



# VIIDENNEN SUKUPOLVEN LANGATON TIETOLIIKENNE- VERKKO

Byakagaba Martin Baseka

OPINNÄYTETYÖ  
Toukokuu 2020

Tieto- ja viestintäteknikka  
Tietoliikennetekniikka ja tietoverkot

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tieto- ja viestintätekniikka  
Tietoliikennetekniikka ja tietoverkot

BASEKA, BYAKAGABA MARTIN:  
Viidennen sukupolven langaton tietoliikenneverkko

Opinnäytetyö 47 sivua  
Toukokuu 2020

---

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tarkastella viidennen sukupolven matkapuhelinverkkoa ja kuvata sen toimintaa. Yksittäisinä osa-alueina tutkittiin matkapuhelinverkkojen kehitystä, 5G:n käyttötapauksia, tyypillisiä käyttötapauksia, tekniikoita ja muutamia 5G-järjestelmän arkkitehtuureita. Tavoitteena oli tutustua 5G:n tavoitteiden saavuttamiseksi ehdotettuihin tekniikoihin ja lisätä osaamista yleisesti niihin liittyen. Tietoa haettiin pääasiassa verkkolähteistä ja alan kirjallisuudesta.

Toisiin kuin aiemmat järjestelmät, 5G-tekniikka on kehitetty erityisten käyttösovellusten tarpeesta. Tämä aiheuttaa 5G-verkolle haasteita, kuten sen kautta kulkevan suuren liikenteen käsittely, millimetritaajuuksien lyhyt kantomatkka, lyhyen viiveen ja luotettavuuden yhdistelmä ja esineiden internetin aiheuttama verkottuneiden laitteiden määrän kasvu ja sen myötä liitettävyysongelman.

Näihin haasteisiin vastaamiseksi on esitetty erilaisia tekniikoita, kuten piensolu, advanced MIMO, kerrostamaton verkko, itse organisoituva verkko ja viipaleverkko. Verkon viipaloinnilla verkkotoimintoja suoritetaan ohjelmistoja käyttäen (Software-Defined Network) ja standardipalvelimella ajettavina virtuaalikoneina (Network Function Virtualisation). Tällä tavalla käyttäjille voidaan tarjota eri palveluja kukin tarpeen mukaan samaa laitteistoa käyttäen.

Työssä esitetään yleiskatsaus näistä ehdotetuista tekniikoista, 5G-verkon vaatimuksista, 3GPP:n ja ITU:n laatimia toteutusaikatauluja ja vertaillaan 5G:n ominaisuuksia aiempien järjestelmien ominaisuuksiin, kuten datansiirtonopeuksia vastaanotossa ja viiveitä.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in ICT Engineering  
Telecommunications and Networks

BASEKA, BYAKAGABA MARTIN:  
5G Cellular Network

Bachelor's thesis 47 pages  
May 2020

---

The purpose of the thesis was to look at the fifth-generation cellular network and describe how it works. The development of cellular networks, 5G use cases, typical use cases, technologies and some 5G system architectures were studied as individual areas. The goal was to explore the technologies proposed to achieve the 5G's goals and to further expertise in the field related to those technologies in general.

Unlike previous systems, 5G technology has been developed to meet the need for specific applications. This poses challenges for the 5G network, such as handling the large amount of traffic passing through it, the short range of millimeter frequencies, the combination of low latency and reliability, and the growth in connected devices driven by the Internet of Things and the connectivity challenges related to it.

To meet these challenges, various techniques have been proposed, such as small cell, advanced MIMO, flat network architecture, self-organizing network, and slice network. With network slicing, network functions are performed using software (Software-Defined Network) and virtual machines running on a standard server (Network Function Virtualization). In this way, users can be offered different services, each using the same hardware as needed.

The paper provides an overview of these proposed technologies, 5G network requirements, implementation schedules developed by 3GPP and ITU, and compares the features of 5G with the features of previous systems, such as downlink and uplink data rates.

---

Key words: cellular network, 3GPP, 5G

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	9
2	MATKAPUHELINVERKKOJEN KEHITYS .....	10
	2.1 Tarve uudelle verkolle .....	11
	2.1.1 Mobiililaajakaista .....	12
	2.1.2 Esineiden internet.....	13
	2.2 5G-verkon standardointi ja toteutusaikataulu .....	14
	2.2.1 ITU.....	14
	2.2.2 3GPP .....	15
3	KÄYTTÖTAPAUKSET .....	16
	3.1 Parannettu mobiililaajakaista (eMBB) .....	18
	3.1.1 Hetkellinen suurin tiedonsiirtonopeus .....	18
	3.1.2 Käyttäjän kokemaa tiedonsiirtonopeus .....	19
	3.1.3 Spektrin käytön tehokkuus .....	19
	3.1.4 Liikkuvuus.....	20
	3.1.5 Viive.....	20
	3.1.6 Verkon sähkönkulutus .....	21
	3.2 Erittäin luotettava ja pieniviiveinen yhteys (URLLC).....	22
	3.2.1 Saatavuus .....	22
	3.2.2 Luotettavuus .....	22
	3.2.3 Turvallisuus .....	23
	3.3 Massiivinen konetyyppinen kommunikaatio (mMTC) .....	23
	3.3.1 Yhteystiheys .....	24
	3.3.2 Tiedonsiirtotiheys.....	24
4	TYYPILLISIÄ KÄYTTÖTAPAUKSIA .....	26
	4.1 Tiheä kaupunkimainen tietoyhteiskunta .....	26
	4.2 Älykäs kaupunki .....	27
	4.3 Verkottuneet kulkuneuvot.....	27
	4.4 Teollisuusautomaatio .....	28
	4.5 Yleislähetys kommunikaatio .....	29
5	TEKNIIKAT .....	30
	5.1 Radiotaajuuksien käyttö ja hallinta .....	30
	5.1.1 Taajuusalue .....	30
	5.1.2 Spektrin jako.....	30
	5.1.3 Millimetriaaltojärjestelmä .....	31
	5.2 Edistynyt verkko .....	32
	5.2.1 Kerrostamaton verkko .....	32

5.3 Kanavavarausmenetelmät .....	33
5.4 Antennitekniikat.....	34
5.4.1 Keilanmuodostustekniikka .....	34
5.4.2 Advanced MIMO -tekniikka.....	35
5.5 Parannettu laitteiden välinen kommunikointi .....	35
5.6 Piensolu .....	36
5.7 Heterogeeninen verkko .....	37
5.8 Itse organisoituva verkko .....	38
6 5G-JÄRJESTELMÄN ARKKITEHTUURIT .....	39
6.1 E2E-arkkitehtuuri.....	39
6.2 C-RAN-arkkitehtuuri.....	41
6.3 Viipaleverkko.....	42
7 POHDINTA .....	44
LÄHTEET.....	45

**LYHENTEET JA TERMIT**

1G	Ensimmäisen sukupolven matkapuhelinteknologia
2G	Toisen sukupolven matkapuhelinteknologia
3G	Kolmannen sukupolven matkapuhelinteknologia
3GPP	3rd Generation Partnership Project, usean standardijärjestön yhteisorganisaatio
4G	Neljännän sukupolven matkapuhelinteknologia
5G	Viidennen sukupolven matkapuhelinteknologia
AAS	Advanced Antenna System, kehittynyt antennijärjestelmä
ASA	Authorized Shared Access, luvanvarainen taajuuksien yhteiskäyttö
BBU	Base-band unit, yksikkö, joka tulkitse kantataajuudet
CDMA	Code Division Multiple Access, koodijakokanavointi
CN	Core Network, runkoverkko
C-RAN	Cloud Radio Access Network, verkkoarkkitehtuuri, jossa kantataajuusresurssit liitetään yhteen muodostamaan poolin, jotta ne voitaisiin hallita ja allokoita dynaamisesti kysynnällä tukiasemille
CSON	Cognitive Self-Organising Network, kognitiivinen itsensä organisoiva verkko
D2D	Device to Device communication koneiden väliseen suoraan viestintään
DL	Downlink, vastaanottosuunta
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution, datasiirtoa nopeuttava tekniikka 2G:ssa
eMBB	Enhanced Mobile Broadband, parannettu mobiililaajakaista
GPRS	General Packet Radio Service, pakettivälitteiseen tiedonsiirtoon perustuva tekniikka
GSM	Global System for Mobile Communication, toisen sukupolven matkapuhelinverkoissa käytetty tekniikka

HetNet	Heterogeneous Network, heterogeeninen verkko, jossa eri kokoiset solut toimivat samanlaisesti
HSPA	High Speed Packet Access, edellisten kolmannen sukupolven matkapuhelinverkkoprotokollien parannus
IMT-2020	International Mobile Telecommunication system for 2020 and beyond, 5G ITU-R-sektorilta saanut standardin nimi
IoT	Internet of things, esineiden internet
ITU	International Telecommunication Union, YK:n televiestintäverkkoja ja -palveluja koordinoiva järjestö
ITU-R	Radiocommunications Sector, ITU:n radiosektori vastuussa radioviestinnästä ja standardien kehittämisestä
LAA	Licensed Assisted Access, lisensoitu taajuuksien avustettu käyttöoikeus
LSA	Licensed Shared Access, lisensoitu taajuuksien yhteiskäyttö
LSAS	Large Scale Antenna System, suuren mittakaavan antennijärjestelmä
LTE	Long-Term Evolution, neljännen sukupolven matkapuhelinverkoissa käytetty tekniikka
MIMO	Multiple-Input and Multiple-Output, antennitekniikka, jossa käytetään useampaa antennia sekä lähetys- ja vastaanotinpuolella
mMTC	Massive Machine Type Communications, Massiivinen konetyyppinen kommunikaatio
mmWave	Millimeter Wave, millimetriaalto
Multi-RAT	Multiple Radio Access Technology, moniradiotekniikka
NFV	Network Function Virtualization, Verkkotoimintojen virtualisointi
NGMN	The Next Generation Mobile Networks, matkapuhelinoperaattorien, valmistajien ja tutkimuslaitosten televiestintäyhdistys

NMT	Nordisk Mobiltelefon, pohjoismaissa kehitetty ensimmäisen sukupolven matkaviestinjärjestelmä
NOMA	Non-Orthogonal Multiple Access, kanavavarausmenetelmä, jossa jokaiselle käyttäjälle allokoidaan tietty tehoarvo ja jokainen käyttäjä voi käyttää kaikkia apukantoaaltoja
NR	New Radio, Uusi radio
OFDMA	Orthogonal frequency division multiple access, kanavavarausmenetelmä, jossa datan moduloidaan useaan toisiaan häiritsemättömään taajuuskanavaan
RAN	Radio Access Network, matkaviestinjärjestelmän radioliityntäverkko
RRH	Remote Radio Head, tukiasema-arkkitehtuuri, jossa tukiasema jaetaan erilliseen signaalinprosessointiyksikköön sekä radioyksikköön
SCMA	Sparse Code Multiple Access, OFDMA:n ja CDMA:n yhdistelmän kanavavarausmenetelmä
SDN	Software-Defined Network, tekniikka, jolla verkkotoimintoja suoritetaan ohjelmistoja käyttäen laitteiston sijaan
SON	Self-Organising Network, itseorganisoituva verkko
UHD	Ultra-high definition, ultrateräväpiirto
UL	Uplink, lähetyssuunta
URLLC	Ultra-Reliable Low-Latency Communications, Äärimäisen luotettavat ja pieniviiveiset yhteydet
V2X	Vehicle-to-Anything, ajoneuvosta kaikkeen kommunikaatio



## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tarkastella viidennen sukupolven matkapuhelinverkkoa ja kuvata sen toimintaa. Aluksi perehdyttiin aikaisempien matkapuhelinverkkojen kehitykseen, niiden käyttämiin tekniikoihin ja arkkitehtuuriin, jotta voidaan saada käsitys, mihin suuntaan langattoman tiedonsiirtotekniikan kehitys on menossa.

Työssä tutkittiin tarkemmin viidennen sukupolven matkapuhelinverkon ehdotettuja arkkitehtuureita, käyttötapauksia ja tekniikoita. Työn edetessä vertailtiin näitä 5G:n ominaisuuksia aiempien matkapuhelinverkkojen ominaisuuksiin.

## 2 MATKAPUHELINVERKKOJEN KEHITYS

Matkapuhelinverkkojen sukupolvia (G) on kehitetty nykyiseen neljänteen sukupolveen ja tulevaan viidenteen sukupolveen. Tässä esitetään lyhyt katsaus sukupolvista.

- **1G:** Kaupallisen matkapuhelinverkon ensimmäinen sukupolvi otettiin käyttöön, kun 80-luvulla luotiin täysin toteutetut standardit. 1G:n käyttämä kantaalto moduloitiin analogisella äänisignaalilla. Signaali oli kuitenkin digitaalinen. Suomessa 1G-verkkona oli NMT (Nordisk Mobiltelefon), joka otettiin käyttöön vuonna 1981.
- **2G:** Toisen sukupolven aikana otettiin käyttöön GSM (Global System for Mobile Communication) -teknologia standardina 90-luvun alussa. Se mahdollisti digitoidun äänen ja datan lähettämisen verkossa. 2G toi mukanaan monet käytössä olevat peruspalvelut, kuten tekstiviestit, neuvottelupuhelut, puheluihin ja palveluihin perustuvan laskutuksen.
- **2.5G:** Vuosina 2000–2003 teknologian päivitys toi markkinoille pakettiverkon, joka tarjosi nopeaa tiedonsiirtoa ja Internetiä ja joka tuli tunnetuksi 2.5G:na. Standardit sisälsivät GPRS:n (General Packet Radio Service) ja EDGE:n (Enhanced Data rates for GSM Evolution).
- **3G:** Käyttöön otettu vuonna 2001, 3G on ensimmäinen matkapuhelinverkko, jossa seuraavat toiminnot ovat mahdollisia: nopea laajakaistayhteys, langaton internetyhteys, videopuhelut, verkkojuttelut, mobiili-tv, videopalvelut, navigointikartat, sähköpostiviestit, mobiilipelaaminen, musiikki ja digitaaliset palvelut, kuten elokuvat.
- **4G:** Vuonna 2010 aloitettu, 4G-verkossa otettiin käyttöön LTE (Long-Term Evolution) -tekniikka, joka käyttää pakettikytkentäistä ja IP-pohjaista verkkoa. Se tarjoaa käyttäjille suurta nopeutta, korkeaa laatua ja korkeaa kapasiteettia, samalla kun parannetaan turvallisuutta ja alennetaan puhe- ja datapalvelujen, multimedia- ja internetin kustannuksia.
- **5G:** Vuonna 2020 tarkoitettu käyttöön otettavaksi, 5G on seuraavan sukupolven kaupallinen matkapuhelinverkko, joka on yhä kehityksessä ja määrittelyssä. Se on suunniteltu lisäämään huomattavasti Internet-yhteyden

nopeutta. Yksi sen suurimmista eduista on esineiden internet (IoT). (Car-ritech n.d.)

