



OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# PRIVATE LTE/5G KÄYTTÖÖNOTON KARTOITTAMINEN SAVON VOIMALLE

TEKIJÄ: Lauri Künnap

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Tietotekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Lauri Künnäp	
Työn nimi Private LTE/5G käyttöönoton kartoittaminen Savon Voimalle	
Päiväys 11.6.2021	Sivumäärä/Liitteet 21
Ohjaaja(t) Veijo Pitkänen ja Pasi Liimatainen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Savon Voima Oyj	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyöni oli tutkimuksellinen kehittämistyö, jossa selvitettiin Private LTE -ja 5G-tekniikoiden soveltuvuutta Savon Voiman käyttöön. Savon Voima halusi kartoittaa kyseisten teknologioiden tuomia etuja ja rajoituksia, jotta tulevaisuudessa olisi helpompi valita mihin suuntaan mobiiliratkaisuja halutaan viedä. Tavoitteena olisi yksityinen, toimintavarma ja mahdollisimman viiveetön mobiiliverkko, joka toimisi myös haastavissa olosuhteissa.</p> <p>Tarkoituksena oli myös pilotoida 5G-tekniikkaa Savonian kanssa, koska heillä oli tulossa NSA-arkkitehtuurin mukaiset laitteet vuoden 2021 alussa. Kuitenkin tarpeemme 5G verkolle erosivat liikaa, joten käytännön osuus siirtyi radiolaskennaksi, joka toteutettiin NDC Networksillä kanssa Cellular Expert nimisellä ohjelmistolla.</p> <p>Radiolaskennat osoittivat, että 2,3 GHz taajuus ei riitä kattamaan taajaman ulkopuolella olevia kohteita, mutta WIMAX-yhteyksien korvaaminen olisi mahdollista.</p>	
<p>Avainsanat</p> <p>Yksityiset mobiiliverkot, 5G</p>	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Information Technology			
Author(s) Lauri Künnap			
Title of Thesis Map out the need of Private LTE/5G network for Savon Voima			
Date	11 June 2021	Pages/Appendices	21
Supervisor(s) Veijo Pitkänen and Pasi Liimatainen			
Client Organisation /Partners Savon Voima			
<p>Abstract</p> <p>The objective of this thesis was to find out the suitability of Private LTE and 5G technologies for Savon Voima. Savon Voima wanted to map out the benefits and limitations that these technologies could bring to their infrastructure. This thesis will probably work as a reference for future mobile technology investments. The goal was to have a private, secure, low latency mobile network that could also function in challenging environments.</p> <p>The intent was to pilot 5G technology with Savonia university of applied sciences. They had a non-standalone 5G network in development, but it was not exactly what Savon Voima needed for the future. That was why we opted to work with NDC Networks and did the mobile radio calculations with a software called Cellular Expert.</p> <p>The mobile radio calculations proved that 2,3 GHz frequency is not enough to cover regions outside urban areas but replacing WiMAX connections could still be possible.</p>			
<p>Keywords</p> <p>Private networks, 5G</p>			

## ESIPUHE

Kiitos Savon Voiman ICT-tiimille mielenkiintoisesta opinnäytetyön aiheesta sekä tuesta ja avustuksesta opintojeni edistämiseksi. Mukava oli saada lämmin vastaanotto organisaatioon ja se entisestään motivoi minua tekemään opinnäytetyöstäni laadukkaan ja monipuolisen. Savon Voiman johtavalle asiantuntijalle Janne Pollarille erityiskiitokset opinnäytetyöni valvomisesta.

Kiitokset myös Savonian DigiCenterin Aki Happoselle ja Asko Nykäselle sekä NDC Networksin Markus Ahoselle ja Kimmo Lehtosaarelle. Hienoa oli imeä oppia alan ammattilaisilta entuudestaan minulle tuntemattomasta teknologiasta sekä radiotekniikasta.

Kuopiossa 11.6.2021

Lauri Künnap

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	7
1.1	Savon Voima yrityksenä .....	7
1.2	Verkkoyhtiön ja etähallinnan merkitys.....	7
1.3	Opinnäytetyön tavoite.....	8
2	VERKKOJEN ARKKITEHTUURIT .....	8
2.1	Long Term Evolution .....	8
2.2	Non-Standalone 5G .....	10
2.3	Standalone 5G .....	12
3	TAAJUUSALUEET .....	14
3.1	Yleistä taajuuksista.....	14
3.2	Matalat taajuudet.....	15
3.3	Keskitaajuudet .....	16
3.4	Korkeat taajuudet.....	18
4	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	19
5	LÄHDELUETTELO.....	20

## LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT

LTE (4G)	Long Term Evolution, neljännen sukupolven langaton tiedonsiirtotekniikka.
Private LTE	Paikallinen ja yksityinen mobiiliverkko LTE-teknologialla toteutettuna.
5G	Viidennen sukupolven langaton tiedonsiirtotekniikka.
NSA	Non-Standalone, 5G verkon arkkitehtuuri, joka tukeutuu vielä verkon ohjauksessa 4G-teknologiaan.
SA	Standalone, 5G verkon arkkitehtuuri, joka on täysin itsenäinen ja pilvipohjainen.
Hz	Yksi hertsi tarkoittaa taajuutta, jossa värähdysjaksot toistuvat sekunnin välein.
MHz	Megahertsi eli miljoona hertsiä. Käytetään matalissa radiotaajuuksissa.
GHz	Gigahertsi eli miljardi hertsiä. Käytetään keski -ja korkeataajuuksisissa laitteissa.
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access. Vanhentunut langaton tiedonsiirto- tekniikka, jonka LTE on suurimmaksi osaksi korvannut.
UE	User Equipment. Päätelaitteita eli esimerkiksi puhelimia.
BS	Base Station eli tukiasema, joka ottaa yhteyden radioaalloilla päätelaitteisiin.
EPC	Evolved Packet Core. LTE-teknologiassa käytettävä verkon ydin.
3GPP	3rd Generation Partnership Project. Koostuu seitsemästä telekommunikoinnin standardoivasta orga- nisaatiosta. Luonut standardit LTE -ja 5G-teknologioille.
S-GW	Serving Gateway.
P-GW	Packet Data Network Gateway.
MME	Mobility Management Entity.
HSS	Home Subscriber Server.
E-UTRAN	Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network.
eNB	Evolved Node B tai E-UTRAN Node B. Voidaan lyhentää myös eNodeB. Tukiasema E-UTRAN-arkki- tehtuurin mukaisessa mobiiliverkossa.
UMTS (3G)	Universal Mobile Communications System. Kolmannen sukupolven matkapuhelinteknologia.
GSM (2G)	Groupe Spécial Mobile. Toisen sukupolven matkapuhelinverkko.
NR	New Radio, 5G radiotekniikan yleisnimi.
gNB	The Next Generation Node B. Tukiasema New Radio mobiiliverkossa.
MIMO	Multiple-input and multiple-output. Teknologia, jossa käytetään useita lähetäviä ja vastaanottavia antenneja, jolloin voidaan hyödyntää useampia signaaleja tiedonsiirtoon.
5GC	5G Core. 5G-teknologiassa käytetty, täysin virtualisoitu ydin.
UPF	User Plane Function.
AMF	Access and Mobility Management Function.
AUSF	Authentication Server Function.
SMF	Session Management Function.
NSSF	Network Slice Selection Function.
PCF	Policy Control Function.
UDM	Unified Data Management.
NF	Network Functions. Verkkofunktiot, eli mobiiliverkkojen ytimessä olevat osat.
PDU Session	Protocol Data Unit Session. User plane-yhteys 5G:ssä.
NG-RAN	Next Generation Radio Access Network. Tukee sekä NSA:ta, että SA:ta.
eSIM	Embedded Subscriber Identity Module.
Mobiiliverkko	Toisin sanoen matkaviestinverkko. Yhteys viestinverkkoon on toteutettu vapaasti etenevien radioaal- tojen välityksellä.
FDD	Frequency Division Duplex. Käytetään yhtä taajuutta lähettämiseen ja toista vastaanottamiseen.
TDD	Time Division Duplex. Käytetään samaa taajuutta lähettämiseen ja vastaanottamiseen.
Wi-Fi	Langaton tietoverkko-protokolla, joka mahdollistaa läheisten laitteiden datansiirron radioaalloilla.
Solu	Maantieteellinen alue, jonka sektorin antenni kattaa.

