

Kimmo Haapakoski

KÄYTÄNNÖT PUHELIMEN LIITTÄMISEEN TESTILINJOILLE

KÄYTÄNNÖT PUHELIMEN LIITTÄMISEEN TESTILINJOILLE

Kimmo Haapakoski
Opinnäytetyö
Kevät 2022
Tietotekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Tietotekniikan tutkinto-ohjelma, ohjelmistosuunnittelu

Tekijä: Kimmo Haapakoski

Opinnäytetyön nimi: Käytännöt puhelimen liittämiseen testilinjalle

Työn ohjaaja: Teemu Korpela

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2022

Sivumäärä: 35

Opinnäytetyön aihe oli suunnitella käytännöt puhelimen liittämiseen Nokian tukiasematestilinjalle. Käytössä olevat puhelimet olivat kaupallisesti saatavilla. Erilaisia testilinjaa, ohjelmistoja ja tapoja yhdistää niihin puhelin oli paljon. Tarkoituksena oli koota näistä vaatimuksista ja toteutuksista käytännöt, joilla vähennetään virheitä ja parannetaan kustannustehokkuutta.

Työssä suunniteltiin vaatimukset täyttävät kytkennät, joissa puhelimet yhdistettiin soluihin antennilla tai fyysisesti liittämällä. Aikaisin selvisi, että fyysisellä kytkentätavalla kytkennän monimutkaisuus kasvaa nopeasti. Siksi kytkennöissä ehdotettiin käytettäväksi antennia.

Eri kytkentätapoja verrattiin toisiinsa mittaamalla puhelimen ja tukiaseman signaalin laatua. Yksi käytössä olevista antennista ei tukenut kaikkia vaadittuja taajuuksia. Mitatessa signaaleja antennia verrattiin toisiinsa, jotta kaikkien antennien toimivuudesta voitiin varmistua.

Testeissä selvisi, että kaikilla kytkentätavoilla saavutettiin huomattavasti voimakkaampi ja laadukkaampi signaali kuin oli tarpeen. Laadultaan kaikki kytkennät olivat samaa luokkaa. Signaalin voimakkuudessa fyysisellä kytkentätavalla saavutettiin odotetusti voimakkaampi signaali.

Lopullisissa kytkennöissä päädyttiin käyttämään antennia. Lähes kaikki työlle asetetut tavoitteet saavutettiin. Vaatimusten täyttämiseen tarvittiin kaksi kytkentää, koska kaksi vaatimusta olivat keskenään ristiriidassa.

Asiasanat: tukiasema, testilinja, kytkentä, käytännöt

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Information Technology, software development

Author: Kimmo Haapakoski

Title of thesis: Practices for connecting a mobile phone to test lines

Supervisor: Teemu Korpela

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2022

Number of pages: 35

The purpose of this thesis was to unify the way mobile phones are connected to Nokia's base station test lines. The phones were commercially available. There were many different kinds of test lines, test software and ways to connect the phones. The aim of this work was to reduce errors and improve cost efficiency.

In this thesis connections were planned in which phones were connected to a cell by antennas or by physical connection. At early stage it was revealed that physical connection got more complicated rapidly. That is why connections were proposed to use antennas.

Different connection styles were compared to each other by measuring signal between cell and a phone. One of the available antennas did not support all required frequencies. When measuring signals antennas were compared to each other to make sure that they all work well.

During tests it was clear that all the connections had much stronger and better quality signal than needed. Signal quality was similar on every connection. Stronger signal was achieved on physical connection style as expected.

The final connections ended up using antennas. Almost all the goals set on the work were achieved. Two connections were needed to fulfil requirements because of two of the requirements were in conflict with each other.