Kuviossa 1 on esitetty kaikkien viiden sukupolvien vertailu siirtonopeuden, tekniikoiden ja avainominaisuuksien kannalta.

Generation	Speed	Technology	Key Features
1G (1970–1980s)	14.4 Kbps	AMPS,NMT, TACS	Voice only services
2G (1990 to 2000)	9.6/ 14.4 Kbps	TDMA,CDMA	Voice and Data services
2.5G to 2.75G (2001-2004 )	171.2 Kbps 20-40 Kbps	GPRS	Voice, Data and web mobile internet, low speed streaming services and email services.
3G (2004-2005)	3.1 Mbps 500- 700 Kbps	CDMA2000 (1xRTT, EVDO) UMTS and EDGE	Voice, Data, Multimedia, support for smart phone applications, faster web browsing, video calling and TV streaming.
3.5G (2006-2010)	14.4 Mbps 1- 3 Mbps	HSPA	All the services from 3G network with enhanced speed and more mobility.
4G (2010 onwards)	100-300 Mbps. 3-5 Mbps 100 Mbps (Wi-Fi)	WiMax, LTE and Wi-Fi	High speed, high quality voice over IP, HD multimedia streaming, 3D gaming, HD video conferencing and worldwide roaming.
5G (Expecting at the end of 2019)	1 to 10 Gbps	LTE advanced schemes, OMA and NOMA	Super fast mobile internet, low latency network for mission critical applications, Internet of Things, security and surveillance, HD multimedia streaming, autonomous driving, smart healthcare applications.

KUVIO 1. Eri sukupolvien vertailu (RF Page(a) n.d).

## 2.1 Tarve uudelle verkolle

Uusi 5G-tekniikka ei ole vain mobiiliviestinnän seuraava versio, vaan siinä käytetään myös hyvin erilaista tekniikkaa. Aiemmat järjestelmät olivat kehittyneet enemmän siitä, mitä uusimman teknologian avulla voitaisiin tehdä. Uusi 5G-tekniikka on kehitetty erityisten käyttösovellusten tarpeesta. (Electronics notes(a) n.d.).

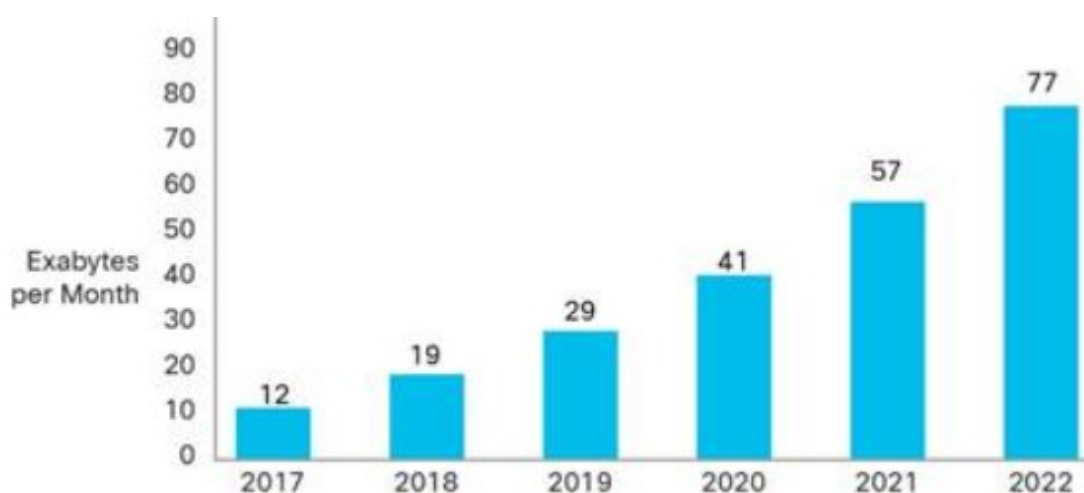
Eryisten käyttösovellusten tarpeiden lisäksi viidennen sukupolven verkkoteknologian kehitystä ohjaavat kaksi merkittävää trendiä: esineiden internet ja mobiili-verkkojen kautta kulkevan liikenteen määrän voimakas kasvu, jotka lisäävät laitteiden liitettävyyden tarvetta ja myös tarvetta luotettavaan ja erittäin lyhytviiveiseen yhteyteen. (The Road to 5G: ... 2015).

### 2.1.1 Mobiililaajakaista

Solukoverkkotekniikan kehitys on mahdollistanut suuremman siirtonopeuden, pienentänyt viivettä ja se on synnyttänyt nopeasti kasvavia palveluja ja sovelluksia. Tämän takia kysyntä kehittyneille multimediasovelluksille, kuten ultrateräväpiirto (UHD) ja 3D-video, haptisen palautteen sovellukset sekä laajennettu todellisuus ja immerstiivinen kokemus, on kasvanut huomattavasti ja aiheuttanut valtavaa mobiililiikenteen kasvua (The Road to 5G... 2015).

Toisia merkittäviä tekijöitä, jotka liittyvät valtavaan mobiililiikenteen kasvuun ovat mobiililaitteiden lisääntyminen ja suurta datamäärää tarvitsevien mobiililaitteiden käyttöönotto, erityisesti älypuhelimet, ja mobiilikäyttäjille tärkeäksi tullut sosiaalinen verkostoituminen, joka synnyttää huomattavan määrän mobiilidataliikennettä (Rodriguez 2015, 2; The Road to 5G... 2015).

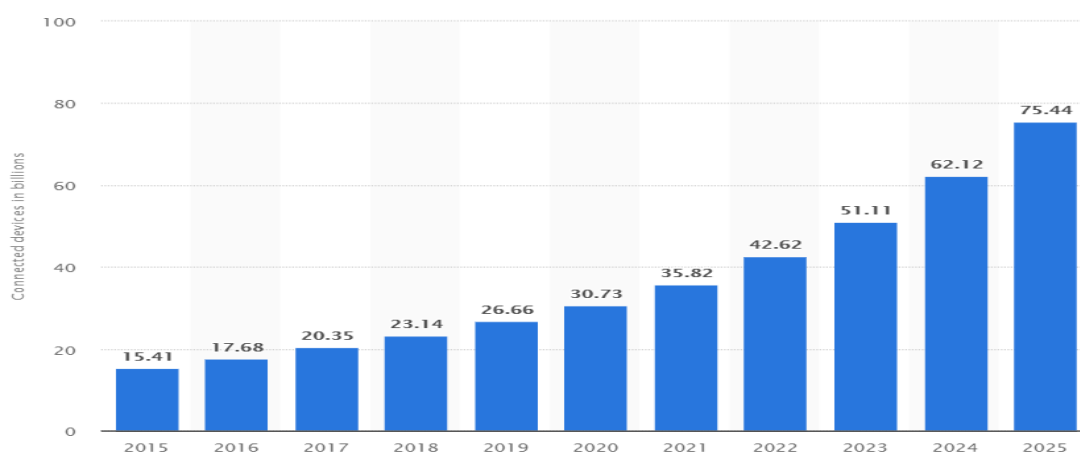
Ciscon visuaalisen verkottumisen indeksin mukaan maailmanlaajuinen mobiilidataliikenne on kaksinkertaistunut vuosina 2010-2011, ja vuosina 2016-2017 kasvu oli 71 prosenttia. Tämä trendin ekstrapolointi vuosikymmenen loppuun osoittaa, että maailmanlaajuisen mobiilidataliikenteen vuotuinen kasvu on 46 prosenttia vuodesta 2017 vuoteen 2022 (Rodriguez 2015, 2; Cisco 2019). Kuvion 2 mukaan kuukauden mobiilidataliikenne kasvaa 12 eksatavusta vuonna 2017, 77 eksatavuun vuonna 2022.



KUVIO 2. Ciscon ennuste mobiilidataliikenteestä vuoteen 2022 mennessä (Cisco 2019).

## 2.1.2 Esineiden internet

Viime vuosina kommunikaatiovalmiudet on kytketty ja integroitu yhä useampiin erilaisiin laitteisiin, eri kuin perinteiset tietokonelaitteet, kuten älypuhelimet, tabletit, älykellot (Rodriguez 2015, 33). Tämä on laajentanut matkaviestintäpalvelujen ulottuvuutta ihmisten välisestä viestinnästä esineiden väliseen viestintään sekä ihmisten ja esineiden väliseen viestintään. Tämän myötä verkottuneiden laitteiden määrä on kasvanut huomattavasti ja tämä tuottaisi liitettävyysongelman nykyisen sukupolven mobiiliverkolle tulevaisuudessa. (Xiang, Zheng & Shen 2016, 8). Kuvion 3 mukaan IoT-laitteiden määrä kasvaa viisinkertaiseksi vuodesta 2015 vuoteen 2025.



KUVIO 3. IoT-laitteiden määrän kasvu vuodesta 2015 vuoteen 2025 (Statista 2019).

Näiden kahden aiemmin mainitun trendin lisäksi on langattomien yhteyksien käyttö uusiin käyttötapauksiin, jotka vaativat erittäin luotettavia yhteyksiä, resursien tehokasta käyttöä (esim. energia, spektri) ja erittäin lyhyttä viivettä. Kaikki aiemmin mainitut trendit ylittävät nykyisen sukupolven mobiiliverkon (4G) kapasiteetin tulevaisuudessa ja aiheuttavat uuden sukupolven mobiiliverkon (5G) tarpeen. (Alexiou 2017, 18.)

Tarkoituksena on, että seuraavan sukupolven mobiiliverkko olisi erittäin luotettava, aiempaa laajakaistaisempi, erittäin lähes viiveetön ja ensimmäinen todellisen konvergoituneen langattoman verkon tapa, joka tarjoaisi kuitumaisen kokemuksen mobiilikäyttäjille. (Rodriguez 2015, 44.)

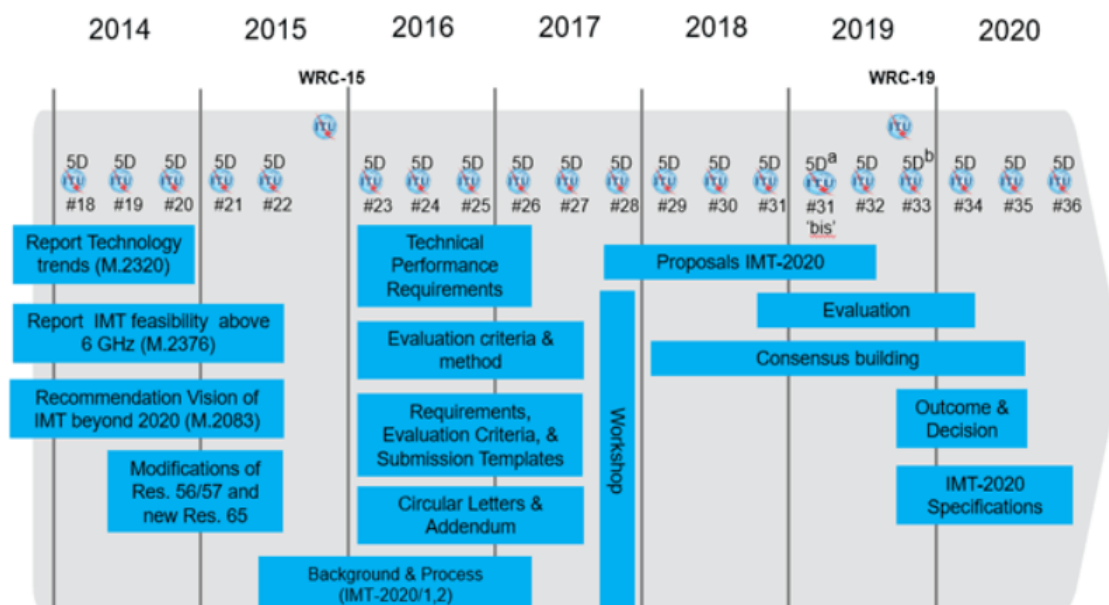
## 2.2 5G-verkon standardointi ja toteutusaikataulu

### 2.2.1 ITU

Kansainvälinen televiestintäliitto ITU (engl. International Telecommunication Union) on YK:n alainen organisaatio, jonka alla uudet radioteknologiat standardisoidaan. Se jakaa radiotaajuuudet ja organisoii yhteiset käytännöt kansainvälisten tekniikoiden toimivuuden takaamiseksi. Se jakaantuu kolmeen osaan:

- ITU-T-televiestintäsektori.
- ITU-R-radioviestintäsektori.
- ITU-D-kehityssektori.

5G standardisoidaan radioviestintäsektorissa (ITU-R). Vuonna 2012 5G on saanut standardointinimen ITU-R-sektorilta ja se on lyhyesti ilmaistuna IMT-2020 (International Mobile Telecommunication system for 2020 and beyond). ITU-R on saattanut päätökseen visionsa 5G-verkosta vuoden 2015 aikana. Kuviossa 4 on ITU:n IMT-2020-standardointiaikataulu määrittelykokouksineen. (ITU n.d.)



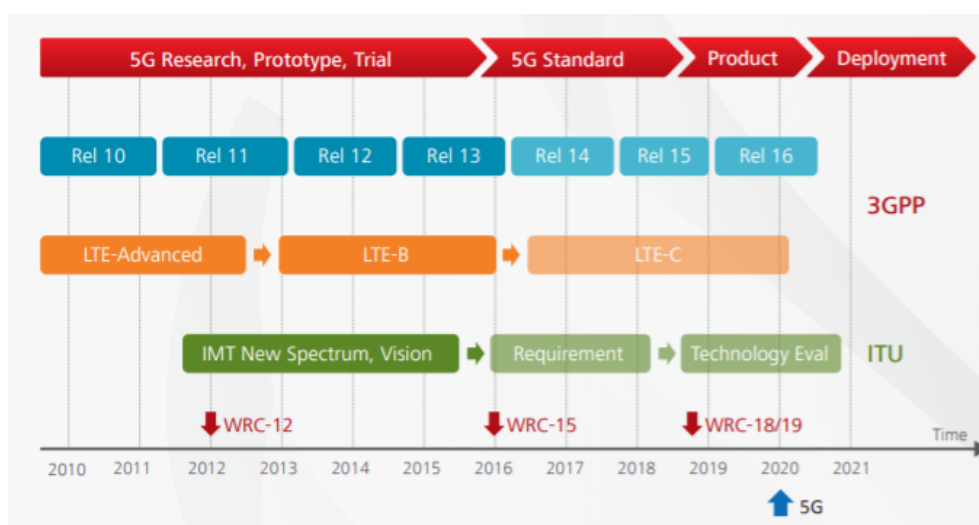
KUVIO 4. ITU:n IMT-2020-standardointiaikataulu määrittelykokouksineen (ITU n.d).

