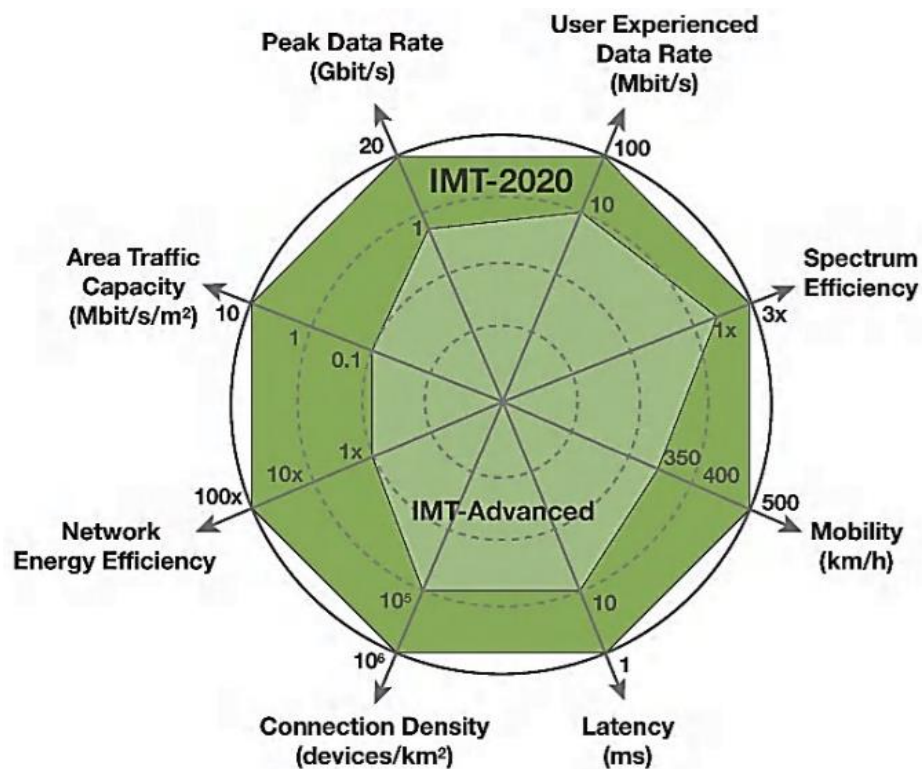
- Verkkosolmujen erottaminen elementeiksi, jotka hoitavat käyttäjätason protokollien toiminnan (UP – User Plane), ja elementeiksi, jotka hoitavat ohjaustason protokollien (CP – Control Plane) toiminnan. Tämä tekniikka lisää merkittävästi skaalauksen ja käyttöönoton joustavuutta (mahdollistaa yksittäisten verkkosolmujen komponenttien sijoittelun sekä keskitetysti että hajautetusti)
- Verkkoelementtien erottaminen verkkotasoiksi (Network Slicing) perustuen tietyille loppukäyttäjärhyhmille tarjottaviin palveluihin.
- Verkkoelementtien toteutus virtuaalisten verkkotoimintojen muodossa - VNF (Virtual Network Functions)
- Tuki keskitettyjen ja paikallisten palvelujen samanaikaiseen käyttöön, joka mahdollistaa pilvi- (fog computing) ja rajalaskennan (edge computing) tekniikoiden toteuttamisen
- Konvergenttinen arkkitehtuuri, joka yhdistää erityyppisiä liityntäverkkoja - 3GPP (New Radio - NR) ja ei 3GPP (WiFi jne.) yhdeksi ydinverkoksi (CN - Core Network)
- Yhtenäisten algoritmien ja todennusmenettelyjen tuki käyttöverkon tyypistä riippumatta
- Stateless eli verkkotoimintojen tuki ilman tilan säilyttämistä, joissa laskentaresurssi on erotettu tallennusresurssista
- Tuki verkkovierailulle liikenteen reitityksellä sekä kotiverkon kautta että Local breakout -mekanismilla vierasverkossa  
(5G verkon arkkitehtuuri n.d.)