Keywords: base station, test line, connection, practices

SISÄLLYS

SANASTO.....	7
1 JOHDANTO.....	8
2 5G-TESTILINJAT.....	9
2.1 Tehosummain.....	9
2.2 Vaimennin	10
2.3 Signaali	10
2.3.1 RSSI	10
2.3.2 RSRP.....	10
2.3.3 SINR	11
2.3.4 RSRQ	11
2.4 MIMO	11
2.5 NSA.....	11
2.6 Itsenäinen 5G tukiasema.....	12
2.7 Taajuudet	13
3 ESITUTKIMUS.....	14
3.1 Eri linjakonfiguraatiot	14
3.2 Puhelimet	14
3.3 Antennit.....	15
3.3.1 Taajuusalue	16
3.4 Hallintaohjelmat.....	18
3.5 Vaimentimet	18
3.6 Tehosummaimet.....	18
3.7 RF-laatikko	18
4 TOTEUTUS	20
4.1 Radio.....	20
4.2 Ilmarajapinta.....	21
4.3 Fyysinen kytkentätapa.....	21
4.4 Tehosummaimet.....	21
4.5 Puhelimet	22
4.6 Yhteenvedo	22
5 TESTAUS.....	24

5.1	Testaustapa.....	24
5.2	TC-93026A.....	24
5.3	TC-93023B.....	26
5.4	Fyysinen kytkentätapa.....	29
5.5	Analyysi.....	31
5.5.1	Signaalin voimakkuus	31
5.5.2	Signaalin laatu	32
5.5.3	Yhteenveto.....	32
6	YHTEENVETO	33
	LÄHTEET.....	35

SANASTO

3GPP	3rd Generation Partnership Project. Standardointijärjestöjen yhteistyöorganisaatio, jonka tarkoitus mobiiliverkkoja ja mobiilitiedonsiirtoa.
4G-ankkuri	Ensimmäiset 5G-tukiasematyypit ovat kiinni 4G-tukiasemassa, jonka kautta tapahtuu kaikki liikenne runkoverkkoon. Tätä 4G-tukiasemaa kutsutaan ankkuriksi.
dBm	Desibelimilliwatti. Logaritminen tehon yksikkö. $1 \text{ W} = 30 \text{ dBm}$
MIMO	Multiple Input Multiple Output. Mobiiliverkoissa käytetty tekniikka, jossa dataa siirretään ja vastaanotetaan useammalla kuin yhdellä antennilla.
NSA	Non-Standalone. 5G tukiasematyyppi, joka vaatii 4G tukiaseman toimiakseen.
RSRP	Reference Signal Received Power. Arvo, jolla kuvataan UE:n tukiasemalta vastaanottaman signaalin voimakkuutta käytetyllä kanavalla.
RSRQ	Reference Signal Received Quality. Arvo, jolla kuvataan vastaanotetun signaalin laatua ja voimakkuutta.
RSSI	Received Signal Strength Indicator. Arvo, jolla kuvataan vastaanotetun signaalin voimakkuutta.
SINR	Signal to Interference plus Noise Ratio. Arvo, jolla kuvataan kuunneltavan signaalin voimakkuutta suhteessa kohinaan ja häiriöihin.
SWR	Standing Wave Ratio. Seisovan aallon suhde.
SA	Standalone. Itsenäinen 5G tukiasematyyppi.
UE	User Equipment. Mikä tahansa laite, joka yhdistetään tukiasemaan. Tässä opinnäytetyössä se on puhelin.

1 JOHDANTO

Olen työskennellyt Nokialla kesästä 2020 lähtien. Työtehtävissäni aloitin testiautomaation parissa. Tämän jälkeen olen laajentanut osaamistani tukiasemalaitteiden testilinjojen ylläpitoon. Tilanteen vaatiessa olen myös tehnyt kytkentöjä. Joissakin tilanteissa tukiaseman testaaminen vaatii puhelimen kytkemistä siihen, mistä päästään tämän työn aiheeseen.