## 2.2.2 3GPP

3GPP (The 3rd Generation Partnership Project) on usean standardointijärjestön yhteistyöorganisaatio, joka kehittää matkaviestinnän protokollia. Osana 5G-keskustelua 3GPP luo viidennen sukupolven langattoman tiedonsiirtojärjestelmälle maailmanlaajuiset tekniset määrittelyt ja on sitoutunut toimittamaan ITU-R:n aktiivisena ehdokastekniikan IMT-2020-määrittelyprosessiin. Tähän on olemassa kaksi määräaika:

- Alustava teknologiaehdotus ITU-R:n kokoukseen #32 kesäkuulle 2019.
- Yksityiskohtainen määrittely ITU-R:n kokoukseen #36 lokakuulle 2020.

Yksi tärkeimmistä 3gpp:n kehittämistä 5G-komponenteista on uusi radio (New radio, NR) -määrittely. Siinä kuvataan uusi 5G-ilmarajapinta ja tarvittavat toiminnot runkoverkon ja muiden ilmarajapintojen liittämiseksi. NR:lle merkitykselliset julkaisut (engl. Release) ovat 14, 15 ja 16. Kuviossa 5 on esitetty 3GPP:n ja ITU:n aikataulu rinnakkain. (Marsch, Bulakçi, Queseth & Boldi 2018,523; 3GPP 2015.)



KUVIO 5. 3GPP:n ja ITU:n aikataulu rinnakkain (Huawei 2013).

### 3 KÄYTTÖTAPAUKSET

5G-verkon tutkimukseen, kehittämiseen ja standardointiin osallistuvien tahojen keskuudessa vallitsee laaja yksimielisyys siitä, että 5G kohdistuu myös uusiin palveluihin ja liiketoimintamalleihin, eikä vain edellisten sukupolvien verkkojen kehittämiseen uusilla taajuuskaistoilla, korkeammalla spektritehokkuudella ja suuremmalla tiedonsiirtonopeudella (Marsch, Bulakçi, Queseth & Boldi 2018, 16).

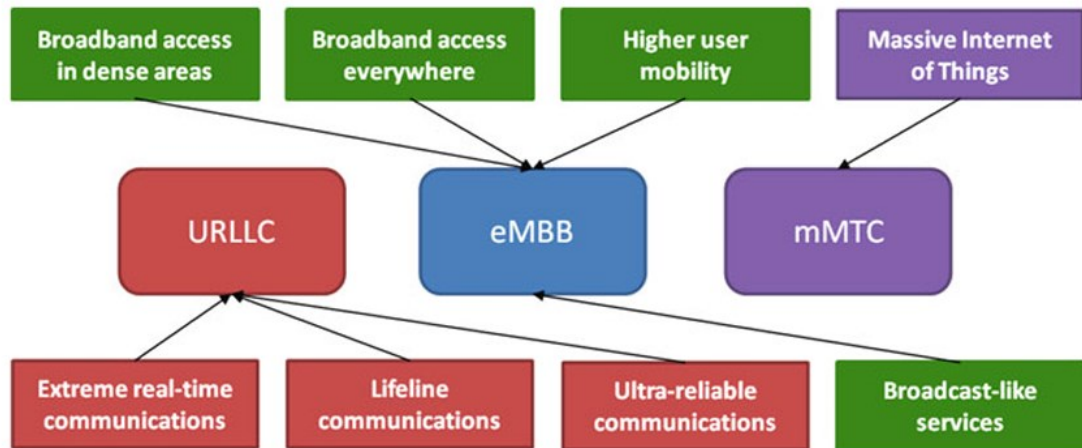
Tavoitteena on, että 5G tukee monenlaisia käyttötapauksia. Eri käyttötapauksissa on erilaisia ominaisuuksia ja vaatimuksia. NGMN (The Next Generation Mobile Networks) on kehittänyt 25 käyttötapauksia, jotka on ryhmitelty kahdeksaan käyttötapausryhmään, jotka ovat: laajakaistaliittymä tiheillä alueilla, laajakaistayhteys kaikkialla, suurempi käyttäjäliikkuvuus, massiivinen esineiden internet, äärimmäisen reaaliaikainen viestintä, elinehtoinen viestintä, erittäin luotettava viestintä ja yleislähetyksen kaltaiset palvelut. (Xiang, Zheng & Shen 2016, 10.)

ITU -R on määritellyt seuraavat kolme käyttötaparyhmää eri käyttötapauksien ominaisuuksien perusteella:

- Parannettu mobiililaajakaista, (Enhanced Mobile Broadband, eMBB).
- Massiivinen konetyyppinen kommunikaatio, (Massive Machine Type Communications, mMTC).
- Äärimmäisen luotettavat ja pieniviiveiset yhteydet, (Ultra-Reliable Low-Latency Communications, URLLC). (Xiang, Zheng & Shen. 2016, 10; Marsch, Bulakçi, Queseth & Boldi 2018, 16.)

Kuviossa 6 esitetään kartoitusta kahdeksasta NGMN:n ehdottamasta käyttötapauksen perheistä kolmeen ITU-R:n käyttötaparyhmiin. Parannettu mobiililaajakaista käyttötaparyhmässä on laajakaistaliittymä tiheillä alueilla, laajakaistayhteys kaikkialla, suurempi käyttäjäliikkuvuus ja yleislähetyksen kaltaiset palvelut. Äärimmäisen luotettavat ja pieniviiveiset yhteydet käyttötaparyhmässä on erittäin luotettava viestintä, elinehtoinen viestintä ja äärimmäisen reaaliaikainen viestintä. Ja massiivinen konetyyppinen kommunikaatio käyttötaparyhmässä on massiivinen esineiden internet.

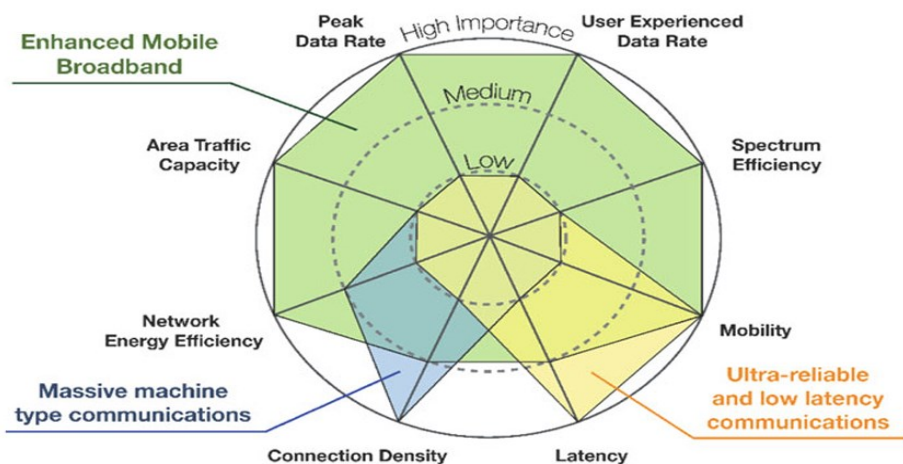




KUVIO 6. Kartoitusta kahdeksasta NGMN:n ehdottamasta käyttötappauksen perheistä kolmeen ITU-R:n käyttötapparyhmiin (Xiang, Zheng & Shen. 2016, 12).

Näiden kolmen käyttötapparyhmien lisäksi, ITU-R on määritellyt niiden sisältä kahdeksan tärkeintä ominaisuutta, jotka ovat hetkellinen suurin tiedonsiirtonopeus, spektrin käytön tehokkuus, käyttäjän kokema tiedonsiirtonopeus, liikkuvuus, viive, yhteystiheys, tiedonsiirtotiheys ja verkon energiatehokkuus

. Nämä ominaisuudet toimivat 5G:n tehokkuuden indikaattorina ja jokaiselle ominaisuudelle on asetettu vaatimukset. Kuviossa 7 on esitetty kunkin ominaisuuden merkitys eri käyttötapparyhmälle. Monilla ominaisuuksilla on suuri merkitys usealle käyttötapparyhmälle, kuten liikkuvuus, jolla on suuri merkitys sekä parannettu mobiililaajakaista -käyttötapparyhmälle, että äärimäisen luotettavat ja pieniviiveiset yhteydet -käyttötapparyhmälle. (Xiang, Zheng & Shen. 2016, 12-13.)



KUVIO 7. Ominaisuuksien merkitys eri käyttötapparyhmille (Xiang, Zheng & Shen. 2016, 17).

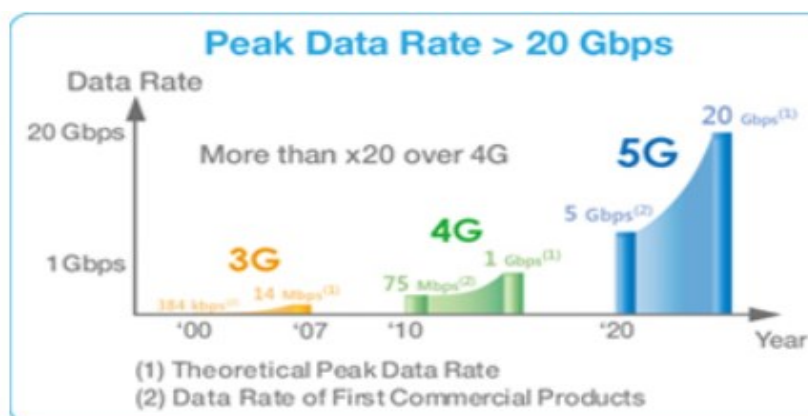
### 3.1 Parannettu mobiililaajakaista (eMBB)

Parannettu mobiililaajakaista -käyttötaparyhmä koostuu dataohjatuista käyttötapuksista, jotka vaativat suurta datanopeutta laajalla kattavuusalueella. Aluksi parannettu mobiililaajakaista on 4G:n palvelujen laajennusta tarjoamalla suurempaa datanopeutta, ja myöhemmin tarjoaa saumatonta käyttäjäkokemusta, eli nykyistä parempaa palvelun laatua. (Marsch, Bulakçi, Queseth & Boldi 2018, 19,38; Kavanagh(a) n.d.)

5G:n kahdeksasta tärkeimmästä ominaisuudesta kuudella on suuri merkitys tälle käyttötaparyhmälle, kuten näkyy kuviossa 7. Niitä ovat hetkellinen suurin tiedonsiirtonopeus, käyttäjän kokema tiedonsiirtonopeus, spektrin käytön tehokkuus, liikkuvuus, viive ja verkon pieni sähkönkulutus.

#### 3.1.1 Hetkellinen suurin tiedonsiirtonopeus

Hetkellinen suurin tiedonsiirtonopeus viittaa suurimpaan saavutettavaan tiedonsiirtonopeuteen, joka on tyypillisesti käytettävissä lyhyissä purskeissa datansiirron aikana, ja sen yksikkönä on bittinä sekunnissa (bps). Hetkellinen suurin tiedonsiirtonopeus pitää olla 5G-verkossa vähintään 20 Gbps vastaanotossa (Downlink, DL) ja 10 Gbps lähetyksessä (Uplink, UL). (Marsch, Bulakçi, Queseth & Boldi 2018, 17; Kavanagh(b) n.d.). 4G-verkkoon verrattuna 5G-verkolla on 20-kertainen hetkellinen suurin tiedonsiirtonopeus vastaanottosuunnassa (kuvio 8).

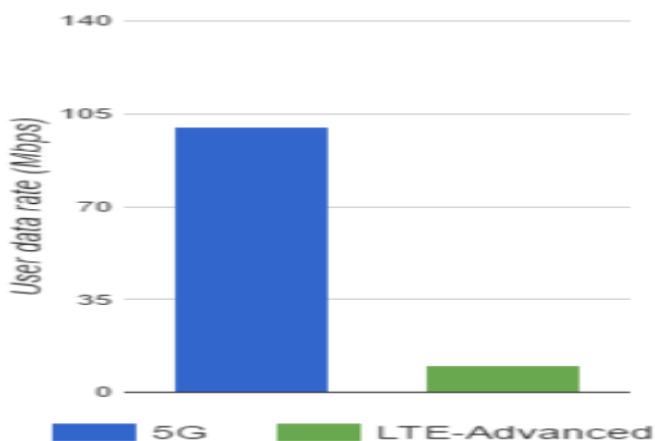


KUVIO 8. Tiedonsiirtonopeudet (Samsung(a) n.d.)

### 3.1.2 Käyttäjän kokema tiedonsiirtonopeus

Käyttäjän kokema tiedonsiirtonopeus viittaa saavutettavissa olevaan siirtonopeuteen, joka on kaikkialla peittoalueella mobiilikäyttäjälle tai laitteelle todellisessa verkkoympäristössä. Sen vaatimus riippuu kohdennetusta sovellus-/käyttötapauksesta. ITU-R on asettanut käyttäjän kokeman minimisiirtonopeuden arvoksi 100 Mbps vastaanottosuunnassa (DL) ja 50 Mbps lähetyssuunnassa (UL). Sen täytyy olla saavutettavissa vähintään 95% verkon peittoalueesta ja 95% ajasta tällä alueella. Käyttäjän kokema tiedonsiirtonopeus pitää tietyissä ympäristössä, kuten sisätiloissa ylittää 1 Gbps vastaanottosuunnassa ja kaikkialla 50 Mbps. (Marsch, Bulakçi, Queseth & Boldi 2018, 17; Xiang, Zheng & Shen. 2016, 472, Android Authority 2019a.)

Kuviossa 9 verrataan päätelaitteille saatavia minimisiirtonopeuksia 4G- ja 5G-verkossa, ja huomataan, että 5G-verkon minitiedonsiirtonopeus on 10-kertainen 4G-verkon nopeuteen verrattuna (100 Mbps 5G-verkossa ja 10 Mbps 4G-verkossa).