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Savon Voima yrityksenä

Savon Voima on Suomen suurimpia energiapalvelujen myyjiä ja konsernissa työskentelee noin 210 alan ammattilaista. Savon Voima Oyj on konsernin emoyhtiö ja Savon Voima Verkko Oy sekä Savon Voima Joensuu Oy ovat sen tytäryhtiöitä. Savon Voima panostaa alueelliseen hyvinvointiin ja vuoden 2019 bruttoinvestoinnit olivat noin 58 miljoonaa euroa, josta suurin osa meni sähkö- ja kaukolämpö-verkoston rakentamiseen, ylläpitoon ja kehittämiseen. (Savon Voima)

## 1.2 Verkkoyhtiön ja etähallinnan merkitys

Verkkoyhtiöiden sähköverkko koostuu suurjännitteisestä alueverkosta ja jakeluverkosta, joka toimii pienemmillä jännitteillä. Suurjännitteiset alueverkot siirtävät sähköä alueellisesti yhdellä tai useammalla 110 kV johdolla ja jakeluverkot toimivat 0,4–110 kV jännitetasolla. Sähköasema on puolestaan jakeluverkon kohta, jossa suoritetaan tätä jännitteen muuttamista sekä esimerkiksi sähköenergian jakoa eri johdoille. Asemaa, jossa jännitettä muutetaan edelleen, kutsutaan muuntamoasemaksi eli lyhyesti muuntamoksi. (Vaaranto, 2017)

Viime vuosina sähköverkkojen etähallinta ja valvonta on yleistynyt, mikä on mahdollistanut häiriötilanteiden nopeamman korjauksen sekä paikantamisen. Esimerkiksi muuntamoiden häiriötilanteita pystytään usein korjaamaan kaukokäytöllä valvomoista ilman huoltohenkilöstön käyttämistä paikan päällä. (Mononen)

Etähallintaa sekä etävalvontaa Savon Voimalla suoritetaan pääosin oman tietoverkon avulla. Tietoverkko koostuu pääosin radiolinkeistä, kuituverkosta, WiMAX-yhteyksistä sekä mobiiliyhteyksistä. Runkoverkko on rakennettu radiolinkeistä eli kahden maston välisestä langattomasta yhteydestä, joka on tehty radiotietä käyttämällä. Näköesteet pyritään välttämään käyttämällä korkeita mastoja, mutta radiolinkin kantama riippuu myös siinä käytettävästä taajuudesta. Radiolinkit sisältävät tehokkaan suunta-antennin, jotka pitää kohdistaa mastojen mukaan. Matalammilla taajuuksilla (alle 10 GHz) saatetaan saavuttaa jopa sadan kilometrin radiolinkkijänne. (Sjöqvist, 2016)

Savon Voiman omilla WiMAX-yhteyksillä puolestaan pyritään hoitamaan luotettava tietoliikennettä jokaiseen jakeluverkon vaatimaan paikkaan, missä kaapelointia hyödyntävää tiedonsiirtotekniikkaa tai luotettavaa mobiiliverkkoa ei ole mahdollista käyttää. WiMAX perustuu avoimeen IEEE 802.16 -standardiin ja matalan taajuusalueen (Savon Voimalla 1,3695 GHz) ansiosta sillä on hyvä kantama maastossa. (NDC Networks) WiMAX:ia on kuitenkin ajettu alas jo vuosia tekniikan vanhentumisen ja laitevalmistajien kiinnostuksen hiipumisen takia. Myös varaosien saaminen tukiasemiin on hyvin hankalaa. (Vironen, 2013) Mobiiliyhteyksiä (3G ja 4G) on puolestaan käytetty paikoissa, joissa mobiiliverkko on tarpeeksi luotettava tasaisen yhteyden muodostamiseen. Mobiiliyhteyksissä Savon Voima on tehnyt yhteistyötä DNA:n kanssa.

Verkossa liikkuu ohjaus-, tilatieto- ja mittausdataa sähköverkon, kaukolämmön ja vesivoiman koh-teista. Verkon toiminta halutaan pitää hyvin omissa käsissä, jotta sähköverkon toimintavarmuus py-syisi muista toimijoista mahdollisimman riippumattomana. Tästä syystä Savon Voimalla on kiinnos-tusta tutkia yksityisiä LTE- ja 5G-verkkoja ja niiden tuomia käyttömahdollisuuksia.

### 1.3 Opinnäytetyön tavoite

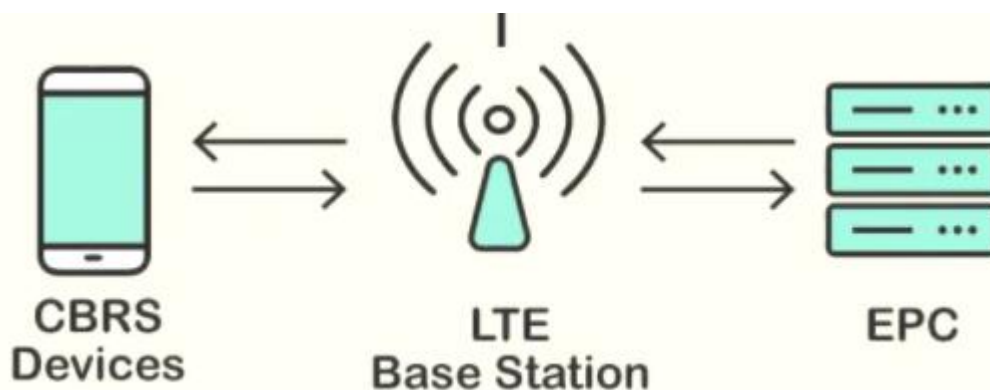
Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia, millä teknologialla olisi järkevä toteuttaa yksityinen verkko Savon Voimalle, mikäli sellaiseen tulevaisuudessa halutaan investoida. Savon Voimalla halu-taan erityisesti löytää korvaava teknologia WiMAX-yhteyksille heikon varaosien saatavuuden takia. Pääasiassa tässä työssä tarkastellaan 5G-teknologiaa, koska aiheeseen perehtyminen osoitti nope-asti, että tulevaisuudessa olisi järkevämpi panostaa uuteen teknologiaan ja sen tuomiin etuihin. Ta-voitteena on luoda opinnäytetyöstä tarpeeksi kattava, jotta sitä voidaan käyttää materiaalina tulevia hankintoja pohdittaessa.

## 2 VERKKOJEN ARKKITEHTUURIT

### 2.1 Long Term Evolution

Täysin yksityisen verkon luominen tarkoittaa jokaisen mobiiliverkon vaatiman osan rakentamista ja hallintaa. Teleoperaattorit tarjoavat valmiita yksityisiä verkkoja, mutta niiden toimintakyvyn ylläpito jää vähintäänkin osittain verkon rakennuttaneelle operaattorille. Tällöin yritys itse ei voi taata täysin toimivaa verkkoa häiriötilanteessa, vaan on riippuvainen operaattorin toiminnasta.

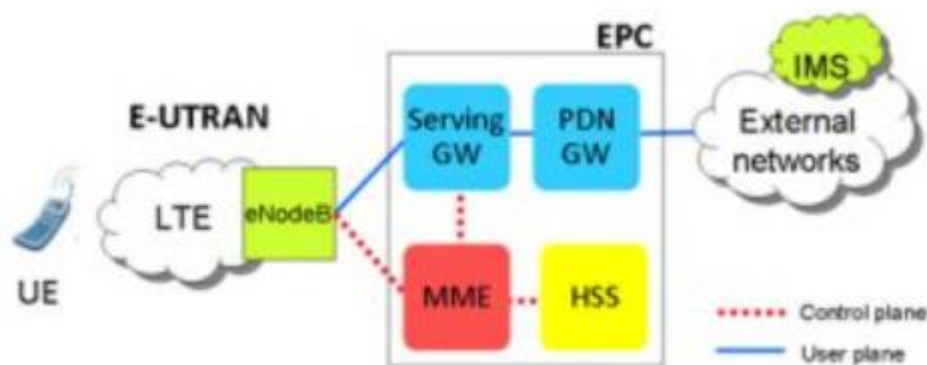
LTE-teknologiaan perustuva verkko koostuu kolmesta peruselementistä (kuva 1) eli ytimeistä (EPC), tukiasemista (BS) ja käyttäjien päätelaitteista (UE). Ytimen tehtävänä on kommunikoida ulkomaail-man pakettidataverkkojen kanssa, kuten internetin ja yritysverkkojen kanssa sekä hallita verkon käyttäjiä. Tukiasemien tärkein tehtävä on kuljettaa data päätelaitteista verkon ytimeen. Päätelaitteet ovat verkon käyttäjiä, jotka ovat kirjautuneet verkkoon SIM-kortilla. (LTE, Network Architecture)



KUVA 1. LTE-verkon peruselementit (CableFree, 2020)