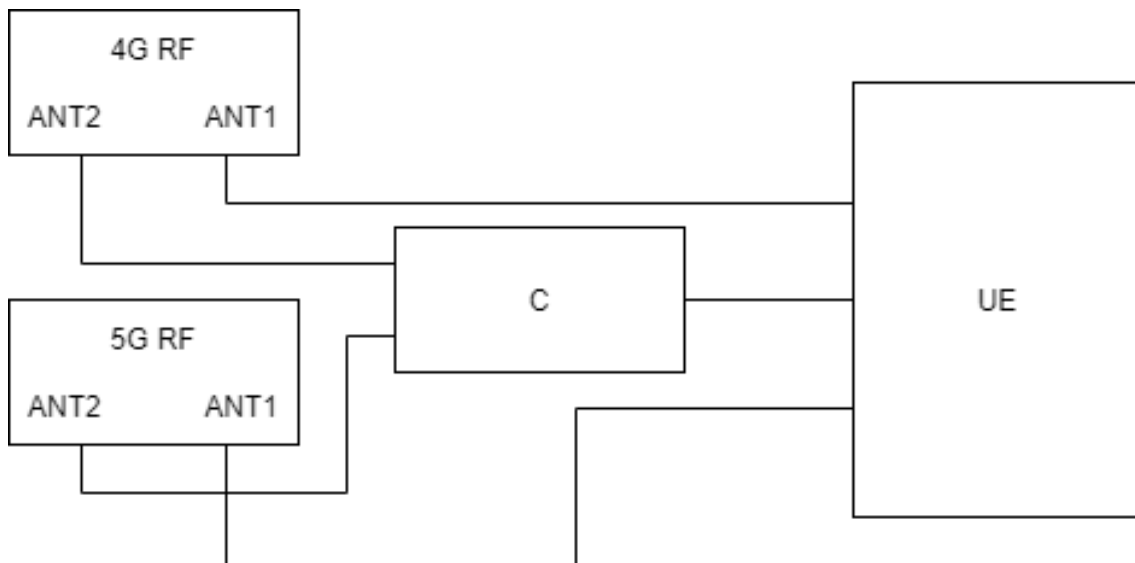
Puhelimen kytkeminen tukiasemaan on suhteellisen yksinkertaista. Tähän ei kuitenkaan ole standardia. Testistä riippuen vaatimukset kytkennälle voivat olla erilaiset. Tästä syntyi tarve suunnitella kaikki vaatimukset täyttävät kytkentätavat tukiasematestilinjoille. Kytkennöiltä vaaditaan yksinkertaisuutta virheiden minimoimiseksi. Lisäksi kytkentöjen olisi täytettävä erilaisten testien vaatimukset mahdollisimman kattavasti, jotta kytkennät voisivat olla samanlaisia kaikilla linjoilla.

2 5G-TESTILINJAT

Työ aloitettiin selvittämällä, millaisista komponenteista tukiasematestilinjoja rakennetaan ja kuinka signaalin laatua mitataan. Tämän jälkeen käytiin läpi, millaisia tukiasematyyppejä on ja kuinka ne kytetään puhelimeen.

2.1 Tehosummain

Tehosummain on komponentti, jolla voidaan yhdistää kaksi, tai useampi radiosignaali yhdeksi. Tehosummainet toimivat molempiin suuntiin, jolloin yksi sisään tuleva signaali voidaan jakaa kahteen tai useampaan ulos lähtevään signaaliin. Tällä tavoin yhden antennin sisältävä laite voidaan liittää fyysisesti toiseen useamman antennin omaavaan laitteeseen ja laitteet pystyvät kommunikoimaan toisilleen radiosignaalien vuotamatta ulkopuolelle. Kuvassa 1 on esimerkki tehosummainen käytöstä puhelimen yhdistämisessä tukiasemaan.



KUVA 1. 4G- ja 5G-tukiasemat tehosummainella. Puhelimessa on vain 3 sopivaa antennia. Kaksi antennia on yhdistetty fyysisesti samaan puhelimen antenniin tehosummainella.

2.2 Vaimennin

Vaimennin on komponentti, jolla vaimennetaan läpi kulkevaa radiosignaalia. Vaimennin toimii molempiin suuntiin, joten sen voi asettaa kahden keskenään kommunikoivan antennin välille. Syy vaimennimen käyttöön on laitteiden ja ihmisten suojele voimakkaalta radiosäteilyltä. Jos lähettävän laitteen maksimiteho on suurempi kuin mihin vastaanottava laite on suunniteltu, väliin asetettu vaimennin estää vääristä tehoasetuksista johtuvat laitteiden vikaantumiset. Laittamalla vaimennin myös käyttämättömiin antenniportteihin varmistetaan, että missään tilanteessa ympäristöön ei voida vaarallisen voimakasta radiosäteilyä.