KUVIO 9. Käyttäjän kokema minimi tiedonsiirtonopeudet (Android Authority 2019a).

### 3.1.3 Spektrin käytön tehokkuus

Spektrin tehokkuus on taajuuden tai kaistanleveyden optimoidun käytön mahdollistaminen siten, että suurin mahdollinen tietomäärä voidaan välittää ilman lähe-

tysvirheitä. Se määritellään keskimääräiseksi tiedonsiirtonopeudeksi spektriresurssin yksikköä kohti ja solua kohti (bps/Hz/solu). Sen minimivaatimus riippuu testiympäristöstä seuraavasti:

- Sisätiloissa: 9bps/Hz/solu vastaanottosuunnassa ja 6,75bps/Hz/solu lähetysuunnassa.
- Kaupunkialueella: 7,8bps/Hz/solu vastaanottosuunnassa ja 5,4bps/Hz/solu lähetysuunnassa.
- Haja-asutusalueella: 3,3bps/Hz/solu vastaanottosuunnassa ja 1,6bps/Hz/solu lähetysuunnassa.

5G-verkon spektrin tehokkuus on 3-kertainen 4G-verkon spektrin tehokkuuteen verrattuna. (Marsch, Bulakçi, Queseth & Boldi 2018, 17; Sudhir 2013).

### 3.1.4 Liikkuvuus

Liikkuvuus määritellään käyttäjän maksiminopeudeksi (km/h), jolla voidaan saavuttaa määritelty palvelun laatu ja saumaton siirto eri radiosolmujen välillä. Haja-asutusalueella liikkuvuuden vaatimus on 500 km/h ja spektrin tehokkuuden on oltava yli 0,45 bps/Hz. Liikkuvuuden keskeytysaika kanavavaihdon aikana on nolla sekuntia. Tämä tarkoittaa sitä, että yhteys uuteen soluun on asetettava ennen, kuin katkaistaan vanha yhteys (make-before-break paradigma). (Android Authority 2017; Marsch, Bulakçi, Queseth & Boldi 2018, 18; Xiang, Zheng & Shen. 2016, 24).

### 3.1.5 Viive

5G-verkon viivevaatimusta käsiteltäessä määritellään kaksi eri viivettä:

- E2E-viive (End-to-End), joka mitataan lähettäjän paketin lähetyshetkestä, vastaanottajan paketin vastaanottamisen hetkeen.
- Ilmaviive (air latency) mittaa pelkästään ilmarajapinnan tukiasemalta käyttäjälle kulunutta aikaa radiotiellä.

5G-verkon yksisuuntaisen E2E-viiven vaatimus on alle 5ms parannettu mobiili-laajakaistan (eMBB) palveluille ja alle 1 ms erittäin luotettava ja pieniviiveiset yhteyden (URLLC) palveluille. Ilmaviiven vaatimus on alle 1 ms. (Marsch, Bulakçi, Queseth & Boldi 2018, 17; Samsung(a) n.d.)

Kuviossa 10 verrataan 5G-verkkoa ja 4G-verkkoa keskenään. 5G-verkon E2E-viive on kymmenesosa 4G- verkon E2E-viiveestä, ja samoin 5G-verkon ilmaviive on kymmenesosa.

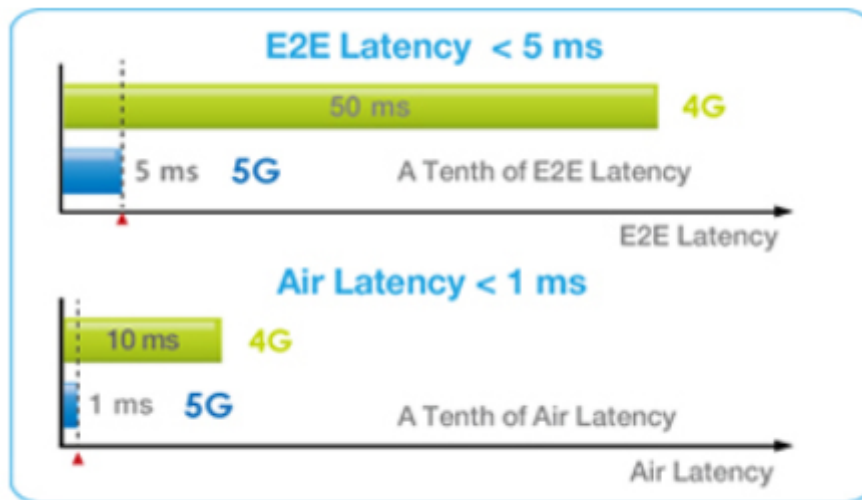


Figure 8 Ultra Low Latency of 5G

KUVIO 10. 5G- ja 4G- verkkojen viiveet (Samsung(a) n.d.).

### 3.1.6 Verkon sähkönkulutus

5G-verkon laitteiden sähkönkulutuksesta on määrittäviä sekä verkkopuolelle että laitepuolelle. Verkkopuolella sähkönkulutus viittaa lähetettyjen tai vastaanotettujen informaatiobittien määrään radioliityntäverkon energiakulutuksen yksikköä kohti, ja laitepuolella informaatiobittien määrään viestintämoduulin energiankulutuksen yksikköä kohti. 5G-järjestelmän on tarkoitus olla 100 kertaa tehokkaampi kuin 4G-järjestelmä, tarjoamalla 100 kertaa enemmän liikennettä käytettävään energiamäärään verrattuna. Tämän tavoitteen saavuttamiseksi, ITU-R on spesifoinut, että 5G-verkon radiorajapinnan laitteiden on voitava olla mahdollisimman usein ja pitkän aikaa standby-tilassa. (Marsch, Bulakçi, Queseth & Boldi 2018, 18; Samsung(a) n.d.)

Pienikulutuksisesta verkosta hyötyvät sekä operaattorit että päätelaitteiden käyttäjät. Se parantaa sen kannattavuutta vähentämällä käytetystä sähköstä aiheutuvia kustannuksia, ja lisää laitteiden akun kestoa, joka vaikuttaa kuluttajien ostopäätöksiin. (Samsung(a) n.d.).

### **3.2 Erittäin luotettava ja pieniviiveinen yhteys (URLLC)**

Erittäin luotettava ja pieniviiveinen yhteys koostuu äärimmäisen reaaliaikaisesta viestinnästä ja erittäin luotettavasta viestinnästä, kuten teollisen valmistuksen tai tuotantoprosessien langaton ohjaus, jakelun automatisointi älyverkossa, kuljetuksen turvallisuus jne. Tässä käyttötapauksessa on tiukat vaatimukset ominaisuuksille, kuten viive ja käytettävyys. Latenssin lisäksi, tärkeimmät ominaisuudet tälle käyttötapaukselle ovat saatavuus, luotettavuus ja turvallisuus. (Xiang, Zheng & Shen. 2016, 10-11; Marsch, Bulakçi, Queseth & Boldi 2018, 16.)

#### **3.2.1 Saatavuus**

Korkea saatavuus on välttämätöntä kriittisten tiedonsiirron takaamiseen kriittisiin infrastruktuureihin tai palveluntarjoajiin. 5G-verkkoja tullaan käyttämään yhä enemmän ensisijaisena keinona hätäviestinnän ja yleisen turvallisuuden varmistamiseksi päivittäisessä toiminnassa. 5G:n pitäisi mahdollistaa 99,999%:n verkon saatavuus äärimmäisten luonnonilmiöiden aikanakin. (NGMN 2015.)

#### **3.2.2 Luotettavuus**

Viestinnän luotettavuus määritellään datapaketin lähetyksen onnistumisen todennäköisyydeksi ennen tiettyä määräaikaa verkon ollessa käytettävissä. Luotettavuusaste riippuu palvelusta ja käyttötapauksesta. 5G-tekniikan luotettavuuden tavoite käyttötapauksessa äärimmäiset luotettavat ja pieniviiveiset yhteydet on mahdollistaa 99,999% luotettavuusaste 32 tavun MAC-pakettien siirrossa alle yhdessä millisekunnissa kaupunkien testiympäristön solun reunassa. (NGMN 2015; Marsch, Bulakçi, Queseth & Boldi 2018, 18.)

Jossakin viiveriippumattomissa mMTC-käyttötapauksissa, luotettavuus voi olla 99% tai alhaisempi riippuen niihin liittyvistä kompromisseista (NGMN 2015).

### 3.2.3 Turvallisuus

Turvallisuus on ollut yksi keskeisistä ominaisuuksista, joita palveluntarjoajat tarjoavat asiakkailleen. 5G tulee tukemaan laajaa valikoimaa sovelluksia koneiden ja ihmisten välisessä viestinnässä ja näin ollen sen pitäisi pystyä käsittelemään valtava määrä arkaluonteisia tietoja, joita on suojattava luvattomalta käytöltä, häiriöltä, muutoksilta, tarkastuksilta, hyökkäyksiltä jne. (NGMN 2015.)

5G-järjestelmien keskeinen vaatimus on tarjota kattava joukko ominaisuuksia, jotka takaavat korkean tason turvallisuutta, jotta se pystyisi tarjoamaan palveluja kriittisille aloille, kuten yleinen turvallisuus, sähköinen terveydenhuolto ja julkiset palvelut. Siksi 5G:n tulisi olla suunniteltu tarjoamaan enemmän vaihtoehtoja tiedonsiirron suojaamiseen nykyiseen mobiilijärjestelmään verrattuna, uusien liiketoimintamahdollisuuksien luomiseen ja mahdollisten tietoturvahkien estämiseen tai lieventämiseen. (NGMN 2015.)

Radioteknisestä näkökulmasta esiintyy kaksi turvallisuusvaatimusta:

- Parantaa verkon kestävyttä radiokanaviin ja signaaliin kohdistuvia älykkeitä häiriöhyökkäyksiä vastaan.
- Parantaa 5G-verkon pienten solujen turvallisuutta ottaen huomioon niiden maantieteellinen jakautuma ja helppo saatavuus. (NGMN 2015.)

### 3.3 Massiivinen konetyyppinen kommunikaatio (mMTC)

Tämä käyttötapaus kuvaa erittäin suurta määrää kytkettyjä laitteita, jotka tyypillisesti lähettävät suhteellisen pienen määrän viiveriippumattomia tietoja. Tätä on tunnettu nimellä esineiden internet (IoT). Tässä käyttötapauksessa yhteystiheys ja tiedonsiirtotiheys ovat tärkeitä ominaisuuksia valtavan laitemäärän tukemiseen verkossa. Lisäksi laitteiden on oltava edullisia, ja niiden akun käyttöikä erittäin

pitkä. (Xiang, Zheng & Shen. 2016, 18; Marsch, Bulakçi, Queseth & Boldi 2018, 16.)

### 3.3.1 Yhteystiheys

Yhteystiheys määritellään liitettyjen tai käytettävissä olevien laitteiden kokonaismääräksi pinta-alaa kohti. ITU-R on määrittänyt tavoitteeksi 1000000 aktiivista laitetta neliökilometrissä mMTC:lle. Aktiivisella laitteella tarkoitetaan laite, joka vaihtaa tietoja verkon kanssa. Käyttötapauksen mukaiset yhteystiheyden vaatimukset on esitetty taulukossa 1. (Marsch, Bulakçi, Queseth & Boldi 2018, 18; NGMN 2015.)

### 3.3.2 Tiedonsiirtotiheys

Tiedonsiirtotiheys kuvaa kaikkien laitteiden vaihtaman liikenteen kokonaismäärää tarkasteltavalla alueella ja sen yksikkönä on bittiä sekunnissa neliömetrillä (b/s/m<sup>2</sup>). 5G-verkon pitäisi pystyä palvelemaan suurta määrää ihmis- ja kone-tyyppisen kommunikaation laitteita. Äärimmäisessä tapauksessa tämä tarkoittaa:

- 5G-verkon tulisi tukea usean kymmenen Mb/s:n siirtonopeutta tuhansille käyttäjille ruuhkaisissa tapahtumapaikoissa, kuten konserteissa ja urheilutapahtumissa.
- 1 Gbps yhteys tulisi taata kymmenille työntekijöille samaan aikaan samassa toimistokerroksessa.

Käyttötapauksen mukaiset tiedonsiirtotiheyden vaatimukset on esitetty taulukossa 1. (NGMN 2015.)



Taulukko 1. Yhteystiheyden ja tiedonsiirtotiheyden vaatimukset (NGMN 2015).

Use case category	Connection Density	Traffic Density
Broadband access in dense areas	200-2500 /km <sup>2</sup>	DL: 750 Gbps / km <sup>2</sup> UL: 125 Gbps / km <sup>2</sup>
Indoor ultra-high broadband access	75000 / km <sup>2</sup> (75/1000 m <sup>2</sup> office)	DL: 15 Tbps/ km <sup>2</sup> (15 Gbps / 1000 m <sup>2</sup> ) UL: 2 Tbps / km <sup>2</sup> (2 Gbps / 1000 m <sup>2</sup> )
Broadband access in a crowd	150000 / km <sup>2</sup> (30000 / stadium)	DL: 3.75 Tbps / km <sup>2</sup> (DL: 0.75 Tbps / stadium) UL: 7.5 Tbps / km <sup>2</sup> (1.5 Tbps / stadium)
50+ Mbps everywhere	400 / km <sup>2</sup> in suburban 100 / km <sup>2</sup> in rural	DL: 20 Gbps / km <sup>2</sup> in suburban UL: 10 Gbps / km <sup>2</sup> in suburban DL: 5 Gbps / km <sup>2</sup> in rural UL: 2.5 Gbps / km <sup>2</sup> in rural
Ultra-low-cost broadband access for low ARPU areas	16 / km <sup>2</sup>	16 Mbps / km <sup>2</sup>
Mobile broadband in vehicles (cars, trains)	2000 / km <sup>2</sup> (500 active users per train x 4 trains, or 1 active user per car x 2000 cars)	DL: 100 Gbps / km <sup>2</sup> (25 Gbps per train, 50 Mbps per car) UL: 50 Gbps / km <sup>2</sup> (12.5 Gbps per train, 25 Mbps per car)
Airplanes connectivity	80 per plane 60 airplanes per 18,000 km <sup>2</sup>	DL: 1.2 Gbps / plane UL: 600 Mbps / plane
Massive low-cost/long-range/low-power MTC	Up to 1000000 / km <sup>2</sup>	Non-critical
Ultra-low latency	Not critical	Potentially high
Resilience and traffic surge	10000 / km <sup>2</sup>	Potentially high

## 4 TYYPILLISIÄ KÄYTTÖTAPAUKSIA

5G-verkon on tarkoitus käsitellä tiedonsiirtoskenaarioita, joissa nykyiset solukko-verkot ovat puutteellisia. Monet organisaatiot ovat ehdottaneet erilaisia käyttötappauksia 5G-verkolle tähän liittyen. Tässä luvussa käsitellään muutamia tyypillisiä käyttötappauksia, jotka sisältävät yhden tai useita ITU-R:n käyttötapparyhmiä.