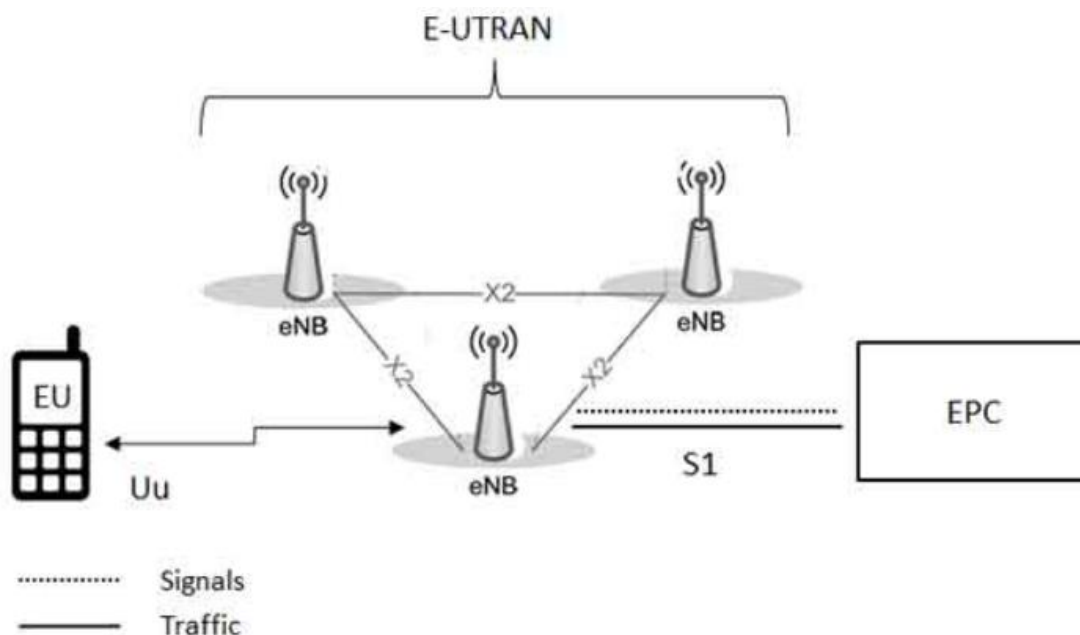


EPC on 3GPP:n standardoima ja tavoite oli tehdä arkkitehtuuri tehokkaan suorituksen ja kustannusten kannalta. Samalla myös päätettiin, että käyttäjädata (user plane) erotetaan signaloinnista eli hallintadatasta (control plane). Tämä erotus mahdollistaa molempien paremman skaalautuvuuden, ja tästä syystä toimijat pystyvät paremmin mukauttamaan verkkojaan eri tarpeisiin. EPC koostuu useasta pienemmästä osasta, missä jokaisella on oma kriittinen tehtävä verkon toimivuuden kannalta (kuva 2). Ne myös toimivat pääasiassa erillisillä laitteilla. Tärkeimmät osat ovat S-GW, P-GW, MME ja HSS. S-GW:n ja P-GW:n tarkoituksena on yhdessä liikuttaa IP-liikennettä ulkoisten verkkojen ja käyttäjien päätelaitteiden välillä. S-GW on tukiasemien ja EPC:een välinen piste, joka palvelee ja reitittää päätelaitteiden IP-paketteja. P-GW on puolestaan EPC:een ja ulkoisten verkkojen välinen piste, joka reitittää paketit ulkoisiin verkkoihin ja sieltä takaisin LTE-verkkoon. Sillä on myös useita muita toimintoja, kuten esimerkiksi verkon käytäntöjen ja laskutuksen hallinta. MME vastaa hallintadatasta eli se käsittelee signaloinnin liittyen liikuttavuuteen ja turvallisuuteen. Se keskustelee HSS:n kanssa, joka on tietokanta, mikä sisältää käyttäjäkohtaiset tiedot. HSS tarjoaa ja tukee muun muassa soiton, session, mobiliteetin sekä pääsyn hallintaa ja käyttäjien autentikointia. (Firmin)



KUVA 2. Ytimen eli EPC:een peruselementit (Firmin)

E-UTRAN-arkkitehtuurin mukainen tukiasemaverkko (kuva 3) hoitaa radioyhteyden päätelaitteiden ja ytimen välillä ja se sisältää vain yhden komponentin, tukiasemat. Tukiaseman tekninen termi LTE-verkossa on eNodeB tai eNB, mutta ne tarkoittavat samaa. Yksi päätelaite kommunikoi kerrallaan vain yhden tukiaseman kanssa ja tukiasemalla on kaksi päätehtävää. Ensimmäinen on lähettää ja vastaanottaa radiolähetystyksiä sallituille päätelaitteille ja toinen on kontrolloida matalan tason operaatioita, kuten session luovuttamista tukiasemalta toiselle. Tukiasemat yhdistyvät verkon ytimeen, mutta voivat myös olla yhteyksissä toisiinsa. Tukiasemien välistä yhteyttä hyödynnetään erityisesti signaalin ja pakettien lähettämisen luovuttamisessa tukiasemalta toiselle. (LTE, Network Architecture)



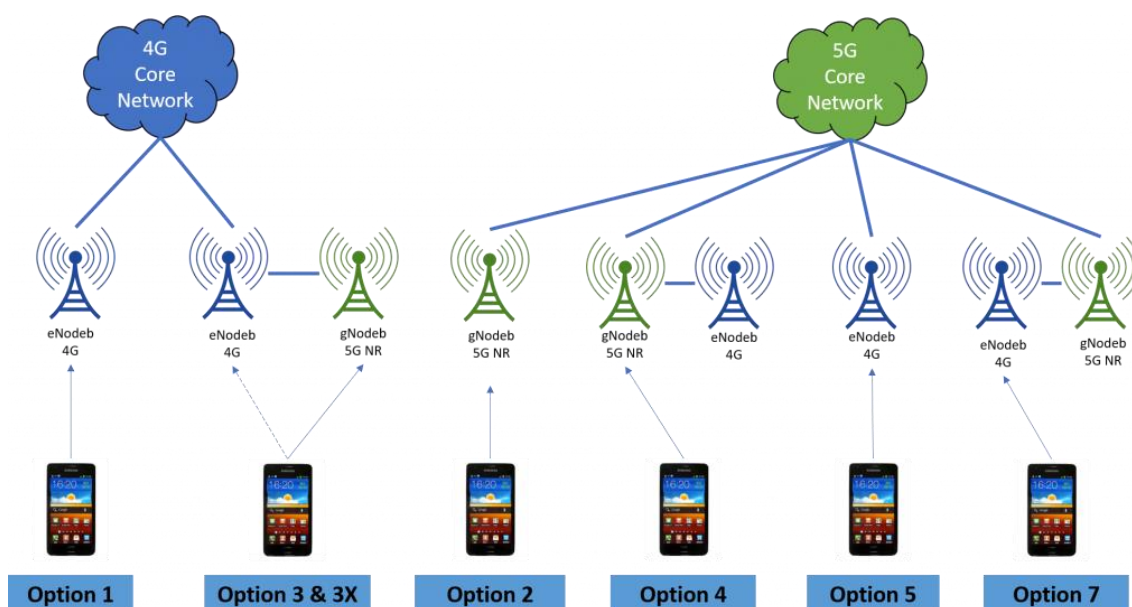
KUVA 3. E-UTRAN-arkkitehtuuri (Tutorials Point)

LTE-verkossa päätelaitteiden sisäinen arkkitehtuuri on sama kuin aikaisemmissa mobiilitekniikoissa (UMTS ja GSM). Tärkeimmät moduulit ovat seuraavat:

- Mobile Termination (MT), suorittaa kaiken kommunikointiin liittyvän.
- Terminal Equipment (TE), lopettaa datayhteydet.
- Universal Integrated Circuit Card (UICC), tunnetaan paremmin nimellä SIM-kortti. Sisältää sovelluksen nimeltä Universal Subscriber Identity Module (USIM), joka tallentaa käyttäjätietoisuuden datan. Data sisältää esimerkiksi päätelaitteen käyttäjän puhelinnumeron ja turva-avaimet. (LTE, Network Architecture)

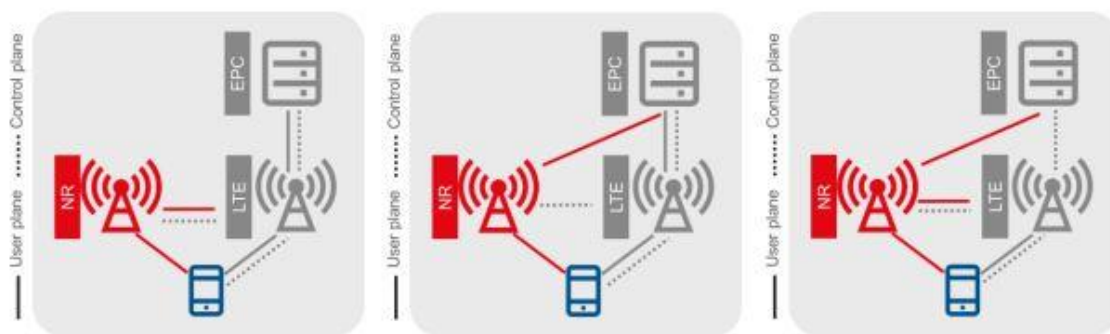
## 2.2 Non-Standalone 5G

5G-tekniikan käyttöönotto tapahtuu pääosin vaiheittain ja sen 3GPP on mahdollistanut Non-Standalone-arkkitehtuurilla (NSA). Tämä arkkitehtuuri käyttää hyväkseen jo olemassa olevaa laitteistoa eli LTE:ssä käytettävää verkon ydintä Evolved Packet Core sekä apuna eNB tukiasemia. Kontrollisignaali on ankkuroitu 5G Coren sijasta EPC:hen eli se on vielä riippuvainen 4G-verkosta. Tämä ei vielä mahdollista kaikkia 5G-verkkojen tuomia etuja, mutta uudet gNB-tukiasemat parantavat tiedonsiirron viivettä ja kapasiteettia 5G-laitteilla. 5G-tekniikka ja NSA-arkkitehtuuri mahdollistaa kuusi eri vaihtoehtoa rakentaa 5G-verkon, koska kahden eri generaation verkkotekniikkaa on käytetty. NSA-arkkitehtuurista käytetään nimeä "option 3" (kuva 4) eli vaihtoehto kolme, koska siinä hyödynnetään vielä EPC:tä sekä 4G, että 5G tukiasemia samanaikaisesti. (Sathyanarayan, 2020)