2.3 Signaali

2.3.1 RSSI

Received Signal Strength Indicator eli RSSI on kaikkien vastaanotettujen signaalien voimakkuus summattuna. Tämä pitää mukanaan myös kohinan ja häiriöt. Siksi yksin siitä ei voi tehdä päätelmiä yhteyden laadusta. Yhteyden muodostamiseen vaaditaan vähintään -95 dBm:n signaali ja yli -65 dBm:a voidaan pitää erinomaisena (3). Matalalla kuuluvuudella on suuri vaikutus yhteyden laatuun ja tiedonsiirron nopeuteen.

2.3.2 RSRP

Reference Signal Received Power eli RSRP on vastaanotetun signaalin tehon suhde käytettyyn kaistanleveyteen. Yhteyden muodostamiseen vaaditaan vähintään -100 dBm ja yli -80 dBm voidaan pitää erinomaisena (3).

Käytetty kaista koostuu sen reunojen käyttämättömistä varoalueista ja käytetystä alueesta, joka on jaettu pienempiin resursseihin. Varoalueella vähennetään signaalin aiheuttamia häiriöitä muilla kaistoilla. Käytetyn kaistan resursseilla on keskenään sama kaistanleveys. Varoalueen minimikoko on riippuvainen näiden resurssien ja käytetyn kaistan kaistanleveydestä. Esimerkiksi taajuuskais-talla n78 nämä resurssit voivat olla 15 kHz:n 30 kHz:n tai 60 kHz:n kokoisia. Jos käytetään 20 MHz:n kaistanleveyttä, on varoalue vastaavasti minimissään $452,5$ MHz 805 MHz tai 1330 MHz ja resursseja korkeintaan 106 , 51 , tai 24 .

2.3.3 SINR

Signal to Interference plus Noise Ratio eli SINR on kuunnellun signaalin suhde kohinan ja häiriöiden summaan. Toisin kuin RSRP SINR ei ota tehoa huomioon kaistanleveyttä. Yhteyden muodostamiseen vaaditaan vähintään 0 dB ja yli 20 dB:ä voidaan pitää erinomaisena (3).

2.3.4 RSRQ

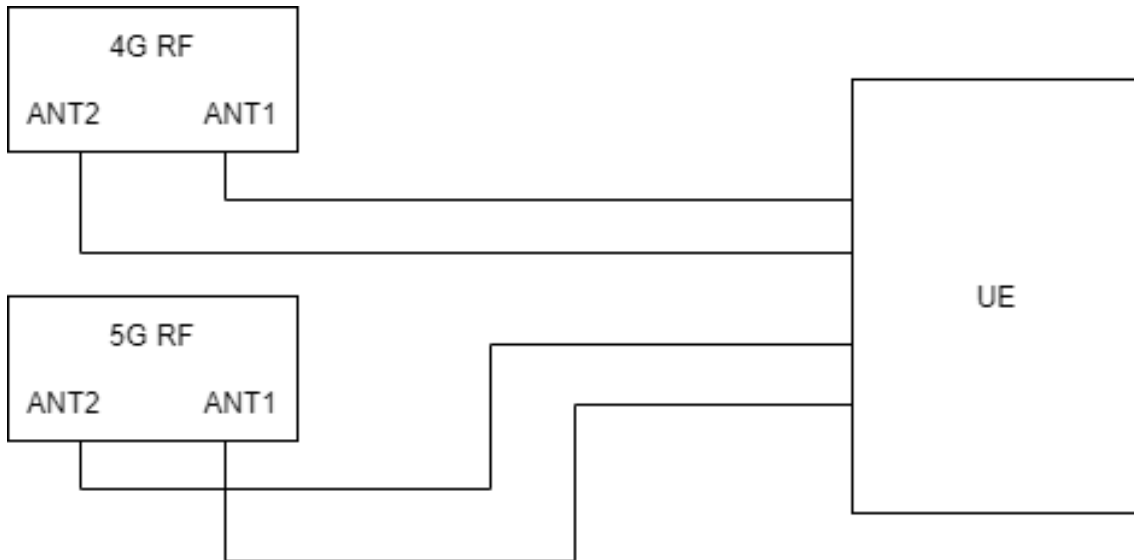
Reference Signal Received Quality eli RSRQ on taajuuskaistan resurssien määrän N :n ja RSRP:n tulon suhde RSSI:n. $RSRQ = N * RSRP / RSSI$. Käytetään signaalin laadun kuvaamiseen, kun pelkkä RSRP ei riitä. Yhteyden muodostamiseen vaaditaan vähintään -20 dB:ä ja yli -10 dB:ä voidaan pitää erinomaisena (3).