### 4.1 Tiheä kaupunkimainen tietoyhteiskunta

Tämä käyttötappaus viittaa kaupunkialueilla asuvien ihmisten yhteyksien vaatimukseen. Tällainen ympäristö voi sisältää kaikki kolmen ITU-R:n määrittelemän käyttötapparyhmän palvelua, kuten eMBB:n suuri tiedonsiirtonopeus sekä sisätiloissa että ulkona, massiivista määrää mMTC-lähetystä ja URLLC:n palvelua. Tällaisten palvelujen yhdistelmä tekee tästä käyttötappauksesta kriittisempi, kun harkitaan mahdollisia 5G-ratkaisuja. (Marsch, Bulakçi, Queseth & Boldi 2018, 25.)

5G tulisi tarjoamaan julkisia pilvipalveluja 300 ja 50 Mbps tiedonsiirtonopeuksilla vastaanotossa ja lähetyksessä vastaavasti. Laite-keskeisissä palveluissa kuten lähetyksiä laiteiden välillä, tiedonsiirtonopeuden vaatimus on 10 Mbps:n alueilla. Lisäksi 5G-verkon on ylläpidettävä nämä tiedonsiirtonopeudet 95% paikoista ja ajasta niille käyttäjille, jotka tuottavat keskimäärin 500 Gt:n liikennemäärää kuukaudessa. Tämä johtaa 750 ja 125 Gbps/km<sup>2</sup> tiedonsiirtotiheyteen vastaanotossa ja lähetyksessä vastaavasti kiireisessä ajoissa. 5G-verkko pitäisi saavuttaa tämä suorituskyyky huomioon ottaen kustannukset ja sähkönkulutus. Ja näiden kulujen pitäisi olla samalla tasolla kuin nykyiset kustannukset sekä infrastruktuurin että laitteiden osalta. (Marsch, Bulakçi, Queseth & Boldi 2018, 25.)

## 4.2 Älykäs kaupunki

Älykäs kaupunki -konseptilla tarkoitetaan urbaania aluetta, missä mMTC:n ja IoT:n viestintää hyödyntämällä luodaan parempaa kaupunkielämää ihmisille. Ihmisten kaupunkielämän parannus voi ilmetä eri tavoin, kuten yleispalvelujen tehokas käyttö, parempaa terveydenhuoltoa ja sosiaalihoitoa, nopeampi julkinen liikenne, jne. (Marsch, Bulakçi, Queseth & Boldi 2018, 26).

Tätä konseptia ohjaa kaupungistumisen kasvu sekä haasteet ja mahdollisuudet, joita tämä tuo yhteiskunnalle. Kaupungistumisen kasvu aiheuttaa paineita kaupungeille, jotka liittyvät ylikuormitukseen, ruuhkautumiseen, saastumiseen ja muihin. (Marsch, Bulakçi, Queseth & Boldi 2018, 26; Wray n.d.)

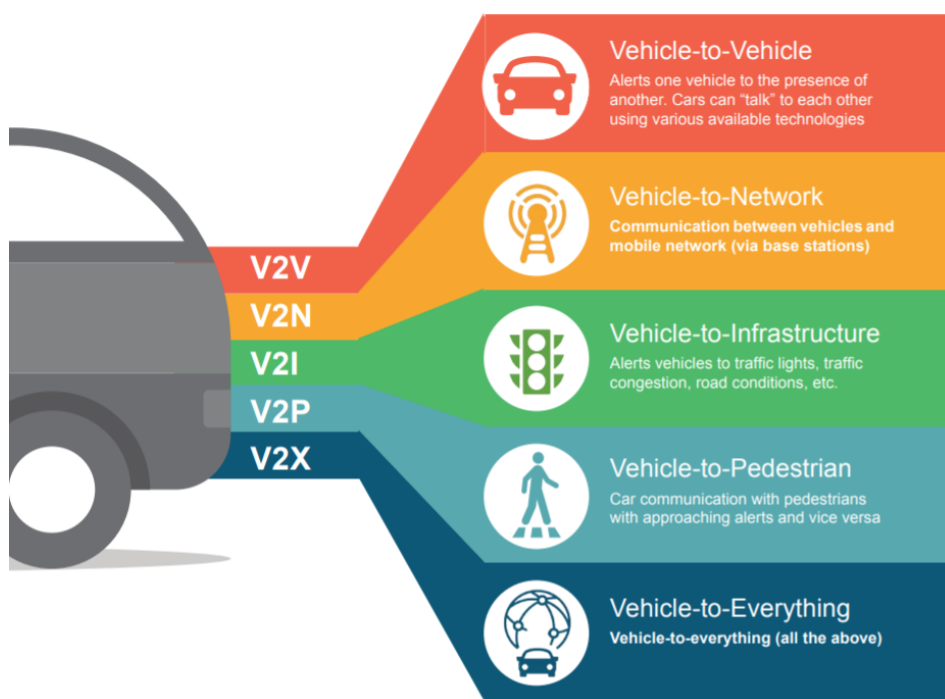
Tässä käyttötapauksessa on olemassa tietyt langattomaan viestintään liittyvät haasteet, jotka ovat yhteisiä useimmille laitteille ja jotka 5G:n pitäisi ratkaista. Matkaviestinverkon on oltava nopea, herkästi reagoiva ja vakaa pystyäkseen käsittelemään valtavan määrän tietoja. Yksi niistä haasteista liitty jonkin tietyn palvelun saatavuuteen kaupunkialueella, jonka odotetaan olevan vähintään 99,9 prosenttia. Toinen keskeinen haaste on erillisissä paikoissa sijaitsevien sensorien energiaa säästävää toimintaa, koska niiden akun vaihto tai lataaminen on vaikea. Vähintään 10 vuoden radiotoimintojen pitäisi olla mahdollisia yhdellä 5 Wh:n akulla, jotta kustannukset pysyisivät alhaisella tasolla. (Marsch, Bulakçi, Queseth & Boldi 2018, 26; Wray n.d.)

## 4.3 Verkottuneet kulkuneuvot

Tämän käyttötapauksen tavoite on helpottaa turvallista ja säästää matka-aikaa ottamalla käyttöön URLLC-palvelut kulkuneuvojen ja ympäristön välillä. Matkustajien turvallisuuden takaamiseksi, odotetaan, että tiedonsiirron luotettavuus on 99,999 prosenttia. Tämä luotettavuus on odotettavissa alhaisen hyötykuorman sanomassa, jota vaihdetaan ajoittain joka 100 ms välein kulkuneuvojen välillä. Ennennäkemätön luotettavuus, äärimäisen pieni latenssi ja erilaiset viestintätyyppit autojen ja niiden ympäristön välillä (kuvio 11) mahdollistavat konfliktien estä-

mistä ennen niiden syntymistä, antamalla kuljettajalle ennakoivaa tietoa nopeampien päätösten tekemiseksi. (Marsch, Bulakçi, Queseth & Boldi 2018, 26-27; Huawei n.d.)

Lisäksi autolla, linja-autolla tai junalla kulkevat matkustajat odottavat etäpalveluiden saatavuutta suuresta liikkuvuudesta huolimatta. Tässä tapauksessa eMBB-palveluja voidaan käyttää tarjoamaan viihdettä ja internetyhteyttä matkustajille. (Marsch, Bulakçi, Queseth & Boldi 2018, 26-27.)



KUVIO 11. Erilaiset viestintätavat autojen ja niiden ympäristön välillä (Huawei n.d.).

#### 4.4 Teollisuusautomaatio

Teollisuusautomaatio on ohjausjärjestelmien, kuten tietokoneiden tai robottien ja tietotekniikan käyttöä eri prosessien ja koneiden käsittelemiseksi teollisuudessa ihmisen korvaamiseen. Tämä käytötapa liittyy URLLC-käyttötaparyhmään. Se liittyy koneiden väliseen suoraan viestintään (device to device, D2D) sekä liitäntäpisteen ja koneiden väliseen viestintään. Tässä tapauksessa latenssin on oltava 1 ja 10 millisekunnin välillä ja kaikissa tapauksissa luotettavuuden on oltava erittäin suurta. (Marsch, Bulakçi, Queseth & Boldi 2018, 27.)

#### **4.5 Yleislähetys kommunikaatio**

Nykyisten lähetyspalvelujen lisäksi verkottunut yhteiskunta tarvitsee tehokasta uutisen jakamista yhdestä lähteestä moniin kohteisiin. Nämä palvelut voivat jakaa sisältöä nykyisellä tavalla vain DL-kanavalla, mutta tarjota myös UL-palautekanavaa interaktiivisille palveluille tai kuittaustiedoille. Sekä reaaliaikaiset että ei-reaaliaikaiset palvelut ovat mahdollisia. (Marsch, Bulakçi, Queseth & Boldi 2018, 27.)

## 5 TEKNIIKAT

Alussa 5G käyttää LTE-tekniikkaa, jota käytetään nykyisissä 4G-verkoissa. LTE:n lisäksi on olemassa monia uusia 5G-teknologioita ja tekniikoita. Jotkut ovat jo saatavilla ja muut käsitellään ja kehitetään 5G-standardeihin sisällyttämiseksi. Nämä uudet teknologiat ja tekniikat mahdollistavat 5G:n joustavamman ja dynaamisemmän palvelun. (Kavanagh(b) n.d.)

### 5.1 Radiotaajuuksien käyttö ja hallinta

#### 5.1.1 Taajuusalue

5G-kapasiteettivaatimuksien täyttämiseksi 5G-verkko käyttää korkeampaa taajuusalueita ja suurempaa kaistanleveyttä kuin 4G. Korkeampien taajuuksien käytöstä seuraa kuuluvuusongelma, sillä ne eivät läpäise seiniä. Osaratkaisuna on matalien taajuuksien käyttö laajan kattavuuden saamiseksi. 5G:n suunnitelluista käyttötapauksista riippuen 5G-verkko käyttää taajuusalueita 700 MHz:n ja 100 GHz:n välillä. Tällä hetkellä eurooppalaiset telehallinnot ovat sopineet kolmesta taajuusalueesta 5G:lle:

- 700 MHz kapean kaistanleveyden taajuusalue
- 3,4-3,8 GHz suuren kaistanleveyden taajuusalue
- 24,25-27,5 GHz erittäin suuren kaistanleveyden taajuusalue.

Suomessa valtioneuvosto on myöntänyt Elisalle, Telialle ja DNA:lle taajuusalueen toimilupa 3410 ja 3800 megahertsin välillä. Kaikki kolme operaattoria saivat 130 megahertsiä taajuuskaistaa 5G:n käyttöön. (Kavanagh(b) n.d.; ETN 2018.)

#### 5.1.2 Spektrin jako

Uusien taajuuksien jakamisen sääntelyprosessi on usein aikaa vievää ja paljon taajuuskaistoja on perinteisesti varattu sotilastutkille, joissa kaistoja ei tarvita jatkuvasti tai koko maantieteellisellä alueella. Toisaalta taajuuksien vapauttaminen

entisistä käyttötarkoituksista on erittäin vaikeaa, koska jotakin taajuutta ei voi koskaan vapauttaa; eikä niitä voida vapauttaa koko maassa. Joten käytettävissä olevan taajuuden tehokas käyttö on aina ratkaisevan tärkeää. (Rodriguez 2015, 10.)

Näin ollen on ehdotettu valtuutettua / lisensoitua jaettu käyttöoikeus (Authorized Shared Access, ASA / Licensed Shared Access, LSA) -mallia, jotta se voisi hyödyntää spektriä pienissä soluissa (rajoitetusti) häiritsemättä vakiintunutta käyttäjää (esim. Sotilastutkat). Tällainen taajuuksien jakomalli pystyy kompensoimaan erittäin hidasta taajuuksien vapautusprosessia. Lisäksi lisensoimattoman taajuusalueiden käyttöä ehdotettiin LTE-verkossa LTE-U nimellä ja sitä pidetään yhdeksi 5G-verkon avainominaisuudeksi. (Huawei 2013.)

Lisensoimattoman taajuusalueiden käytön ongelmana on se, että ne voivat olla samanaikaisesti käytössä muiden tekniikoiden kanssa, kuten WiFi, jne., ja tämä aiheuttaisi suuria häiriöitä. Tämän ratkaisemiseksi alle 6 GHz taajuuksille on ehdotettu lisensoitua käyttöoikeutta LAA (engl. Licensed Assisted Access), jossa ennen lähetystä kuunnellaan, onko kanava vapaana. Millimetriaallon tapauksessa ehdotetaan useita jakamismekanismeja mukaan lukien hajautettu ja itse organisoituva mekanismi keilan koordinointiin ja taajuuksien yhdistämiseen perustuvia mekanismeja. (Huawei 2013.)

### **5.1.3 Millimetriaaltojärjestelmä**

Millimetriaalto (engl. Millimeter Wave, mmWave) viittaa radiotaajuuteen 24 GHz:n ja 100 GHz:n välillä. Tämä taajuusalue on melko käyttämätöntä, joten siitä voidaan varata useita kaistoja ja kaistanleveydet voivat olla suuria, mahdollisesti 1 - 2 GHz. Pelkkä mmWave-taajuusalue 20 ~ 50 GHz sisältää 10 kertaa enemmän käytettävissä olevaa kaistanleveyttä kuin koko 4G-solukkokaista. (Samsung(a) n.d; Samsung(b) n.d.)