KUVA 4. 5G-verkon eri vaihtoehdot. (5gsoc, 2020)

Vaihtoehdosta kolme on vielä useampi versio (kuva 5), riippuen miten eri data liikkuu käyttäjän ja EPC:een välillä. Vaihtoehdot ovat joko 3, 3a tai 3x. Näistä yleisimmin käytetty on 3x, koska se kuormittaa olemassa olevaa LTE-verkkoa vähiten. Siinä käyttäjädata liikkuu NR-tukiasemilta suoraan sekä LTE-tukiaseman kautta EPC:hen ja hallintadata LTE-tukiaseman kautta, kuten muissakin vaihtoehdoissa kolmen versioissa. Näin datan liikkuminen jakautuu tasaisemmin EPC:hen. Vaihtoehto 3 on näistä raskain olemassa olevalle verkolle, koska kaikki data kulkee LTE-tukiasemien kautta EPC:hen. (GSMA, 2019)



KUVA 5. Non-Standalone arkkitehtuurin mukaiset ratkaisut 3/3a/3x luettuna vasemmalta oikealle. (GSMA, 2019)

LTE-teknologiassa on jo ollut kaksoisyhteys (Dual Connectivity) EPC:hen ja sitä käytetään hyväksi myös NSA-arkkitehtuurissa. Se tarvitsee kuitenkin uusien gNB-tukiasemien lisäksi myös päivitystä EPC:hen. Päivitys voidaan tehdä joko fyysisesti päivittämällä koko laitteisto tukemaan NSA-arkkitehtuuria tai sitten virtualisoimalla NSA-arkkitehtuuria tukeva osa EPC:stä. Pelkän laitteiston päivittäminen on helpompi tapa, mutta sitä ei voida käyttää virtualisoidussa ympäristössä. 5G Core tulee olemaan täysin virtualisoitu, joten EPC:een virtualisointi olisi järkevämpi vaihtoehto, jos tulevaisuudessa halutaan saavuttaa kaikki 5G:n tarjoamat hyödyt. (GSMA, 2019)

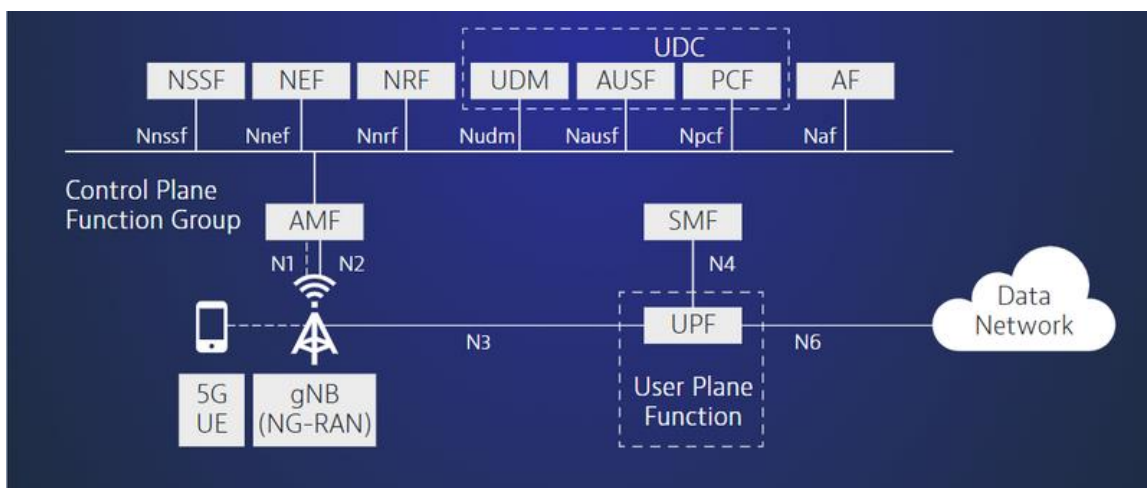
## 2.3 Standalone 5G

Standalone-arkkitehtuuri puolestaan mahdollistaa täysverisen 5G:een (kuva 4, option 2). Isoja muutoksia aikaisempiin sukupolviin verrattuna ovat mm. täysin virtualisoitu ja pilvipalveluihin perustuva ydin (5GC), reunalaskenta eli prosessoidaan data mahdollisimman lähellä keräyspaikkaa sekä tehokkaammin MIMO-teknologiaa hyödyntävät tukiasemat. Virtualisoitu 5GC mahdollistaa huomattavasti skaalautuvamman ja kustannustehokkaamman ytimen, koska kaikki toimii palveluina yhteisellä alustalla. Reunalaskenta vähentää mobiiliverkon viivettä jopa yhteen millisekuntiin asti, koska data voidaan käsitellä jo sen keräyspaikalla. (Sathyanarayan, 2020)

5G-verkko koostuu LTE-verkon tavoin myös ytimeä, tukiasemista sekä käyttäjien päätelaitteista. Kuitenkin pienenä lisänä arkkitehtuurissa on reunalaskenta, mikä tulee tukiasemien ja ytimen väliin ja näin ollen mahdollistaa nopeamman datan käsittelyn. Ydin eli 5GC on virtualisoitu, jolloin kaikki käyttäjä- ja hallintadataa käsittelevät toiminnot on tehty itsenäisiksi palveluiksi eli konteiksi (englanniksi containers). Kontti on standardoitu ympäristö ohjelmille, joka sisältää vain tarpeelliset riippuvuudet toimintonsa suorittamiseksi. Kontit eivät esimerkiksi tarvitse omaa käyttöjärjestelmää ja näin ollen ne vievät vähemmän resursseja ja mahdollistavat isomman ohjelman päivittämisen yksi kontti kerrallaan. (Wallenius, 2019)

Verkkofunktiot (NF) ovat siis 5GC:ssä virtualisoitu ja niihin on myös tullut hieman muutoksia edeltävään sukupolveen verrattuna. 5GC:n tärkeimmät verkkofunktiot (kuva 6) ovat:

- UPF pääasiassa vastaa käyttäjädatasta sekä pakettien reitityksestä ja tarkistuksesta ja se on verrattavissa 4G EPC:een S-GW ja P-GW funktioihin. Toimii kiinnekohtana NG-RAN:lle eli 5G:n tukiasemaverkolle.
- AMF vastaa käyttäjän rekisteröinnistä, liikkuvuudesta sekä turvallisuudesta ja toiminnallisuudeltaan se osittain muistuttaa EPC:een MME:tä. Tämä funktio tietää, mihin tukiasemaan käyttäjä on yhdistynyt ja antaa väliaikaisen ID:n jokaiselle laitteelle. Riippuen palvelun käyttäjän pyynnöstä, AMF valitsee kullekin kuuluvan SMF:n hoitamaan käyttäjän sessiota.
- SMF hallitsee PDU-sessioita, jakaa ja hallitsee tarvittaessa IP-osoitteita käyttäjille sekä kommunikoi PCF:n kanssa. Tämä funktio myös osittain muistuttaa EPC:een MME:tä, koska MME vastasi 4G:ssä käyttäjän liikkuvuudesta ja sessiosta eli 5GC:ssä se on jaettu kahdeksi eri toiminnoksi.
- UDM on keskitetty säilytyspaikka verkon käyttäjien tiedoille. Kertoo AMF:lle ja SMF:lle mitä käyttäjä saa ja ei saa tehdä verkossa. Muistuttaa EPC:een HSS:ää.
- PCF voi dynaamisesti muuttaa käytäntöjä, miten AFM ja SMF toimivat ja luovat PDU-session. Esimerkiksi SMF voi tarkistaa PCF:ltä, onko verkossa mitään, mikä voisi vaikuttaa käyttäjän palvelemiseen. Tämä vaikuttava tekijä voi esimerkiksi olla käyttäjän sijainti. (Mpirical, 2019)