2.4 MIMO

Multiple Input Multiple Output eli MIMO on ensimmäisen kerran kolmannen sukupolven mobiiliverkoissa käyttöön otettu tekniikka, jossa lähettämiseen ja vastaanottamiseen käytetään useaa antennia samanaikaisesti. Massive MIMO eli mMIMO on vain markkinointitermi. Sillä tarkoitetaan 5G:n mahdollistamaa entistä suurempaa antennimäärää, mutta määrät ovat avoimia. Kuvassa 1 näkyvässä 5G tukiasemassa on käytössä 4x4 MIMO:lla.

2.5 NSA

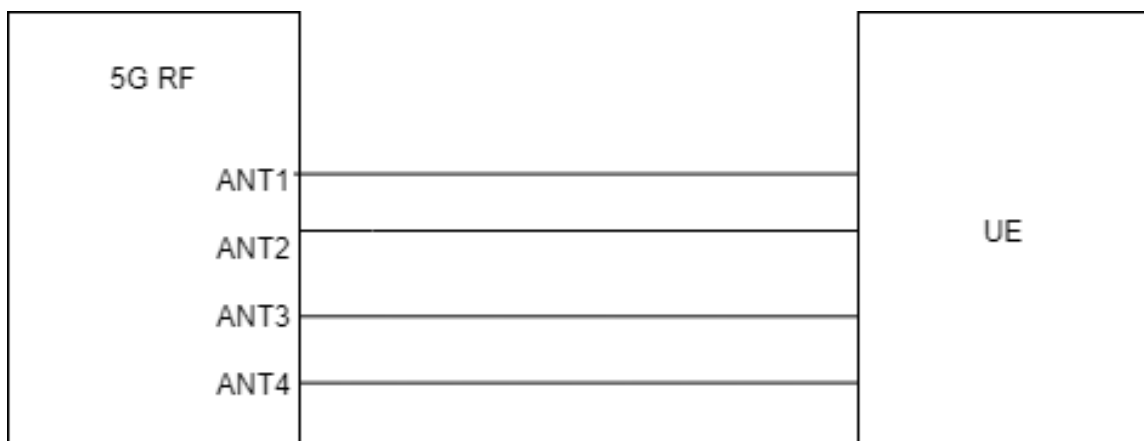
Non-Standalone eli NSA on 3GPP:n 15. julkaisussa tullut ensimmäisen vaiheen 5G tukiasematyypin. Tämän tyyppin 5G tukiasema vaatii 4G tukiaseman toimiakseen ja UE muodostaa yhteyden ensiksi 4G tukiasemaan, josta se siirtyy 5G tukiasemaan sen ollessa mahdollista. UE voi olla yhteydessä molempiin samanaikaisesti ja kaikki liikenne runkoverkkoon menee 4G tukiaseman kautta. Testilinjalla tämä tarkoittaa sitä, että puhelimen antennit on yhdistettävä sekä 4G, että 5G tukiasemaan.



KUVA 2. 5G-tukiasema 4x4 MIMO:lla. Puhelin voi lähettää, vastaanottaa dataa sekä 4G- että 5G-radion kautta

2.6 Itsenäinen 5G tukiasema

Standalone eli SA on 3GPP:n 15. julkaisussa ja NSA:ta myöhemmin julkaistu itsenäinen 5G tukiasematyyppe. Tämän tyyppin tukiasema ei vaadi 4G tukiasemaa toimiakseen. Koska SA tuli NSA:a myöhemmin, osa UE:ista on yhteensopivia vain 5G-NSA-tukiasemien kanssa. Kuvassa kolme nähdään esimerkki 5G-NSA-tukiasemasta yhdistettynä puhelimeen.