Kuten mainittiin aikaisemmin, korkeat taajuudet tuovat mukaan kuuluvuusongelman. Tämän lisäksi se aiheuttaa uusia vaatimuksia laitteiden kehitykselle, jossa parhaillaan on käytössä noin 2 GHz:n taajuudet ja 10-20 MHz:n kaistanleveydet,

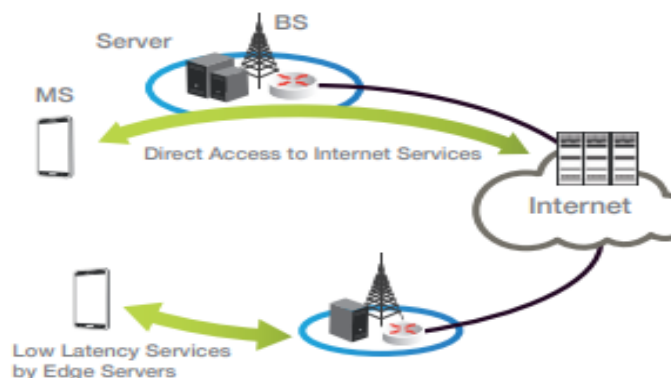
ja myös sitä, miten järjestelmää käytetään johtuen siitä, että nämä taajuuudet eivät kulje niin pitkälle. (Android Authority 2019b.)

## 5.2 Edistynyt verkko

### 5.2.1 Kerrostamaton verkko

5G:n keskeisten vaatimuksien täyttämiseksi radioliityntätason tekniikoita pitäisi täydentää järjestelmän arkkitehtuurin tason kehityksellä verkon näkökulmasta. Tämän takia uuden 5G-verkon tulee kehittyä kohti hajautettua ja kerrostamatonta verkkoarkkitehtuuria uusien 5G-radioteknologioiden aiheuttaman lisääntyneen datanopeuden tukemiseksi. (Samsung(b) n.d.)

Kerrostamattoman verkon arkkitehtuuri vähentää verkkokerrosten määrä kolmesta (LTE-verkossa) yhteen 70 %:ssa käyttötapauksista ja kahteen 30 prosentissa. Tavoitteena on vähentää latenssia ja parantaa turvallisuutta. 5G:n kerrostamattomassa verkkoarkkitehtuurissa liikkuvuuden hallinta hajautetaan (kuvio 12). (Samsung(b) n.d.; What is the flat ...)



KUVIO 12. 5G:n kerrostamaton verkkoarkkitehtuuri (Samsung(b) n.d.).

Tässä hajautetun liikkuvuuden hallinnan lähestymistavassa on useita etuja tehokkuuden ja dynaamisen skaalautuvuuden kannalta:

- Mobiilipäätteen ja Internetin välisen lyhyimmän tietopolun jatkuva järjestäminen ilman, että se kulkee runkoverkkoon, johtaa merkittävään tiedonsiirron latenssin vähenemiseen.



- Erittäin skaalautuva järjestelmä verrattuna keskitettyyn arkkitehtuuriin, jossa yhden runkoverkon yhdyskäytävän kautta kulkee koko liikenne.
- Yhden tiedonsiirtoreitin katkeaminen tai estyminen ei vaikuta juurikaan järjestelmän toimintaan litteän verkkoarkkitehtuurin ansiosta. Eli yhteyksistä tulee luotettavampia. (Samsung(b) n.d.)

### 5.3 Kanavavarausmenetelmät

Monet kanavavarausmenetelmät ovat ehdotettu 5G-monikäyttötekniikoina ja niihin sisältyy erilaisia ideoita. Käytettävä menetelmä tai menetelmät valitaan parhaillaan käynnissä olevan standardointiprosessin tuloksena. Niistä voidaan mainita:

- OFDMA (Orthogonal frequency division multiple access), joka on käytetty laajalti ja erittäin onnistuneesti 4G:ssa ja sitä voidaan käyttää 5G-monikäyttötekniikkana. OFDMA:ssa hyödynnetään keskenään ortogonaalisia apukantoaaltoja.
- SCMA (Sparse Code Multiple Access) on toinen ajatus, jota pidetään 5G-monikäyttötekniikkana ja se on tosiasiallisesti OFDMA:n ja CDMA (Code-Division Multiple Access):n yhdistelmä. Normaalisti OFDMA:lla kantaalto tai kantaallot allokoidaan tietylle käyttäjälle. Kuitenkin, jos jokaisella kantaallolla on lisätty hajotuskoodi, se voisi lähettää tietoja useille käyttäjille tai useilta käyttäjiltä ja tällä tavoin voidaan lisätä huomattavia määriä käyttäjiä samalla kun säilytetään spektritehokkuus.
- NOMA (Non-Orthogonal Multiple Access) on yksi tekniikoista, joita pidetään 5G-monikäyttötekniikkana. Toisin kuin OFDMA:ssa, jossa jokaiselle käyttäjälle allokoidaan tiettyjä apukantoaaltoja, NOMA:ssa jokaiselle käyttäjälle allokoidaan tietty tehoarvo ja jokainen käyttäjä voi käyttää kaikkia apukantoaaltoja. (Electronics notes(b) n.d.)

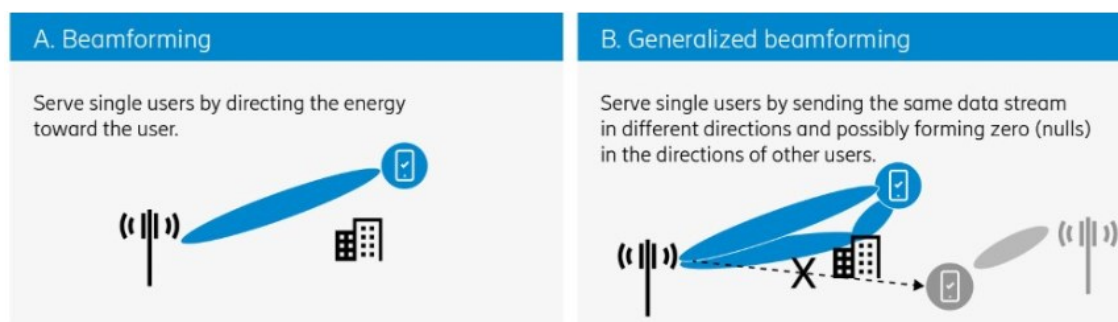
## 5.4 Antennitekniikat

Viimeaikaiset teknologiat ovat tehneet kehittyneitä antennijärjestelmiä (Advanced Antenna System, AAS) käyttökelpoiseksi vaihtoehdoksi olemassa oleviin 4G- ja tuleviin 5G-matkaviestinverkoihin. AAS mahdollistaa keilanmuodostustekniikan (engl. Beamforming) ja MIMO (Multiple-Input and Multiple-Output) -tekniikan, joka on tehokas työkalu loppukäyttäjän kokemuksen, kapasiteetin ja kattavuuden parantamiseksi. Tämän seurauksena AAS parantaa merkittävästi verkon suorituskykyä sekä uplink-suunnissa että downlink-suunnissa. (Ericsson n.d.; Mundy & Thomas n.d.)

### 5.4.1 Keilanmuodostustekniikka

Nykyiset matkaviestinantennit, joita käytetään 4G LTE-verkossa, säteilevät kaikkiin suuntiin. Tämä toimii tällä hetkellä hyväksyttävällä tavalla, mutta laiteiden määrän kasvaessa eksponentiaalisesti, näiden antennien täytyy lähettää enemmän signaaleja, mikä hidastaisi vastaanottoa ja lisäisi häiriöiden mahdollisuutta. Tämä ongelma ratkaistaan 5G-verkossa keilanmuodostustekniikalla. (Inverse n.d.)

Lähetettäessä keilanmuodostus on kyky suunnata säteilykeila tiettyyn vastaanottimeen, kuten kuviossa 13 on esitetty. Samoin vastaanotossa, keilanmuodostus on kyky kerätä signaalienergia tietystä lähettimestä. Säättämällä lähetettyjen signaalien vaihetta ja amplitudia voidaan signaali suunnata haluttuun suuntaan. AAS:n muodostamat keilat mukautetaan jatkuvasti ympäristöön sekä uplink-suunnassa että downlink-suunnassa. (Electronics notes(b); Ericsson n.d.)



KUVIO 13. Keilanmuodostus (Ericsson n.d.).

## 5.4.2 Advanced MIMO -tekniikka

MIMO-antennitekniikassa käytetään useita antennia lähetykseen ja vastaanottoon samanaikaisesti samalla radiokanavalla spektrin käyttötehokkuuden lisäämiseksi. Tämä tekniikka on jo käytössä useissa WIFI- ja 4G-verkoissa. Ylensä MIMO-verkot käyttävät kahta tai neljää antennia. 5G-verkkoon on ehdotettu Advanced MIMO -tekniikaksi massiivinen MIMO, jossa käytetään kymmeniä tai jopa satoja antennia. (Mundy & Thomas n.d.)

Massiivisen MIMO -tekniikan etuna on sen kyky palvella useita käyttäjiä ja laitteita samanaikaisesti säilyttäen korkeat datanopeudet, linkin luotettavuus ja on paljon vastustuskykyisempi häiriölle kuin nykyiset järjestelmät. Näillä ominaisuuksilla se vastaa tulevan 5G-verkon tarpeisiin, kuten valtavan datamäärän käsittelyyn. (Mundy & Thomas n.d.)

Nykyiset matkaviestinverkot jakavat yhden taajuusalueen kaikkien läheisten käyttäjien kesken, mikä johtaa suorituskyvyn pullonkaulaan tiheästi asutulla alueella. Tämä ratkaistaan 5G-verkossa hyödyntämällä keilanmuodostustekniikka massiivisissa MIMO-verkoissa, mahdollistamaan paljon älykkäämmin ja tehokkaammin prosessien käsittely, joten datanopeudet ja viiveet ovat paljon yhdenmukaisempia verkossa. (Mundy & Thomas n.d.)

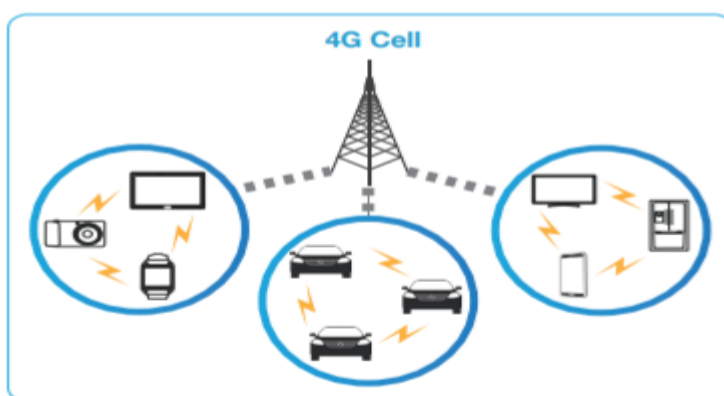
## 5.5 Parannettu laitteiden välinen kommunikointi

Parannettu laitteiden välinen kommunikointi (eng. Advanced D2D) on tekniikka, joka parantaa spektritehokkuutta ja vähentää 5G:n kokonaisviivettä. D2D -kommunikointia hyödynnetään 5G-verkossa vähentämään verkon signalointia ja tietoliikennekuormaa, koska D2D-laitteet voivat kommunikoida suoraan toistensa kanssa lähes kokonaan matkapuhelinverkosta riippumattomasti. (Samsung 2015.)

Advanced D2D -kommunikointi on ehdotettu käytettäväksi ajoneuvosta kaikkeen V2X-kommunikaatioon (Vehicle-to-Anything). Tässä kommunikoinnissa yhtä ra-

diuresurssia voidaan käyttää useiden ryhmien kesken, jotka haluavat kommunikoida keskenään. Edellytyksenä tähän on, että ryhmien väliset häiriöt ovat siedettäviä. Näin ollen spektritehokkuus parantuu ja samanaikaisten yhteyksien määrä lisääntyy. (Samsung 2015.)

Lisäksi kokonaisviive pienenee, koska data ei mene runkoverkon läpi. Näin advanced D2D -kommunikointi vastaa hyvin IoT-palvelujen tarpeisiin (kuvio 14). (Samsung 2015.)



KUVIO 14. Advanced D2D -kommunikointi (Samsung 2015).

## 5.6 Piensolu

Koska verkon tihentäminen on välttämätöntä vaaditun tiedon tarjoamiseksi, ehdotetaan pienempien solujen käyttöä 5G-verkossa. Pieni soluverkko on ryhmä pienitehoisia lähettäviä tukiasemia, jotka käyttävät millimetriaaltoja yleisen verkon kapasiteetin, tiheyden ja kattavuuden parantamiseksi. 5G-piensoluihin verkko toimii koordinoimalla joukon pieniä soluja jakamaan kuorman ja vähentämään fyysisten esteiden vaikutuksia, joilla on suurempi merkitys millimetriaalloilla. (Electronics notes(d) n.d.)

Piensolut jaetaan kolmeen pääluokkaan peittoalueen ja niiden tukeman käyttäjien lukumäärän perusteella:

- Femtosolu, jolla on 10-50 metrin peittoalue ja 8-16 käyttäjää.
- Pikosolu, jolla on 100-250 metrin peittoalue ja 32-64 käyttäjää.
- Mikrosolu, jolla on 500-2500 metrin peittoalue ja 250 käyttäjää.

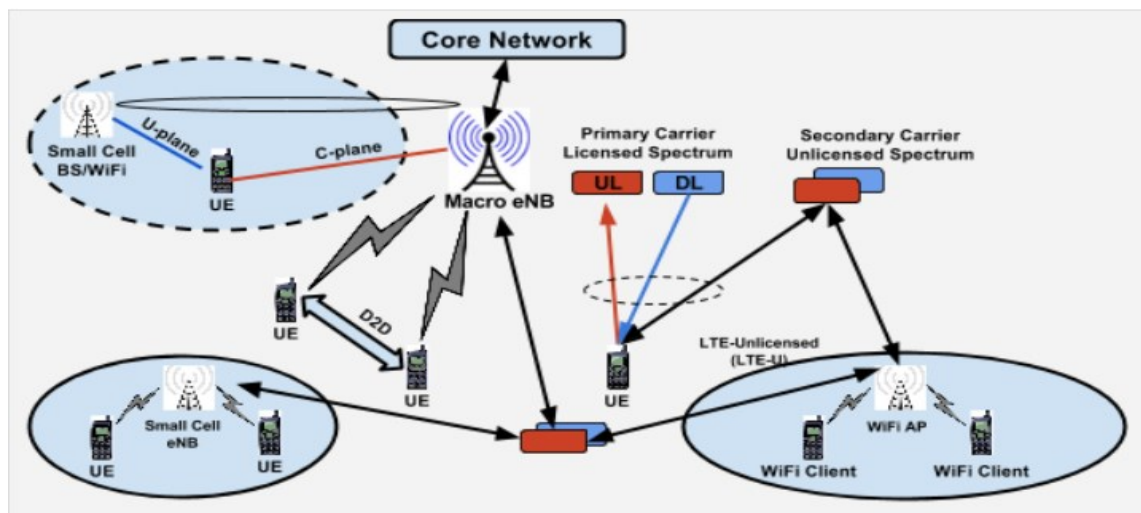
Piensolussa hyödynnetään aiemmin mainittuja tekniikoita, kuten massiivista MIMO:a, keilanmuodostustekniikkaa ja millimetriaaltojärjestelmää sen suorituskyvyn parantamiseksi. Pienet tukiasemat voidaan kiinnittää seinään sisätiläkäyttöä varten ja pieniin mastoihin tai valaisinpylväisiin ulkokäyttöön. Runkoliitännät voidaan toteuttaa kuituyhteydellä tai muilla langallisilla yhteyksillä ja radioyhteyksillä. (RF Page(b) n.d; Nutaq n.d & Electronics notes(d) n.d.)