KUVA 6. 5G:n virtualisoidut verkkofunktiot. (viavisolutions)

Standalone- ja Non-Standalone-arkkitehtuurien väliltä löytyy myös hieman eri vaihtoehtoja, jotka hyödyntävät sekä E-UTRA, että NR-teknologiaa. Yhteistä näillä jäljellä jäävillä 4, 5 ja 7 vaihtoehdoilla (kuva 4) on, että ne kaikki tarvitsevat 5G Coren. Vaihtoehdot puolestaan erottautuvat sillä, onko Master nodena (MN) eNB vai gNB ja löytyykö Secondary nodea (SN). Master node tarjoaa hallintadatan verkon ytimeen Multi Radio Dual Connectivity (MR-DC) tapauksissa eli kun käytetään toista tukiasemaa apuna datan liikuttamiseen. Secondary node ei tarjoa ollenkaan apua hallintadatan käsittelyyn, vaan pyrkii tarjoamaan lisää resursseja käyttäjälle. (Dobariya, 2020)

Vaihtoehto 4 (option 4) tapauksessa käyttäjä on kiinni gNB:ssä, joka toimii Master nodena. Secondary nodena toimii ng-eNB, eli paranneltu eNB 4G tukiasema, joka pystyy yhdistämään itsensä uuden NG-rajapinnan avulla gNB:hen ja sitä kautta 5G Coreen. Vaihtoehto 5 (option 5) puolestaan mahdollistaa ng-eNB tukiasemien yhdistämisen suoraan 5G:een sekä toisiinsa NG-rajapinnan avulla. Sallii olemassa olevan LTE-radioinfrastruktuurin käyttämisen pienellä tukiasemien päivittämällä. Viimeinen vaihtoehto on numero 7 (option 7), jossa Master nodena toimii ng-eNB ja gNB toimii Secondary nodena. (Bertenyi;Burbidge;Masini;Sirotkin;& Gao, 2018)

Mikäli halutaan hyödyntää olemassa olevaa 4G-infrastruktuuria ja EPC:tä, niin vaihtoehto 3 on todennäköisesti luonnollisin tapa siirtyä käyttämään 5G:tä. Tällöin 5G-tukiasemat ainoastaan tehostavat käyttäjädatan siirtymistä verkossa. Kuitenkin 5G Coreen siirtyminen tuo kasan uusia käyttöönnottokeinoja ja 5G:n todelliset hyödyt. Tällöin päästään hyödyntämään joko täysin New Radio-teknologiaa (option 2) tai sitten hyödyntämään olemassa olevia LTE-tukiasemia secondary nodeina (option 4). Se, että onko ankkuroivana tukiasemana (MN) gNB vai eNB riippuu pääosin liiketoiminnan valinnoista ja niihin vaikuttaa esimerkiksi olemassa olevan LTE-verkon tukiasemien tiheys. (Bertenyi;Burbidge;Masini;Sirotkin;& Gao, 2018)

Käyttäjien päätelaitteisiin (UE) on tulossa myös pieniä muutoksia 5G:n myötä. Puhelimien pitää pystyä lähettämään ja vastaanottamaan signaaleja eri taajuuksilla, varsinkin uusilla millimetritaajuuksilla (30-300GHz). Taajuuksien ja MIMO:n tehokkaampi hyödyntäminen päätelaitteissa luo haasteita matkapuhelinvalmistajille, koska enemmän teknologiaa pitää saada mahdutettua puhelimeen tinkimättä liikaa käyttökokemuksesta. Tähän pienenä apuna on lähitulevaisuudessa tuleva eSIM-teknologia,

koska se poistaa fyysiset SIM-kortit puhelimista integroimalla sen ominaisuudet puhelimen piirisarjaan. Tämä helpottaa käyttäjiä esimerkiksi operaattorin vaihdossa, koska SIM-korttia ei tarvitse enää vaihtaa, vaan vaihto tapahtuu suoraan eSIM:iin. Muutos luo myös tilaa puhelimen sisälle, koska silloin ei enää tarvita SIM-kelkkaa, johon SIM-kortit asetetaan. Uudet radiotekniikat ja tiedonsiirtonopeudet vaativat myös enemmän puhelimelta virtaa, mutta akut eivät ole kehittyneet muun teknologian mukana yhtä nopeasti. Tämä ongelma on vielä osittain taklaamatta ja saa nähdä, mitä tulevaisuus tuo mukanaan akkuteknologiaan liittyen. (Huo;Xu;& Dong, 2017)

Olennaista myös 5G päätelaitteita hankittaessa on tarkistaa mitä taajuuksia ne tukevat. Tällä hetkellä 5G-älypuhelimet tukevat pääasiallisesti matalampia taajuuksia, joilla ei saavuteta parhaita tiedonsiirtonopeuksia. Suomessa on vaikea löytää täsmällisiä teknisiä tietoja myynnissä olevista laitteista ja niiden taajuuskaistoista. Pääosin 5G-verkot on tällä hetkellä toteutettu 3,5 gigahertsin taajuusalueelle (kaista n78) ja myös 700 megahertsin (n28) aluetta tullaan näkemään peittävyysvarmistamiseksi. Näitä 5G-älypuhelimet saattavat tukea, mutta eivät vielä 26 gigahertsin millimetriaaltoista taajuusaluetta (n258), joka mahdollistaisi jopa 10 gigabitin siirtonopeuden. (Mikrobitti, 2020)

### 3 TAAJUUSALUEET

#### 3.1 Yleistä taajuuksista

Taajuus kuvaa jonkin toistuvan ilmiön tapahtumien määrän aikayksikköä kohti. Taajuuden yksikkö on 1/s, jota kutsutaan nimellä hertsi (Hz). Radioaallot ovat sähkömagneettisen spektrin osa ja sen taajuusalue ulottuu kolmesta hertsistä 300 gigahertsiin. Isompi taajuus tarkoittaa pienempää aallonpituutta ja pienen aallonpituuden säteilyssä on enemmän energiaa kuin suuren aallonpituuden matalataajuisessa säteilyssä. Radioaallot etenevät myös tyhjiössä sekä taajuuden mukaan eri väliaineissa, kuten ilmassa. (Wikipedia) Matalataajuinen radioaalto siis kantaa pidemmälle kuin korkeataajuinen ja läpäisee eri väliaineita pääasiassa tehokkaammin. Korkeataajuisille radioaalloille on mobiiliteknologiassa varattu leveämmät taajuuskaistat tehokkaamman tiedonsiirron mahdollistamiseksi. Käyttäjän näkökulmasta kuuluvuuteen vaikuttaa sijainti suhteessa tukiasemaan. Signaali heikkenee etäisyyden kasvaessa ja väliaineiden, kuten kasvillisuuden tullessa signaalin tielle. Matalataajuiset radioaallot Suomen matkaviestinverkoissa ovat alle 1 GHz, keskitaajuiset noin 1–6 GHz ja korkeataajuiset 25–27,5 GHz. (Traficom, 2021)

Taajuudet voivat myös olla aika- tai taajuusjakoisia (TDD ja FDD). Aikajaksoisuus tarkoittaa sitä, että samaa taajuutta käytetään sekä lähettämiseen, että vastaanottamiseen (kuva 7). Lähetysten väliin kuitenkin tarvitaan "guard period" eli lähetysten välinen aika, jotta lähettämiseen ja vastaanottamiseen liittyvät signaalit eivät törmää. Itse taajuuskaista jakautuu lähettämisen ja vastaanottamisen kanssa, eli esimerkiksi jos kaistanleveys mahdollistaa 1 Gbit/s nopeuden, niin 0,5 Gbit/s menee lähettämiseen ja 0,5 Gbit/s vastaanottamiseen. Viive voi olla korkeampi ja vaihtelevampi, koska se on riippuvaisia lähetettävien pakettien koosta sekä aikajaksotuksesta. (Aviat Networks, 2019) Aikajaksoista taajuutta käytetään esimerkiksi 2,3 GHz taajuudella (taulukko 2) sekä korkeilla taajuuksilla.



KUVA 7. Aikajakoinen lähettäminen sekä vastaanottaminen. (Aviat Networks, 2019)

Taajuusjakoinen kaksisuuntaliikenne (FDD) on puolestaan luotettavampi, koska siinä on varattu omat taajuuskaistatkaistat lähettämiseen sekä vastaanottamiseen (kuva 8). Tässä tekniikassa puolestaan käytetään "guard band" toteutusta toimivuuden varmistamiseksi eli taajuuksien välissä on käyttämätöntä taajuutta, jotta ne eivät ottaisi häiriötä toisistaan. Koska lähettämällä ja vastaanottamisella on omat kaistansa, niin jatkuva lähetys ja korkea suorituskyky ovat taattuja. Taajuuksien jakaminen erilleen tarkoittaa myös sitä, että datan siirto on parhaillaan juuri taajuuskaistan tarjoaman maksimin mukaista. (Aviat Networks, 2019) Esimerkiksi operaattorien omistamat 700 MHz taajuuskaistat hyödyntävät taajuusjakoisuutta (taulukko 1).