KUVA 3. 5G SA 4x4 MIMO:lla. Puhelin voi lähettää ja vastaanottaa kaikilla neljällä antennilla.

2.7 Taajuudet

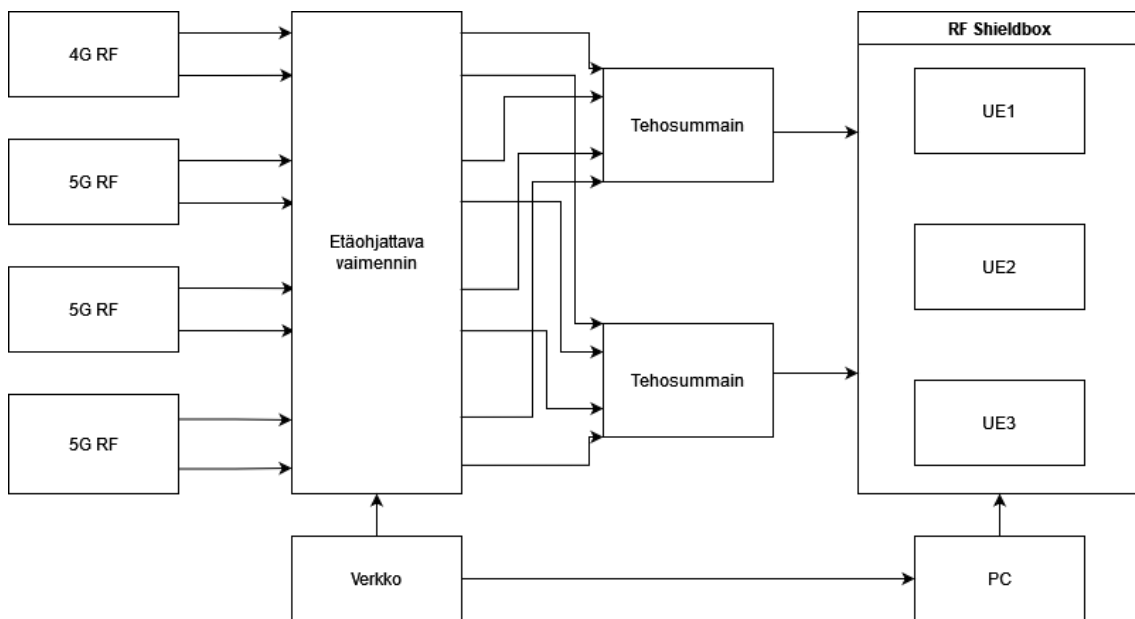
Mobiiliverkoille varatuilla taajuuskaistoilla on eroja eri maiden välillä. Erityisesti Yhdysvalloissa on käytössä omia kaistoja. Tämän takia yhdestä puhelimesta voi olla useita aluekohtaisia malleja, jotka eroavat vain tuetuilta taajuuskaistoiltaan.

3 ESITUTKIMUS

Työtä jatkettiin selvittämällä, kuinka monimutkaisia kytkentöjä linjoilta enimmillään vaaditaan. Tämän jälkeen tutkittiin, millaisia ominaisuuksia käytössä olevilla komponenteilla on sekä mitä pitää ottaa huomioon linjoja rakentaessa ja myöhemmin testatessa rakennettuja kytkentöjä.

3.1 Eri linjakonfiguraatiot

Nokialla on lukuisia erilaisia tukiasemalinjatyyppejä. NSA- ja SA-linjojen välillä ei ole eroa puhelinten yhdistämisen kannalta. Sen sijaan puhelinten ja 5G-solujen määrällä voi olla paljonkin vaikutusta. Tämän takia aiemmin esiteltujen linjatyyppeiden rinnalle otetaan suunnittelussa kolmen solun 5G-NSA-4x4-MIMO-linja kolmella puhelimella. Linjalla on lisäksi etäohjattava vaimennin ja hallinta-PC puhelinten käyttöön. Jos suunnitellut käytännöt toimivat näillä linjatyypeillä, ne toimivat käytännössä kaikilla. Kuvassa 4 näkyy kyseinen kytkentä.