Vaikka tässä työssä tarkastellaan vain 5G-verkon erityispiirteitä, 5G-verkko monesti sisältää samankaltaiset ydinohjelmistomoduulit ja verkkotoiminnot (NF), kuin LTE (4G). 5G-verkon toiminnot:

- Pääsyn ja liikkuvuuden hallintatoiminto (AMF - Access and Mobility Management Function)
  - Istunnonhallintatoiminto (SMF - Session Management Function)
  - Käyttäjakerroksen toiminto (UPF - User Plane Function)
  - Yhtenäinen tietohallintamoduuli (UDM - Unified Data Management)
  - Yhtenäinen tietokanta (UDR - Unified Data Repository)
  - Epämuodollinen tallennusjärjestelmä (UDSF - Unstructured Data Storage Function)
  - Verkkoviipaleen valintatoiminto (NSSF - Network Slice Selection Function)
  - Toimintatavan ohjaustoiminto (PCF - Policy Control Function)
  - Ulkoisten sovellusten kanssa vuorovaikutuksen varmistamiseksi tarkoitettu toiminto (NEF - Network Exposure Function)
  - Verkkovarastotoiminto (NRF - Network Repository Function)
  - Sovellustoiminto (AF - Application Function)
  - Lyhyen tekstiviestitoiminnon tukitoiminto NAS-protokollan kautta (SMSF - SMS Function)
  - Ei-3GPP-liityntäverkon kanssa tapahtuvan vuorovaikutuksen toiminto (N3IWF - Non-3GPP-interWorking-toiminto)
- (5G verkon arkkitehtuuri n.d.)

## 8 5G:N KÄYTÄNNÖN ETUJA

5G-ekosysteemi tarjoaa operaattoreille ja käyttäjille merkittäviä etuja, jotka ilmenevät ensisijaisesti verkon suorituskyvyn ja siitä seuraavan käyttäjien tyytyväisyyden lisääntymisessä. Seuraavan kuvan avulla visualisoidaan IMT2020 (5G) -standardin pääparametrit verrattuna IMT-Advanced-standardiin (4G).



Kuva 15. 5G-verkon pääominaisuuksien paraneminen LTE:hen verrattuna (Emerging Trends in 5G 2016)

Huippunopeus: 5G-verkossa nopeus on 20-kertainen 4G:hen verrattuna, eli noin 20 Gb/s.

Keskimääräinen yhteyden nopeus per käyttäjä: vähintään 100 Mbit/s.

Spektritehokkuus: 5G-verkossa on vähintään 3 kertaa suurempi kuin 4G:ssä.

Käyttäjän liikkuvuusmahdollisuus: Nopeus, jolla 5G-päätelaitteen käyttäjä voi liikkua verkon tukiasemien solukkoja vaihtaen yhteyttä menettämättä, on 5G-verkossa 500 km/h, mikä mahdollistaa 5G-palvelujen käytön suurnopeusjunissa. 5G-verkossa viive pienenee alle 1 ms:iin, kun taas 4G-verkossa viive voi olla yli 10 ms.

5G-verkon päätelaitteiden tiheys voi kasvaa suuruusluokalla ja voi olla useita miljoonia laitteita neliökilometriä kohti.

Liikennekapasiteetti pinta-alayksikköä kohti eli tiedonsiirtonopeus verkon peittoalueen neliömetriä kohti 5G:ssä on kaksi kertaluokkaa suurempi kuin 4G-verkossa (5G viidennen sukupolven matkaviestintäverkot 2019.)