KUVA 8. Taajuusjakoinen kaksisuuntaliikenne. (Aviat Networks, 2019)

### 3.2 Matalat taajuudet

Matalataajuiset radioaallot kantavat pitkälle ja siksi niitä käytetään mobiiliverkkojen peittoalueen varmistamiseksi harvaan asutuilla alueilla. Näillä taajuuksilla kaistan leveys on kuitenkin pieni ja siksi tiedonsiirto on huomattavasti hitaampaa kuin korkeilla taajuuksilla. Tällä hetkellä 0,7 GHz eli 700 MHz alue on varattu operaattoreille (taulukko 1) LTE-verkon laajan kuuluvuuden mahdollistamiseksi. Suomessa tälle taajuusalueelle tullaan kuitenkin tulevaisuudessa rakentamaan myös 5G-verkkoa valtakunnallisen verkon saavuttamiseksi. (DNA Oyj, 2021) Näillä taajuusalueilla olisi Savon Voimalla myös käyttöä, koska kohteet, joihin langaton yhteys tarvitaan, saattavat olla vaikeassa maastossa

kymmenen kilometrinkin päässä tukiasemasta. Radioluvat ovat kuitenkin myyty operaattoreille (taulukko 1) vuoteen 2033 asti. Taajuuskaistat ovat vain 10 MHz lähettämiseen ja vastaanottamiseen, joten näillä taajuuksilla ei päästä huippunopeisiin tiedonsiirtonopeuksiin edes 5G:llä.

TAULUKKO 1. 700 MHz taajuuskaistan luvanhaltijat. (Traficom, 2021)

Luvanhaltija	Tukiaseman vastaan- ottokaista	Tukiaseman lähetys- kaista	Tekniikka	Luvan voimassa- oloaika
<b>DNA Oyj</b>	703–713 MHz (valtakunnallinen, poislueutuna Ahvenanmaan maakunta)	758–768 MHz (valtakunnallinen, poislueutuna Ahvenanmaan maakunta)	LTE	1.2.2017 - 31.12.2033
<b>Elisa Oyj</b>	713–723 MHz (valtakunnallinen, poislueutuna Ahvenanmaan maakunta)	768–778 MHz (valtakunnallinen, poislueutuna Ahvenanmaan maakunta)	LTE	1.2.2017 - 31.12.2033
<b>Telia Finland Oyj</b>	723–733 MHz (valtakunnallinen, poislueutuna Ahvenanmaan maakunta)	778–788 MHz (valtakunnallinen, poislueutuna Ahvenanmaan maakunta)	LTE	1.2.2017 - 31.12.2033

### 3.3 Keskitäajaudet

Keskitäajaudet ovat nopean tiedonsiirron ja hyvän kantaman välimaasto. Keskitäajuuksilla oleva tukiasema pystyy tarjoamaan halkaisijaltaan ainakin muutaman kilometrin kokoisen peittoalueen, riippuen antennista ja käytettävästä taajuudesta. LTE-teknologiassa Suomessa käytetään korkeintaan 2,6 GHz taajuutta, mutta 5G:n keskitäajuus tullaan tekemään 3,5 GHz taajuusalueelle ja se pystyy tarjoamaan jopa 900 Mbit/s lähetysnopeuden. Tämä 3,5 GHz taajuusalue tulee olemaan pääasiallinen taajuus, jolla 5G:tä jalkautetaan operaattorien toimesta. Ominaisuuksiensa puolesta keskitäajaudet ovat suosittuja, esimerkiksi Wi-Fi toimii 2,4 GHz sekä 5 GHz taajuuksilla ja Bluetooth noin 2,45 GHz taajuudella.

Siinä missä 700 MHz taajuudella on 10 MHz kaista (taulukko 1) ja 2,3 GHz alueella 20 MHz (taulukko 2), niin 3,5 GHz taajuudella kaista alkaa olemaan jo 60–70 MHz luokkaa. (Traficom, 2021) Kuten aikaisemmin mainittu, niin tämä suurempi kaistan leveys mahdollistaa nopeamman tiedonsiirron. Savon Voimalle yli 3 GHz taajuusalueet eivät ole kovin hyödyllisiä, koska maastossa niiden kantavuus ei todennäköisesti riitä luotettavan yhteyden varmistamiseksi. Savon Voimalla ei myöskään ole tarvetta satojen megabitien tiedonsiirtonopeuksille, joten näillä taajuuksilla ei ole merkittävää hyötyä, kun tavoite on luotettava ja kantava mobiiliverkko matalilla, muutaman kymmenen megabitin tiedonsiirtonopeuksilla. Kuitenkin vähän matalammilla taajuuksilla saatettaisiin päästä tarvittavaan vähintään 10 kilometrin kantamaan.

Suomessa on avattu myös radiotaajuus privaattiverkoille. Taajuuskaista on 2300–2320 MHz ja se on tarkoitettu yksityisille matkaviestinteknologiaan perustuville paikallisille radioverkoille, esimerkiksi Private-LTE-verkoille. Tämä alue mahdollistaa yrityksille oman matkaviestinteknologiaan perustuvan



verkon rakentamisen itselleen sopivaksi. Tämä taajuuskaista ei kuitenkaan ole tarkoitettu laajempien alueellisten verkkojen rakentamiseen, mutta yksittäisiä kohteita sillä voi rakentaa ja se onkin tarkoitettu esimerkiksi käytettäväksi voimaloissa tai lentokentillä. Taajuuskaista on myös langattomien kameroiden käytössä, joten niiden käytön suojaamiseksi taajuuden käyttö samalla alueella on kielletty tai taajuutta käyttävälle verkolle on annettu tehorojoituksia. Alue, jossa käyttöä rajoitetaan, sisältää useita langattomia kameroita, jotka toimivat yhtäaikaaisesti ja säännöllisesti. Samalla maantieteellillä alueella ei myöskään voi olla useampaa toimijaa samalla taajuuskaistalla. Pääsääntöisesti tälle 2300–2320 MHz taajuuskaistalle myönnetään vain 10 MHz levyisiä lupia, mutta perustelluista syistä on jopa mahdollisuus saada koko 20 MHz kaista käyttöön. (Traficom, 2021)

Savon alueella ainoastaan Mikkeliissä (taulukko 2) on Nokialla käytössä yksityistä taajuusaluetta, joten tämän taajuuden käyttö olisi hyvinkin mahdollista Savon Voiman toimialueella. Tämä taajuusalue toimii kuitenkin hieman korkeammalla taajuudella, kuin tämän hetken Savon Voiman WiMAX-tukiasemat (1369,5 MHz), jolloin sen kantavuutta on testattava laskennallisesti Savon Voiman olemassa olevissa kohteissa. Mikäli laskennallisesti saavutetaan noin kymmenen kilometrin kantama käyttämällä 2300 MHz taajuutta sekä voimakkaita suunta-antenneja, niin silloin yksityisen taajuuden käyttö olisi Savon Voiman tarpeisiin nähden mahdollista.

TAULUKKO 2. Taajuuskaistan 2300–2320 MHz voimassa olevat radioluvat. (Traficom, 2021)

Luvanhaltija	Taajuuskaista	Käyttöalue	Voimassaoloaika
<b>Fortum Power and Heat Oy Loviisan voimalaitos</b>	2300–2320 MHz	Loviisa	-1.12.2025
<b>Nokia Solutions and Networks Oy</b>	2300–2320 MHz	Helsinki (sisätiläkäyttö)	-16.10.2021
<b>Jakobstadsnejdens Telefon Ab</b>	2300–2320 MHz	Pietarsaari	-30.6.2026
<b>Nokia Innovations Oy</b>	2300–2320 MHz	Espoo (sisätiläkäyttö)	-9.7.2026
<b>Nokia Innovations Oy</b>	2300–2320 MHz	Oulu (sisätiläkäyttö)	-9.7.2026
<b>Nokia Innovations Oy</b>	2300–2320 MHz	Tampere	1.9.2020-31.8.2026
<b>Nokia Innovations Oy</b>	2300–2320 MHz	Tampere (Teisko)	1.8.2020-31.7.2026
<b>Cinia Oy</b>	2300–2320 MHz	Riihimäki	13.11.2020-12.11.2026
<b>Digita Oy</b>	2300–2320 MHz	Helsinki	11.1.2021-30.9.2021
<b>Nokia Innovations Oy</b>	2300–2320 MHz	Helsinki (sisätiläkäyttö)	1.11.2020-30.4.2021
<b>Nokia Solutions and Networks Oy</b>	2300–2320 MHz	Mikkeli	17.11.-31.12.2020
<b>Oulun Yliopisto Tieto- ja sähkötekniikan tiedekunta</b>	2300–2320 MHz	Oulu	1.1.2021-31.12.2026