KUVA 4. 5G-NSA-testilinja kolmella 5G-solulla ja 4x4-MIMO:lla.

3.2 Puhelimet

Käytössä on Samsungin Galaxy S20 5G. Puhelimesta on lukuisia eri markkinoille tarkoitettuja malleja, jotka tukevat eri taajuuskaistoja. Esimerkiksi Yhdysvaltain markkinoille tarkoitettu malli SM-

G981U tukee 5G:n kaistaa n71 ja Etelä-Korean markkinoille tarkoitettu SM-G981N tukee kaistaa n78. Tämän takia joka linjalla ei voi käyttää samaa puhelinta, vaan puhelin on valittava testattujen taajuuskaistojen mukaan.

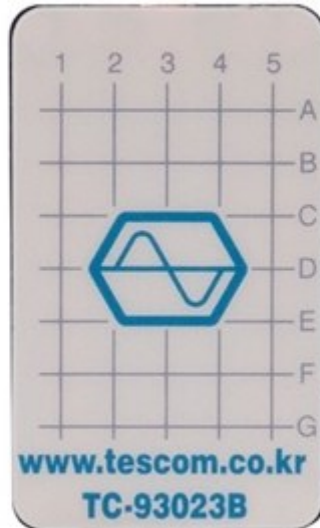
3.3 Antennit

Antennit yhdistetään radioihin koaksiaalikaapelilla. Antennien sijoittelusta ja signaalin heijastumisesta riippuen interferenssi voi joissain paikoin aiheuttaa häiriötä ja heikentää kuuluvuutta. Siksi antenneja käytettäessä niiden sijoittaminen on tarkkaa, mikäli haetaan maksimaalisen hyvää kuuluvuutta ja tiedonsiirtonopeutta. Se ei ole tämän työn tarkoitus, joten antennien optimaaliseen sijoitteluun ei käytetä aikaa.

Ensimmäinen käytössä olevista antenneista on Tescomin TC-93026A. Antenni on suunniteltu toimimaan taajuusalueella 800 MHz:ä – 6000 MHz:ä (5). Toinen käytössä olevista antenneista on Tescomin TC-93023B. Antenni on suunniteltu toimimaan taajuusalueella 700 MHz:ä – 3000 MHz:ä (4). Antennit ovat näkyvissä alla.



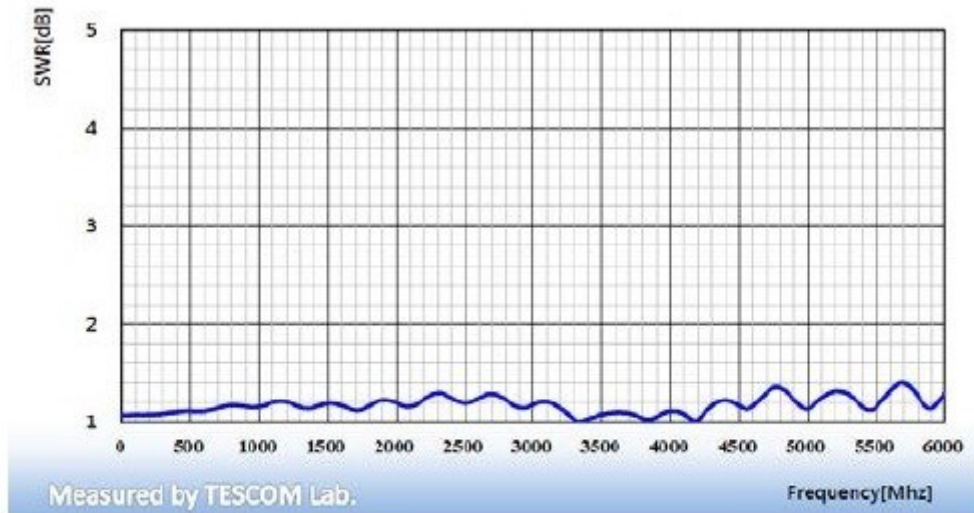
KUVA 5. TC-93026A-antenni.