## 9 6G-TEKNIikka

Vaikka vielä on valtioita, joita 5G ei kata, puhutaan jo 6G-verkoista. Kun kehitetään 6G-solukoverkkojen tekniikkaa, on ratkaistava monia ongelmia sekä infrastruktuurikomponenttien että niiden vuorovaikutuksen suhteen. Ensisijaisesti tarvitaan rajapinta, joka liittää piensolut valokuituverkkoon, jota käytetään pitkien matkojen luotettavaan ja nopeaan tiedonsiirtoon. Karlsruhen teknillisen yliopiston johtama saksalaisten tutkijoiden ryhmä kertoo tällaisen rajapinnan kehittämisen onnistumisesta. He kokeilevat muuntaa terahertsiluokan signaalin datan optiseksi signaaleiksi nopeiden sähköoptisten modulaattoreiden avulla. Kehittäjien mukaan tällaiset modulaattorit mahdollistavat vastaanottoantenneista saatavan ultrakorkeataajuisen signaalin suoran yhdistämisen kuituoptisiin laitteisiin. Tutkiessaan niiden kehittämismahdollisuuksia tutkijat pääsivät tiedonsiirtonopeuteen 50 Gbit/s kantoaaltoaajuudella 0,29 THz. (Tyrenko 2019.)

Saksalaisten tutkijoiden mukaan on vähennettävä merkittävästi tulevaisuuden solukoverkkojen tukiasemien teknistä monimutkaisuutta ja hintaa. Terahertsiluokan taajuusalueen käyttö johtaa ehdottomasti tukiasemien määrän lisääntymiseen, koska radiosignaali vaimenee esteiden läpi kulkiessaan sitä nopeammin, mitä suurempi on taajuus. Myös MIMO-tekniikkaa on kehitettävä (Tyrenko 2019).

Suunnitelmissa on ottaa 6G-verkkoja laajasti käyttöön jo 2030-luvun alkuun mennessä.

## 10 POHDINTA

Opinnäytetyössä perehdyttiin viidennen sukupolven verkon pääominaisuuksiin, tekniikoihin ja arkkitehtuuriin. Pää tavoitteena oli kuitenkin keskittyä nimenomaan erikoispiirteisiin, joilla se poikkeaa edellisen sukupolven LTE-verkosta, antaakseen yleiskuvauksen 5G-verkosta ja herättääkseen mielenkiintoa tutkia aihetta tarkemmin. Itse opiskelun aikana törmäsin ongelmaan, kun oli erittäin vaikea ymmärtää, miten verkko voi olla virtuaalinen.

5G-verkon IMT-2020-standardit ovat suuntautuneet ensisijaisesti yhteensopivuuteen, joten edellisten sukupolvien tekniikoiden (GPS) käyttö on mahdollista 5G-ekosysteemin sisällä, vaikka tekniikka on kokenut merkittäviä muutoksia. Tulevat sukupolvet voidaan myös harmonisesti kehittää sen pohjalta. Nykyään 5G-verkko on mukavasti alkanut ilmestyä kaupunkien ydinkeskustoihin Euroopassa. Amerikassa ja Aasiassa 5G-verkon kattavuus tekee kaupallisen käytön jo mahdolliseksi.

Opinnäytetyö oli kirjoitettu koronavirusepidemian leviämisen aikana. Karanteenimääräykset ja etätöiden järjestäminen aiheuttivat mobiiliverkkojen dataliikenteen lumivyörynomaisen kasvun, eikä monissa paikoissa verkkokapasiteetti enää riitä. 5G-tekniikan tarjoamia mahdollisuuksia ei voi yliarvioida nykyisessä tilanteessa, kun terveydenhuollon järjestelmät eri maissa eivät kykene hoitamaan kasvavaa määrää potilaita. 5G-tekniikalla aikaansaataavaa erittäin luotettavaa tiedonsiirtoa voitaisi käyttää etähoitotyössä ja sillä minimoida lääkäreiden kontaktit sairastuneiden kanssa ja tartuntariski.