Radioluvan hakemisessa on kuitenkin ehtoja, joiden kanssa on oltava tarkkana, etteivät ne rajoita liikaa taajuuden käyttöä tarvittavissa kohteissa. Esimerkiksi tukiasemien sekä päätelaitteiden aiheuttamia kentänvoimakkuuksia voi olla rajoitettu lupaehdoissa. Radiolupahakemuksen yhteydessä on myös esitettävä vapaamuotoinen radioverkkosuunnitelma. Ennen radiolupaa on mahdollisuus hakea taajuusvarausta, joka myönnetään kuudeksi kuukaudeksi. Tällä aikaa voi toteuttaa suunnitelmaa

verkolle ja hakea varsinaista radiolupaa. Radioluvan voi saada enintään kuudeksi vuodeksi ja suunniteltu radioverkko on otettava käyttöön kuuden kuukauden kuluessa luvan myöntämisestä. Taajuusluvan saaminen myös vaatii vuosittaisen taajuusmaksun ja sen hinnan voi määrittää kaavasta (Traficom, 2021):

$$\text{Taajuusmaksu} = B0 * K1 * Kasuk * S * 1295,50\text{€}$$

Missä B0 on suhteellinen kaistanleveys ( $B \cdot K_j / B_{ref}$ ), K1 on taajuusaluekerroin, Kasuk on väestöpeittokerroin (vähintään 0,05 ja kattaa noin 275 000 asukasta), S on perusmaksun kerroin ja 1295,50 € on perusmaksun määrä. Jos taajuusalue on 2300–2320 MHz eli kaista olisi 20 MHz, niin silloin taajuusmaksu olisi (Traficom, 2018):

$$\left[ \frac{20000000 \text{ Hz} * 2}{25000 \text{ Hz}} \right] * 0,6 * 0,05 * 0,018 * 1295,50\text{€} = 1119,31\text{€}$$

Mikäli haluttaisiin käyttää matalampia taajuuksia kuin 2,3 GHz privaattiverkon rakentamiseen, niin silloin todennäköisesti jouduttaisiin lainaamaan taajuusaluetta operaattorilta. Tämä 2,3 GHz taajuusalue ei myöskään ole tavallisin matkaviestinverkoille. On tarkistettava, että antennit lähettävät oikeaa taajuutta ja päätelaitteet pystyvät vastaanottamaan sitä. Erityisesti matkapuhelimet tukevat tällä hetkellä vain matala- ja keskitaajuuksia. Mikäli Savon Voimalla päädyttäisiin tekemään privaattiverkko 2,3 GHz taajuudelle, niin radiolupa olisi hyvä hankkia mahdollisimman nopeasti. Samalla alueella ei voi olla monta saman taajuuden käyttäjää ja tästä syystä voi tulevaisuudessa tulla ongelmia, mikäli 2,3 GHz taajuuden käyttö yleistyy Itä-Suomessa.

### 3.4 Korkeat taajuudet

Korkeat taajuudet ovat uusi ulottuvuus mobiiliverkkoihin, jotka tulevat 5G:n myötä. Taajuusalueet 25,1 ja 27,5 GHz väliltä kaupattiin Suomessa operaattoreille vuoden 2020 kesäkuussa ja näillä taajuuksilla on teoreettisesti mahdollista päästä jopa 10 Gbit/s tiedonsiirtonopeuksiin. Kuitenkin todellinen tiedonsiirtonopeus tulee olemaan 1–3 Gbit/s väliltä. Aallon pituus korkeilla taajuuksilla on millimetrimetriluokkaa, minkä takia taajuuden kantama ja läpäisykyky ovat heikkoja. Kantama korkeilla taajuuksilla on vain muutamia satoja metrejä. Kuitenkin korkea taajuus sekä leveä taajuuskaista ovat välttämättömiä erittäin nopean mobiiliyhteyden kannalta. Operaattoreille myydyt taajuusalueet ovat 800 MHz levyisiä eli noin kymmenen kertaa leveämpiä kuin keskitaajuiset taajuuskaistat. Korkeita taajuuksia ei kuitenkaan ole vielä otettu kunnolla käyttöön ja monet päätelaitteet eivät edes tue näitä taajuuksia vuoden 2021 alussa. (Nokia)

Korkeat taajuudet ovat tarkoitettu tiheästi asutuille alueille ja julkisille kokoontumispaikoille, joissa ihmisiä on paljon ja datan tarve on suuri. Savon Voimalla ei ole ainakaan vielä järkeviä käyttökohteita näille taajuuksille, koska taajuuksien kantama ei riitä ja tarve datansiirrolle on huomattavasti

pienempää, kuin mitä millimetriaaltoiset taajuudet tarjoavat. Kuitenkin tulevaisuudessa IoT-laitteiden radikaali lisääntyminen voi tuoda joitakin käyttötarkoituksia, mutta vielä ei tiedetä, tuleeko korkeita taajuuksia edes privaattiverkkojen käyttöön. Kuitenkin Liikenne- ja viestintävirasto on tehnyt lausuntapyyntöä 24,25–25,1 GHz taajuuksien vapauttamisesta paikallisille matkaviestinteknologiaan perustuville radioverkoille, joten voi olla mahdollista, että tulevaisuudessa millimetritaajuutta nähdään myös yritysten privaattiverkoissa. (Traficom, 2021)

Keskitaajuuksien ja korkeiden taajuuksien väliin jäävää aluetta hyödynnetään radiolinkeissä. Savon Voimakin on rakentanut omat runkoyhteydet käyttämällä radiolinkkejä 7,15,18 ja 23 GHz taajuuksilla ja käytetty taajuus riippuu radiolinkkijänteen pituudesta. Digitaalisten radiolinkkien tiedonsiirtonopeudet ovat 400–800 Mbit/s luokkaa, mutta korkeampiinkin nopeuksiin voidaan päästä käyttämällä soveltuvia tekniikoita. (Traficom, 2021) Liikenne on Savon Voimalla rajoitettu runkoyhteyksissä 100 Mbit/s nopeuteen, mikä viittaa juuri siihen, ettei verkossa liiku valtavia määriä liikennettä.

## 4 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyöni tavoitteena oli selvittää LTE- ja 5G-teknologioiden soveltuvuutta Savon Voiman tarpeisiin. Tarkoitukseni oli selvittää radiolaskennoilla, olisiko yksityinen ja paikallinen verkko ollut järkevä rakentaa 2,3 GHz taajuudella ja minkälaisen arkkitehtuurin se vaatisi. Kahden kohteen perusteella voidaan todeta, että 2,3 GHz taajuus ei yllä haluttuihin 10 kilometrin kantamiin, mutta taajamat sillä saataisiin peitettyä. Radiolaskennoissa 2,3 GHz taajuus ylsi noin 4-5 kilometrin päähän tukiasemista, mutta metsät rajoittivat taajuuden kuuluvuutta selkeästi, koska näin korkea taajuus ei pysty läpäisemään puita tehokkaasti. WiMAX-teknologian korvaajaksi yksityinen matkaviestinverkko olisi mahdollinen kahden kohteen perusteella, mutta taajaman ulkopuolella olevia erotinasemia ei ole mahdollista saada 2,3 GHz solujen sisälle nykyisistä mastopaikoista. Mikäli Savon Voima haluaisi luoda tietoliikennetyhteydet kaikkiin erotinasemiin matkaviestinverkolla, niin silloin olisi käytettävä matalampaa taajuutta tai lisättävä mastopaikkoja. Tällä hetkellä yksityisten ja paikallisten matkaviestinverkkojen käyttöön matalin taajuus on 2,3 GHz, mutta tulevaisuudessa tilanne voi olla toinen.

Opinnäytetyön pohjalta on mahdollista jatkaa tutkimusta useampaan kohteeseen ja selvittää, minkälaisia tuloksia saadaan ympäri Savon Voiman toimialuetta. Radiolaskennan tulokset eivät ole koskaan aivan absoluuttisia, mutta hyvin suuntaa antavia. Laskennoissa käytettiin tehokasta radiota solujen koon maksimoimiseksi, mutta esimerkiksi asiakkaiden eli kohteiden kohdalla olisi mahdollista käyttää parempia antennia. Tämä ei kuitenkaan riittäisi yksinään tavoiteltuun 10 kilometrin kantamaan. Opinnäytetyön aikana pääsin tutustumaan tarkemmin ennestään tuntemattomiin teknologioihin, minkä takia tutkimuksen tekeminen oli erittäin mielekästä. Ymmärrykseni matkaviestinverkoista sekä muista langattomista verkoista kasvoi huomattavasti tutkimuksen aikana. Sain myös tehdä töitä alan ammattilaisten kanssa, jolloin sain vahvistusta tulosten oikeellisuudesta. Työ saatiin valmiiksi tavoiteajassa, vaikka laskentaympäristön pystyttäminen tuotti loppua kohti haasteita. Työn tilaaja oli tyytyväinen ja pitää työtä arvokkaana tutkimuksena tulevaisuuden teknologioita harkittaessa ja investointeja mietittäessä.