## 5.7 Heterogeeninen verkko

Yksi lupaava ratkaisu verkon kapasiteetin nostamiseen on erittäin tiheä solujen sijoittelu. Tätä ratkaisua kutsutaan usein heterogeeniseksi verkoksi (HetNet), jossa eri kokoiset solut toimivat samanaikaisesti (kuvio 15). Yleisesti on kaksi tapaa toteuttaa heterogeenista verkkoa:

- Monitasoinen-HetNet (eng. multitier HetNet), jossa katetaan verkon alue pienemmillä samaa teknologiaa käyttävillä soluilla kuten micro-, pico- tai femtosoluilla.
- Moniradiotekniikka-HetNet (eng. multi-RAT HetNet), jossa katetaan verkon alue piensoluilla, jotka käyttävät eri radioliityntäteknologioita (esim. HSPA, LTE, WiFi jne)

Piensoluja lisäämällä voidaan nostaa verkon kapasiteettia lähes lineaarisesti. Solujen koon pienentäminen kuitenkin nostaa solujen välistä häiriötä ja tuo siten uusia haasteita verkon toteuttamiseen. (Rodriguez 2015, 65,70; Openairinterface.)



KUVIO 15. Heterogeeninen verkko (Openairinterface).

## 5.8 Itse organisoituva verkko

Piensolujen määrän kasvusta johtuen itseorganisoituva verkko (engl. Self-Organising Network, SON) on avaintekniikka 5G-verkossa. Lähes 80% langattomasta liikenteestä syntyy sisätiloissa ja tarvitaan erittäin tiheä pienikokoisten solujen verkko tämän valtavan liikenteen kuljettamiseksi. Nämä piensolut ovat käyttäjien hallitsemia. (Rodriguez 2015, 8.)

Näiden sisätilojen piensolujen täytyy olla itse konfiguroitavissa ja niillä on oltava SON-valmiudet sopeutua älykkäästi naapurin piensoluihin häiriöiden minimoimiseksi. Piensolu voi esimerkiksi toteuttaa tätä synkronoimalla itsenäisesti verkon kanssa ja säätämällä taitavasti sen radiokattavuutta. (Rodriguez 2015, 8.)

Lisäksi, 5G-verkolle suunnitellaan kognitiivinen SON (cognitive Self-Organising Network, CSON), jolla saavutetaan itsensä organisoivat valmiudet verkkoinfrastruktuurien hallintaan tunnistamalla ja vähentämällä automaattisesti yleisiä verkko-ongelmia, joita verkko-operaattorit käsittelevät vielä käsin. Tämä vähentää merkittävästi toimintakustannuksia ja parantaa käyttäjäkokemusta. (University of Jyväskylä 2018.)

CSON-ratkaisussa keskitytään keskeisiin hallintatehtäviin, kuten automaattinen verkonvalvonta, jossa ylläpidetään tarkkaa tietoa verkon todellisesta tilasta, automaattisen verkon vikojen vianmääritys ja ylläpito mahdollistamalla autonomisia korjaavia ja ehkäiseviä toimia olemassa olevien tai mahdollisten verkko-ongelmien torjumiseksi ja verkon automaattista suojausta. CSON suunnitellaan käytettäväksi tärkeimpien verkonhallintaongelmien ratkaisemiseen, mukaan lukien:

- Itsesuojaus tietoverkkohyökkäyksiä vastaan
- Itsepalautus viasta
- Itseoptimointi suorituskyvyn parantamiseksi. (University of Jyväskylä 2018.)

## 6 5G-JÄRJESTELMÄN ARKKITEHTUURIT

5G-järjestelmän tavoitteena on vastata mahdollisimman laajaan valikoimaan palveluita ja sovelluksia. Vastatessaan näiden palveluiden ja sovellusten vaatimukseen 5G-järjestelmän tavoitteena on tarjota joustava alusta, joka mahdollistaa uusien liiketoimintatapojen ja mallien yhdistämisen autoteollisuuteen, energiateollisuuteen, sähköiseen terveydenhuoltoon ja viihteeseen.

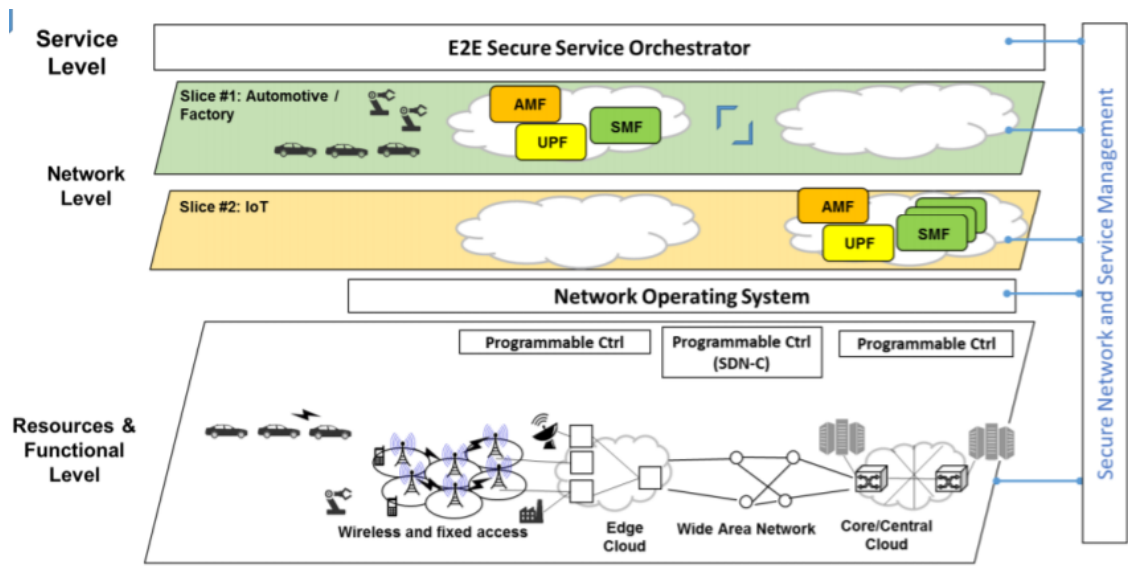
Tämän tavoitteen saavuttamiseksi ehdotetut arkkitehtuurit on otettava huomioon kaikki 5G-järjestelmän osien arkkitehtuurien suunniteluun loppupään näkökulmasta, joka ulottuu eri teknologia-alueille (esim. runko-, kuljetus- ja liityntäverkot) ja hallinnollisiin verkkotoimintoihin, mukaan lukien hallintaan. Lisäksi turvallisuus-arkkitehtuuri on integroitava luonnollisesti yleiseen arkkitehtuuriin. (5GPPP, 2018.)

Tässä kappaleessa käsitellään yleisesti 5G-järjestelmälle ehdotetut arkkitehtuurit, mukaan lukien yleinen (engl. End-To-End, E2E) arkkitehtuuri, radioliityntäverkko arkkitehtuuri (engl. Cloud Radio Access Network, C-RAN) ja viimeisenä käsitellään verkon viipalointi.

### 6.1 E2E-arkkitehtuuri

Perinteisesti matkaviestinverkon toiminnallinen arkkitehtuuri on jaettu kahteen pääkomponenttiin: radioliityntäverkko (Radio Access Network, RAN) ja runkoverkko (Core Network, CN). Koska joitakin verkon laitteita voidaan korvata ohjelmistoilla, näiden kahden komponenttien raja ei ole välttämättä yhtä tarkkaa 5G:ssä kuin aiempien sukupolvien verkoissa. Tämä tarjoaa etuja aiemmin mainittujen uusien tekniikoiden käyttöönoton yhteydessä, mutta tuo myös uusia haasteita käsiteltäväksi uudella E2E-arkkitehtuurilla ja moduuleilla, jotka tarjoavat näitä toimintoja. (Marsch, Bulakçi, Queseth & Boldi 2018, 88-89.)

Kuviossa 16 on esitetty kolmesta kerroksesta koostuvaa 5G:n yleistä arkkitehtuuria. Kerrokset ovat resurssien ja toimintojen kerros, verkkokerros ja palvelukerros. Näiden tasojen lisäksi on E2E-hallintayksikkö.



KUVIO 16. 5G:n yleinen arkkitehtuuri (Marsch, Bulakçi, Queseth & Boldi 2018, 89).

Resurssien ja toimintojen kerros koostuu kiinteän ja liikkuvan verkon fyysisistä resursseista, mukaan lukien 5G-laitteita, liittymäsolmuja, pilvisolmuja resurssien käsittelyä ja tallentamista varten, verkkokeskukset ja niihin liittyvät linkit. Hallintayksikkö on liitetty tähän kerrokseen asianomaisten tukiasemien kautta.

Verkkokerros on arkisto kaikista toiminnoista, joita tarvitaan konvergoituneessa verkossa modulaarisen arkkitehtuurin rakennuspalikoina. Ne ovat toteutettu ohjelmistomoduuleilla, jotka voidaan hakea arkistosta haluttuun paikkaan, ja tiettyjen määrittämissparametrien määrittelyä tietyille verkon osille. Niitä kutsutaan orkestrointiyksikön pyynnöstä asianomaisen yhteysosoitteen kautta. (Xiang, Zheng & Shen 2016,459-460.)

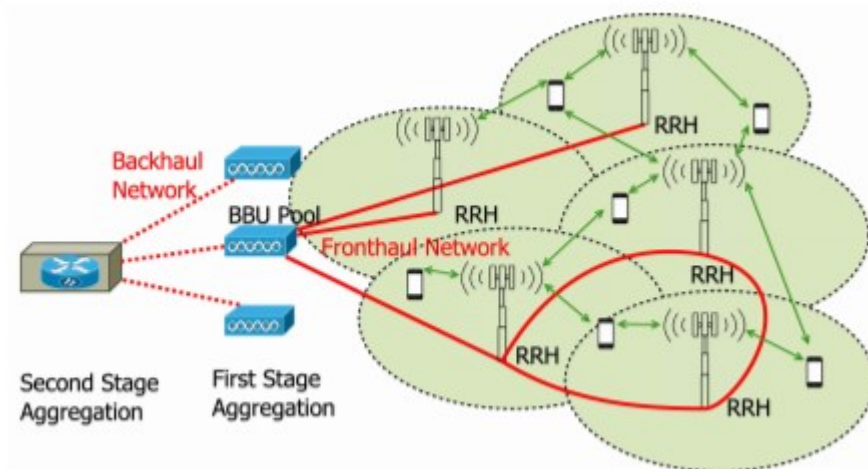
Palvelukerros sisältää operaattorin, yrityksen tai kolmansien osapuolten erityisiä sovelluksia ja palveluja. Liitäntä hallintayksikköön sallii esimerkiksi rakentaa omistettujen viipaleiden rakentaminen sovellukselle tai sovelluksen olemassa oleviin verkkoviipaleihin kartoittamista.



## 6.2 C-RAN-arkkitehtuuri

C-RAN on verkkoarkkitehtuuri, jossa kantataajuusresurssit liitetään yhteen muodostamaan poolin, jotta ne voitaisiin hallita ja allokoida dynaamisesti kysynnällä tukiasemille. Sen ehdotuksen motivaatio perustuu käytännön tarpeista verkon käyttöönotossa, kuten erillistä kiinteistöä jokaisen tukiaseman sijainnissa ja siihen liittyviä toiminteet. Tämä käyttöönottomenetelmät ovat yhä vaikeampia käytävissä olevien kiinteistöjen vähentyessä ja vuokratukustannuksien kasvaessa. (Xiang, Zheng & Shen 2016, 432.)

Tämän seurauksena C-RAN on tullut olennainen osa tulevista 5G-järjestelmästä, jossa tukiasemat (Base Station, BS) tai kantataajuusyksiköt keskitetään yhteen paikkaan. Keskitämisen lisäksi C-RAN:n on tarkoitus mukauttamaan ja helpottamaan useita 5G-tekniikoita, kuten suuren mittakaavan antennijärjestelmiä (Large Scale Antenna System, LSAS). Kuvio 17 esittää C-RAN- arkkitehtuuria, joka koostuu kolmesta osasta.



KUVIO 17. 5G:n C-RAN-arkkitehtuuri (Jayasundara, Lim, Ranaweera & Wong).

- BBU (Base-band unit), joka toteutetaan ohjelmistona mahdollistamaan käsittelyresurssien ja -ominaisuuksien jakamista dynaamisesti ja ne voidaan konfiguroida uudelleen reaaliaikaisten olosuhteiden (esim. liikenteen tila) perusteella.

- RRH (Remote Radio Head) -verkko on tukiasema-arkkitehtuuri, jossa tukiasema jaetaan erilliseen signaalinprosessointiyksikköön sekä radioyksikköön. RRH:t tarjoavat langattoman signaalin peittoalusta sama kuin perinteisissä järjestelmissä.
- Kuljetusverkko tarjoaa yhteyttä BBU:n välillä poolissa. Sitä voidaan toteuttaa joko kuituyhteyksillä tai radioyhteyksillä. (Jayasundara, Lim, Ranaweera & Wong; Xiang, Zheng & Shen. 2016, 432.)