## LÄHTEET

5G viidennen sukupolven matkaviestintäverkot. 28.01.2019. Luettu 27.02.2019. [http://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:5G \(%D0%BF%D1%8F%D1%82%D0%BE%D0%B5 %D0%BF%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5 %D0%BC%D0%BE%D0%B1%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D0%B9 %D1%81%D0%B2%D1%8F%D0%B7%D0%B8\)](http://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:5G (%D0%BF%D1%8F%D1%82%D0%BE%D0%B5 %D0%BF%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5 %D0%BC%D0%BE%D0%B1%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D0%B9 %D1%81%D0%B2%D1%8F%D0%B7%D0%B8))

5G verkon arkkitehtuuri. N.d. Luettu: 20.03.2020. <https://itechinfo.ru/content/%D0%B0%D1%80%D1%85%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B0-%D1%81%D0%B5%D1%82%D0%B8-5g>

Balyk, A. 19.11.2019. 5G: miten tekniikka toimii ja miksi tarvitaan. Luettu: 11.3.2020. <https://rb.ru/longread/what-is-5G/>

ETSI annual report 2018. 2019. Luettu 27.02.2019. <https://www.etsi.org/images/files/AnnualReports/etsi-annual-report-april-2019.pdf>

ITU. Emerging Trends in 5G/IMT2020. 9.2016. Luettu: 27.03.2020. <https://www.itu.int/en/membership/documents/missions/gva-mission-briefing-5g-28sept2016.pdf>

Jejdling, F. 6.2019. Ericsson Mobility Report 2019. Luettu 26.02.2020. <https://www.ericsson.com/en/mobility-report/reports/november-2019>

Konarev, D. N.d. MIMO tekniikat nykyisissä mobiiliverkoissa. Luettu: 20.03.2020. <https://blog.huawei.ru/technology/%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D0%B8-mimo-%D0%B2-%D1%81%D0%BE%D0%B2%D1%80%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D1%85-%D1%81%D0%B5%D1%82%D1%8F%D1%85-%D1%81%D0%BE%D1%82%D0%BE>

Korolev, I. 19.06.2019. Venäläisissä 5G-verkoissa telelaitteiden sijaan asetetaan palvelimia. Luettu: 11.03.2020. [https://www.cnews.ru/news/top/2019-06-19\\_v\\_rossijskih\\_setyah\\_5g\\_vmesto\\_telekomoborudovaniya](https://www.cnews.ru/news/top/2019-06-19_v_rossijskih_setyah_5g_vmesto_telekomoborudovaniya)

Maailman radiaviestintäkonferenssi WRC-19. Loppuraportti. 2.12.2019. <https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/Maailman%20radiaviestint%C3%A4konferenssi%20WRC-19%20loppuraportti.pdf>

Mallory, R. 10.04.2019. How to Converse in Cloud: Cloud Radio Access Networks. Luettu: 20.03.2020. <https://blog.equinox.com/blog/2019/04/10/how-to-converse-in-cloud-cloud-radio-access-networks/>

Matkaviestinverkkojen taajuudet ja luvanhaltijat. 27.01.2020. <https://www.traficom.fi/fi/viestinta/viestintaverkot/matkaviestinverkkojen-taajuudet-ja-luvanhaltijat>

Mobiili talous Venäjä ja lähialueet. 2018. Luettu 27.02.2019.

<https://www.gsmaintelligence.com/research/?file=16bf802029707e30a9850bcfb7b37877&download>

Nguyen, T. 17.05.2017. Small cell networks and Evolution of 5G. Luettu:

12.3.2020. <https://www.qorvo.com/design-hub/blog/small-cell-networks-and-the-evolution-of-5g>

Nokia announces over 2,000 5G patent declarations. 9.10.2019. Luettu

27.02.2019. <https://www.nokia.com/about-us/news/releases/2019/10/09/nokia-announces-over-2000-5g-patent-declarations/>

Nokiolla yli 2000 keskeistä 5G-patenttiperhettä. Luettu 27.02.2019. 09.10.2019.

<https://etn.fi/index.php/13-news/9968-nokiolla-yli-2000-keskeista-5g-patenttiperhetta>

Okić, A. n.d. C-RAN functional split in 5G. Luettu: 5.04.2020.