## 5 LÄHDELUETTELO

- 5gsoc. (28. 2. 2020). *5G Options*. Noudettu osoitteesta 5gsoc.org.uk: <https://5gsoc.org.uk/5g-options/>
- Aviat Networks. (18. 9. 2019). *Aviat Networks*. Noudettu osoitteesta Understanding FDD vs. TDD Microwave Systems: <https://blog.aviatnetworks.com/technology/understanding-fdd-vs-tdd-microwave-systems/>
- Bertenyi, B.;Burbidge, R.;Masini, G.;Sirotkin, S.;& Gao, Y. (3. 5. 2018). *NG Radio Access Network (NG-RAN)*. Noudettu osoitteesta [www.riverpublishers.com](http://www.riverpublishers.com):  
[https://www.riverpublishers.com/journal\\_read\\_html\\_article.php?j=JICTS/6/1/4](https://www.riverpublishers.com/journal_read_html_article.php?j=JICTS/6/1/4)
- CableFree. (1. 6. 2020). *Private 4G LTE in Band 48*. Noudettu osoitteesta private-lte.net: <https://www.private-lte.net/>
- DNA Oyj. (4. 2. 2021). *DNA tutkii 5G-verkon seuraavaa kehitysaskelta tuotantoverkossaan Pohjois-Helsingissä*. Noudettu osoitteesta STT Info: <https://www.sttinfo.fi/tiedote/dna-tutkii-5g-verkon-seuraavaa-kehitysaskelta-tuotantoverkossaan-pohjois-helsingissa?publisherId=1881&releaseId=69900087>
- Dobariya, P. (10. 1. 2020). *5G abbreviations*. Noudettu osoitteesta [www.blacktechnoguys.com](http://www.blacktechnoguys.com):  
<https://www.blacktechnoguys.com/2020/01/5g-abbreviations.html>
- Firmin, F. (ei pvm). *The Evolved Packet Core*. Haettu 3. 3. 2021 osoitteesta [www.3gpp.org](http://www.3gpp.org):  
<https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/100-the-evolved-packet-core>
- GSMA. (7. 2019). *5G Implementation Guidelines*. Noudettu osoitteesta [gsma.com](http://gsma.com):  
<https://www.gsma.com/futurenetworks/wp-content/uploads/2019/03/5G-Implementation-Guideline-v2.0-July-2019.pdf>
- Huo, Y.;Xu, W.;& Dong, X. (7. 2017). *5G Cellular User Equipment: From Theory to Practical Hardware Design*. Noudettu osoitteesta [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net):  
[https://www.researchgate.net/publication/315882425\\_5G\\_Cellular\\_User\\_Equipment\\_From\\_Theory\\_to\\_Practical\\_Hardware\\_Design](https://www.researchgate.net/publication/315882425_5G_Cellular_User_Equipment_From_Theory_to_Practical_Hardware_Design)
- LTE, Network Architecture*. (ei pvm). Haettu 3. 3. 2021 osoitteesta <https://www.tutorialspoint.com>:  
[https://www.tutorialspoint.com/lte/lte\\_network\\_architecture.htm](https://www.tutorialspoint.com/lte/lte_network_architecture.htm)
- Mikrobitti. (22. 6. 2020). *Tällainen on uusi 5g-taajuuskaista – listasimme myös kaikkien Suomessa myytävien 5g-puhelinten tuettavat kaistat*. Noudettu osoitteesta [www.mikrobitti.fi](http://www.mikrobitti.fi):  
<https://www.mikrobitti.fi/uutiset/tallainen-on-uusi-5g-taajuuskaista-listasimme-myos-kaikkien-suomessa-myytavien-5g-puhelinten-tuettavat-kaistat/9597cbae-27a4-4f86-9d40-7f2bf4407216>
- Mononen, A. (ei pvm). *Sähköverkot toimivat entistä luotettavammin*. Haettu 25. 2. 2021 osoitteesta [Enertec.fi](http://Enertec.fi):  
<https://www.enertec.fi/natiivi/399/sahko-verkot-toimivat-entista-luotettavammin>
- Mpirical. (24. 1. 2019). *www.youtube.com*. Noudettu osoitteesta What is 5G Core Network Architecture?:  
[https://www.youtube.com/watch?v=YVoCpqsPwmQ&ab\\_channel=Mpirical](https://www.youtube.com/watch?v=YVoCpqsPwmQ&ab_channel=Mpirical)
- NDC Networks. (ei pvm). *Kaukokäyttö-WiMAX syntyi vuonna 2013. Missä tänään mennään?* Haettu 29. 3. 2021 osoitteesta NDC Networks: <https://www.ndc.fi/post/2017/09/12/s-c3-a4hk-c3-b6yhti-c3-b6iden-wimax-radiotaajuusprojekti-valmista-tuli>
- Nokia. (ei pvm). *5G Spectrum bands explained*. Haettu 13. 4. 2021 osoitteesta [Nokia.com](http://Nokia.com):  
<https://www.nokia.com/networks/insights/spectrum-bands-5g-world/>
- Sathyanarayan, S. (17. 12. 2020). *Standalone (SA) and Non-Standalone (NSA) 5G Architectures: The various paths to 5G revenues and profitability*. Noudettu osoitteesta <https://www.affirmednetworks.com/>:  
<https://www.affirmednetworks.com/sa-and-nsa-5g-architectures-the-path-to-profitability/>
- Savon Voima. (ei pvm). *savonvoima.fi*. Haettu 25. 2. 2021 osoitteesta <https://savonvoima.fi/tietoa/savonvoima/>

- Sjöqvist, L.-I. (5. 10. 2016). *What is radio link?* Noudettu osoitteesta Gapwaves: <http://blog.gapwaves.com/what-is-a-radio-link>
- Traficom. (18. 11. 2018). *Taajuusmaksulla ohjataan taajuuksien käyttöä*. Noudettu osoitteesta Traficom.fi: <https://www.traficom.fi/fi/viestinta/viestintaverkot/taajuusmaksulla-ohjataan-taajuuksien-kaytto>
- Traficom. (3. 4. 2021). *Lausuntopyyntö radiotaajuusmääräyksen (M4) luonnoksesta*. Noudettu osoitteesta lausuntopalvelu.fi: <https://www.lausuntopalvelu.fi/FI/Proposal/Participation?proposalId=c52973a0-1050-4317-9675-4576b2aae9fe>
- Traficom. (16. 3. 2021). *Matkaviestinverkkojen taajuudet ja luvanhaltijat*. Noudettu osoitteesta Traficom: <https://www.traficom.fi/fi/viestinta/viestintaverkot/matkaviestinverkkojen-taajuudet-ja-luvanhaltijat>
- Traficom. (15. 2. 2021). *Radiolinkeillä kiinteitä tiedonsiirtoyhteyksiä*. Noudettu osoitteesta Traficom.fi: <https://www.traficom.fi/fi/viestinta/viestintaverkot/radiolinkeilla-kiinteita-tiedonsiirtoyhteyksia>
- Traficom. (26. 1. 2021). *Taajuuskaistan 2300-2320 MHz käyttö*. Noudettu osoitteesta Traficom.fi: <https://www.traficom.fi/fi/viestinta/viestintaverkot/taajuuskaistan-2300-2320-mhz-kaytto>
- Tutorials Point. (ei pvm). *LTE Network Architecture*. Haettu 3. 3. 2021 osoitteesta tutorialspoint.com: [https://www.tutorialspoint.com/lte/lte\\_network\\_architecture.htm](https://www.tutorialspoint.com/lte/lte_network_architecture.htm)
- Vaaranto, E. (19. 4. 2017). *Suomen jakeluverkon tulevaisuuden muutoksia*. Noudettu osoitteesta Theseus.fi: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/125712/vaaranto\\_erkki.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/125712/vaaranto_erkki.pdf?sequence=1)
- Wallenius, N. (6. 11. 2019). *Konttiteknologia – mitä kontit ovat ja mitä hyötyä niistä on?* Noudettu osoitteesta niklaswallenius.fi: <https://niklaswallenius.fi/konttiteknologia-mita-hyotya/>
- viavisolutions. (ei pvm). *5G Architecture*. Haettu 10. 3. 2021 osoitteesta [www.viavisolutions.com](http://www.viavisolutions.com): <https://www.viavisolutions.com/en-us/5g-architecture#:~:text=5G%20Core%20Architecture&text=The%20new%205G%20core%2C%20as,of%20traff%20from%20end%20devices>.
- Wikipedia. (ei pvm). *Radioaallot*. Haettu 30. 3. 2021 osoitteesta Wikipedia: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Radioaallot>
- Vironen, P. (11. 3. 2013). *Kuusi vuotta vanha laajakaista sai purkutuomion: "Tästä ei tullut ekosysteemiä. Varaosia mahdoton saada"*. Noudettu osoitteesta Yle.fi: <https://yle.fi/uutiset/3-6531999>