### 6.3 Viipaleverkko

Nykyisillä järjestelmillä on ominaista monoliittiset verkkoelementit, joilla on tiukasti kytketty laitteisto, ohjelmisto ja toiminnallisuus. Niissä on useita tietoliikennepalveluja samassa matkaviestinverkon arkkitehtuurissa, kuten tekstiviesti, ääni, mobiililaajakaista, jne. Tulevien 5g-verkkojen tulisi myös tukea yhteisiä loogisia arkkitehtuureja, jotka ovat räätälöity vastaaviin palveluihin. Jotta tämä olisi mahdollista, tulevaisuuden arkkitehtuuri tulisi hyödyntää ohjelmistopohjaisten verkkotoimintojen irrottamista taustalla olevista infrastruktuuriresursseista hyödyntämällä erilaisia resurssien abstraktioteknologioita. (Marsch, Bulakçi, Queseth & Boldi 2018, 82-83.)

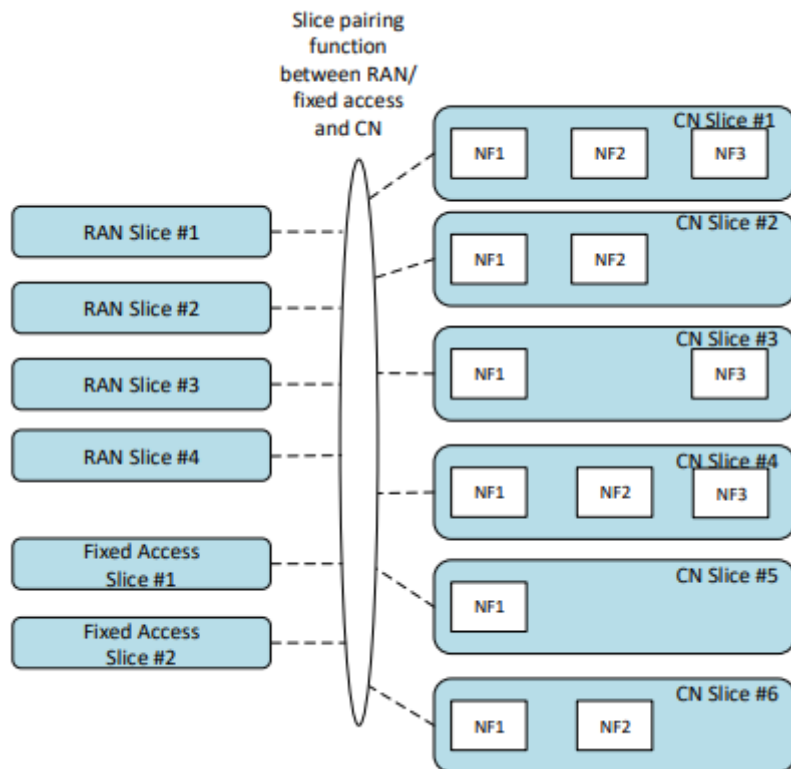
Tämä toteutetaan verkon viipaloinnin avulla, jossa voidaan määrittää verkon tyyppi, jota yksittäinen käyttäjä tarvitsee sovelluksessaan. Tällä tavoin sama laitteisto, joka käyttää eri ohjelmistoja, voi tarjota pieniviiveistä palvelua yhdelle käyttäjälle samalla kun se tarjoaa puheviestintää toiselle. Muut käyttäjät saattavat haluta muun tyyppisiä verkon suorituskykyä, ja jokaisella voi olla verkon viipale (Eng. Network slice) tarvittavalla suorituskyvyllä. (5G Americas 2016; Kavanagh(c) n.d.)

Verkon viipalointi mahdollistaa kaksi edistyneen verkon tekniikkaa:

- SDN (Software-Defined Network): tällä tekniikalla verkkotoimintoja suoritetaan ohjelmistoja käyttäen laitteiston sijaan parantamaan joustavuutta ja tehokkuutta.

- Verkkotoimintojen virtualisointi (Network Function Virtualization, NFV), jossa verkkolaitteiden toiminnot toteutetaan standardipalvelimilla ajettavina virtuaalikoneina. (Electronics Notes(c) n.d; Kavanagh(d) n.d.)

Verkon viipaloinnin arkkitehtuuri sisältää kolme osaa, kuten näkyy kuviossa 18. Radioliityntäverkon (RAN Slice) ja kiinteäliitynnän viipale (Fixed Access Slice), runkoverkon viipale (CN Slice) sekä valintatoiminto, joka yhdistää molempien liityntäverkkojen viipaleet runkoverkon viipaleeseen.



KUVIO 18. Verkon viipaloinnin arkkitehtuuri (5G Americas 2016).

## 7 POHDINTA

Solukoverkkotekniikan kehitystä tutkittaessa voi huomata, että jokaisen sukupolven matkapuhelinverkossa on haluttu suurempi datan siirtonopeus, kapasiteetti, laajempi kattavuus, luotettavuus ja lyhyempää viivettä. 5G-verkkotekniikan kehitys ei poikkea siitä. Sen lisäksi 5G-teknologia on kehitetty vastaamaan erityisten käyttösovellusten, esineiden internetin ja mobiiliverkkojen kautta kulkevan liikenteen määrän kasvun tarpeeseen. 5G-tavoitteisiin pääsyyn suunniteltiin uuden radiotekniikan lisäksi uusia tekniikoita vastamaan erilaisiin haasteisiin.

Alkuvaiheessa 5G-radiotekniikka otetaan käyttöön 4G Advanced LTE infrastruktuurien päälle alle 6 GHz taajuuksilla. Tämä on mahdollista ohjelmistopäivitettävien 4G LTE:n tukiasemien ansiosta. Niitä voidaan helposti päivittää 4G LTE:stä 5G NSA:ksi (Non standalone). Tätä pidetään 5G-kaupallistamisen ensimmäisenä vaiheena ja keskity parannettuun mobiililaajakaistaan suurempaa kaistanleveyttä ja luotettavaa liitettävyyttä tarjoamiseksi ja siitä riippuvien käyttötapauksen, kuten videon suoratoisto, laajennettu todellisuus, virtuaalitodellisuus ja muut käyttökokemuksen parantamiseksi.

Toisessa vaiheessa otetaan niin sanottu 5G:n standalone versio, jossa on oma infrastruktuuria ja yli millimetriaallon taajuuksien käyttöönotto (24-100 GHz). Se keskity 5G arkkitehtuurin käyttöönottoon, URLLC ja mMTC käyttötapausryhmiin ja niihin liittyviin käyttötapauksiin ja tekniikoihin, kuten verkon viipalointi, piensolu, kerrostamaton verkko, Advanced MIMO ja muut. Näiden käyttötapauksien spesifiikaatiot määritellään 3GPP:n julkaisu 17, joka saadaan valmiiksi syyskuussa 2021. Tämän seurauksena toinen vaihe otetaan syyskuu 2021 jälkeen ja tavoitteena on saada täysi itsenäinen 5G-verkko vuoden 2025 mennessä.

## LÄHTEET

5G Americas, 2016. Network Slicing for 5G Networks & Services. Luettu 30.06.2019. [https://www.5gamericas.org/wp-content/uploads/2019/07/5G\\_Americas\\_Network\\_Slicing\\_11.21\\_Final.pdf](https://www.5gamericas.org/wp-content/uploads/2019/07/5G_Americas_Network_Slicing_11.21_Final.pdf)

3GPP, 2015. Tentative 3GPP timeline for 5G. Luettu 08.05.2019. [https://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1674-timeline\\_5g](https://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1674-timeline_5g)

5GPPP, 2018. View on 5G architecture. Luettu 10.06.2019. <https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2018/01/5G-PPP-5G-Architecture-White-Paper-Jan-2018-v2.0.pdf>

Alexiou, A. 2017. 5G Wireless technologies. London: The Institution of Engineering and Technology.

Android Authority. 2017. How is 5G actually going to work? Luettu 12.05.2019. <https://www.androidauthority.com/5g-mobile-tech-explained-798540/>

Android Authority. 2019a. 5G mmWave: Facts and fictions you should definitely know. Luettu 12.05.2019. <https://www.androidauthority.com/what-is-5g-mmwave-933631/>

Android Authority. 2019b. What is 5G, and what can we expect from it? Luettu 02.04.2019. <https://www.androidauthority.com/what-is-5g-explained-944868/>

Carritech. The Evolution of Mobile Communications, from 1G to 5G. Luettu 06.05.2019. <http://www.carritech.com/news/evolution-mobile-communication-1g-5g/>

Cisco. 2019. Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2017–2022 White Paper. Luettu 20.02.2019. <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-738429.html>

Electronics notes(a). 5G mobile wireless technology. Luettu 08.02.2019. <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/5g-mobile-wireless-cellular/technology-basics.php>

Electronics notes(b). 5G Multiple Access Schemes. Luettu 20.05.2019. <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/5g-mobile-wireless-cellular/multiple-access-scheme.php>

Electronics notes(c). 5G NextGen NG core network basics. Luettu 20.06.2019. <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/5g-mobile-wireless-cellular/5g-ng-nextgen-core-network.php>

Electronics notes(d). 5G NR New Radio. Luettu 24.05.2019. <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/5g-mobile-wireless-cellular/5g-nr-new-radio.php>

Ericsson. Advanced antenna systems for 5G networks. Luettu 21.05.2019. <https://www.ericsson.com/en/white-papers/advanced-antenna-systems-for-5g-networks>

ETN. 2018. 5G-taajuudet jaettiin sopuisasti. Luettu 10.05.2019. <http://etn.fi/index.php/13-news/8513-5g-taajuudet-jaettiin-sopuisasti>

Global mobile Suppliers Association. 2015. The Road to 5G: Drivers, Applications, Requirements and Technical Development. Luettu 08.02.2019. [https://www.huawei.com/minisite/5g/img/GSA\\_the\\_Road\\_to\\_5G.pdf](https://www.huawei.com/minisite/5g/img/GSA_the_Road_to_5G.pdf)

Huawei, 2013. 5G: A Technology Vision. Luettu 08.05.2019. <https://www.huawei.com/5gwhitepaper/>

Huawei. Connecting cars on the road to 5G. Luettu 20.04.2019. <https://www-file.huawei.com/-/media/corporate/pdf/x-lab/17-huawei-whitepaper-connected-car-on-the-road-to-5g-v2.pdf?la=en>

Inverse. This 5G Feature Will Revolutionize Connectivity and How Much We Pay for It. Luettu 24.05.2019. <https://www.inverse.com/article/48250-5g-beamforming?refresh=48>

ITU. ITU towards "IMT for 2020 and beyond". Luettu 08.05.2019. <https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2020/Pages/default.aspx>

Jayasundara, C., Lim, C., Ranaweera, C. & Wong, E. 5G C-RAN Architecture: A Comparison of Multiple Optical Fronthaul Networks. Luettu 15.03.2020. <http://dl.ifip.org/db/conf/ondm/ondm2017/1570337472.pdf>

Kavanagh, S(a). 5G vs 4G: No Contest. Luettu 01.05.2019. <https://5g.co.uk/guides/4g-versus-5g-what-will-the-next-generation-bring/>

Kavanagh, S(b). What is enhanced Mobile Broadband (eMBB), Luettu 28.03.2019. <https://5g.co.uk/guides/what-is-enhanced-mobile-broadband-emb/>

Kavanagh, S(c). What is Network Slicing. Luettu 20.06.2019. <https://5g.co.uk/guides/what-is-network-slicing/>

Kavanagh, S(d). What is the flat distributed cloud (FDC). Luettu 20.05.2019. <https://5g.co.uk/guides/what-is-the-flat-distributed-cloud-fdc/>

Marsch, P., Bulakçı, Ö., Queseth, O. & Boldi, M. 2018. 5G System design. 1.painos. John Wiley and Sons Ltd.

Mundy, J. & Thomas, K. What is massive mimo technology. Luettu 21.05.2019. <https://5g.co.uk/guides/what-is-massive-mimo-technology/>

NGMN. 2015. NGMN 5G White paper. Luettu 08.03.2019. [https://www.ngmn.org/fileadmin/ngmn/content/images/news/ngmn\\_news/NGMN\\_5G\\_White\\_Paper\\_V1\\_0.pdf](https://www.ngmn.org/fileadmin/ngmn/content/images/news/ngmn_news/NGMN_5G_White_Paper_V1_0.pdf)

Nutaq. Using millimeter wave spectrum for 5G telecommunications: A dream or a future reality? Luettu 05.06.2019. <https://www.nutaq.com/blog/using-millimeter-wave-spectrum-5g-telecommunications-dream-or-future-reality>

Openairinterface. Heterogeneous 5G Networks Small Cells. Luettu 06.06.2019. [https://www.openairinterface.org/?page\\_id=458](https://www.openairinterface.org/?page_id=458)

RF Page(a). Evolution of wireless technologies 1G to 5G in mobile communication. Luettu 06.05.2019. <https://www.rfpage.com/evolution-of-wireless-technologies-1g-to-5g-in-mobile-communication/>

RF Page(b). What are small cells in 5G technology. Luettu 05.06.2019. <https://www.rfpage.com/what-are-small-cells-in-5g-technology/>

Rodriguez, J. 2015. Fundamentals of 5G Mobile Networks. John Wiley & Sons, Inc.

Samsung(a). 5G Requirements. Luettu 01.04.2019. <https://developer.samsung.com/tech-insights/5G/5g-requirements>

Samsung(b). 5G Key Enabling Technologies. Luettu 12.05.2019. <https://developer.samsung.com/tech-insights/5G/5g-key-enabling-technologies>

Samsung. 2015. 5G vision. Luettu 03.06.2019. <https://images.samsung.com/is/content/samsung/p5/global/business/networks/insights/white-paper/5g-vision/global-networks-insight-samsung-5g-vision-2.pdf>

Statitista. 2019. Internet of Things (IoT) connected devices installed base worldwide from 2015 to 2025 (in billions). Luettu 28.03.2019. <https://www.statista.com/statistics/471264/iot-number-of-connected-devices-worldwide/>

Sudhir, S., 2013. IMT-Advanced Requirements for 4G Technology and its Components. Luettu 03.04.2019. <https://pdfs.semanticscholar.org/7e59/6c66f8e18317efe5872bdfa014b62e904e1b.pdf>

University of Jyväskylä, 2018. Cognitive Self-organizing Networks (CSON) for 5G. Luettu 07.06.2019. <https://www.jyu.fi/it/en/research/research-projects/business-finland/5g-cson>

Wray, S., 5G in the Smart City. Luettu 19.04.2019. <https://5g.co.uk/guides/5g-smart-city/>

Xiang, W., Zheng, K. & Shen, X. 2016. 5G mobile Communications. Springer.