<https://itnspotlight.com/c-ran-functional-split-in-5g/>

Polaarikoodit – tehokas ratkaisu 5G verkoille. N.d. Luettu: 8.3.2020.

<http://1234g.ru/novosti/polyarnye-kody-dlya-5g>

Salman, T. 17.04.2016. Cloud RAN: Basics, Advances and Challenges. Luettu:

20.03.2020. <https://www.cse.wustl.edu/~jain/cse574-16/ftp/cloudran/index.html>

Shah, S., Sangwook, B., Jaikar, A. & Seo-Young, N. An adaptive load monitoring solution for logically centralized SDN controller. 10.2016. Luettu:

16.03.2020.

[https://www.researchgate.net/publication/309917884\\_An\\_adaptive\\_load\\_monitoring\\_solution\\_for\\_logically\\_centralized\\_SDN\\_controller](https://www.researchgate.net/publication/309917884_An_adaptive_load_monitoring_solution_for_logically_centralized_SDN_controller)

Smee, J. 13.10.2017. What 5G NR technology inventions are becoming a reality

in 2019? <https://www.nokia.com/blog/5g-nr-technology-inventions-becoming-reality/>

Smee, J. Qualcomm, presentation to the Government-University-Industry Research Roundtable. 12.6.2019

Smee, J. 18.12.2017. Five wireless inventions that define 5G NR — the global

5G standard. <https://www.qualcomm.com/news/onq/2017/12/18/five-wireless-inventions-define-5g-nr-global-5g-standard>

Software-Defined Network, SDN. 28.01.2020. Luettu: 12.03.2020.

[http://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%BD%D0%BE-%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8F%D0%B5%D0%BC%D1%8B%D0%B5%D1%81%D0%B5%D1%82%D0%B8\\_\(Software-Defined\\_Network,\\_SDN\)\\_%D0%B8%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%BD%D0%BE-](http://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%BD%D0%BE-%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8F%D0%B5%D0%BC%D1%8B%D0%B5%D1%81%D0%B5%D1%82%D0%B8_(Software-Defined_Network,_SDN)_%D0%B8%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%BD%D0%BE-)

[%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8F%D0%B5%D0%BC%D1%8B%D0%B5%D0%A6%D0%9E%D0%94 \(Software-Defined Data Center, SDDC\)](#)

Taajuudet 5G:lle. Alle 6 GHz:n ja yli 6 GHz:n taajuuksien käytön edut ja haitat. Luettu 26.02.2020. <http://1234g.ru/novosti/chastoty-dlya-5g>

TEC. 5G EMF Considerations. 2018. Luettu: 20.02.2020. <http://tec.gov.in/pdf/Studypaper/Radio%20Div.%20Study%20Paper.pdf>

Tyrenko, A. 15.10.2019. 6G voi tappaa 5G:n ruokahalun. Luettu: 1.4.2020. [https://www.cnews.ru/articles/2019-10-15\\_6g\\_mozhet\\_perebit\\_appetit\\_k\\_5g](https://www.cnews.ru/articles/2019-10-15_6g_mozhet_perebit_appetit_k_5g)

Viestintäteknikka. 5G-radioverkko, osa 2. N.d. Luettu: 3.04.2020. <https://itechinfo.ru/content/%D1%81%D0%B5%D1%82%D1%8C-%D1%80%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%83%D0%BF%D0%B0-5g-%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%8C-2>

What is 5G? And How It Works! 21.10.2019. Luettu 26.02.2020. <https://c.mi.com/forum.php?mod=viewthread&tid=2542183&aid=4882929&from=album&page=1>

What is 5G beamforming, beam steering and beam switching with massive MIMO. n. d. Luettu: 8.3.2020. <https://www.metaswitch.com/knowledge-center/reference/what-is-beamforming-beam-steering-and-beam-switching-with-massive-mimo>

Yost, S. 12.11.2019. Should We Even Be Talking About 6G? <https://semiengineering.com/should-we-even-be-talking-about-6g/>