KUVA 6. TC-93023B-antenni.

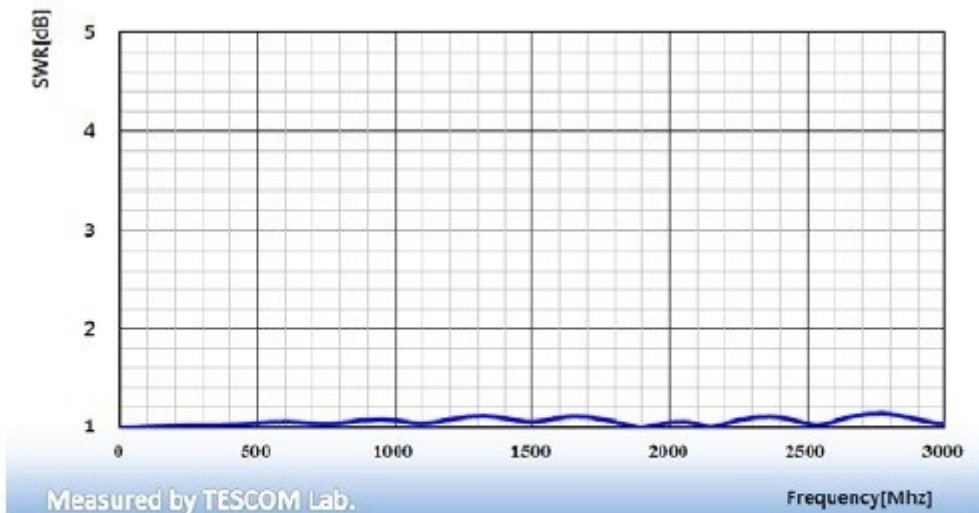
3.3.1 Taajuusalue

Taajuuskaistalla n71 käytetään 617 MHz:n – 652 MHz:n ja 663 MHz:n – 698 MHz:n taajuusalueita. Tämä on vähemmän kuin valmistajan ilmoittamat minimitaajuudet 700 MHz ja 800 MHz. Se ei kuitenkaan tarkoita, etteivätkö antennit toimisi näitä pienemmilläkin taajuuksilla. Kuvissa 7 ja 8 kuvataan antennien toiminnasta eri taajuusalueilla.



Typical VSWR of TC-93026A

KUVA 7. Antennin TC-93026A SWR(dB) taajuuden funktiona (5).



Typical VSWR of TC-93023B

KUVA 8. Antennin TC-93023B SWR(dB) taajuuden funktiona. Huomaa, että maksimitaajuus tässä kaaviossa on 3 GHz:ä 6 GHz:n sijaan (4).

Kuvaajista on havaittavissa kolme asiaa. Molemmat antennit toimivat mainiosti alle 700 MHz:n taajuuksilla. Antennin TC-93023B toiminta eri taajuuksilla ei vaihtelee yhtä paljon kuin antennilla TC-93026A. Lisäksi antennin TC-93023B SWR on pienempi suurimmalla osalla taajuuksista, mikä näkyy voimakkaampana signaalina.

3.4 Hallintaohjelmat

Puhelimen ulkopuoliset hallintaohjelmat vaativat Windows -käyttöjärjestelmän ja USB-yhteyden puhelimeen. Myöskin puhelimeen asennettavia hallintaohjelmia on käytössä ja ne vaativat Android-käyttöjärjestelmän.

3.5 Vaimentimet

Käytössä on Signal Solutionsin 100 W:n ja 30 dB:n vaimentimia. Lisäksi löytyy 10 dB:n – 30 dB:n vaimentimia SMA-liittimellä, mikäli lisävaimennusta tarvitaan.

3.6 Tehosummaimet

Käytössä on yhdestä kahteen, kolmeen, tai neljään porttiin jakavia tehosummaimia. Portin maksimiteho 100 W.

3.7 RF-laatikko

Käytössä on Tescomin radiotaajuuksilta suojaava laatikko TC-5930A. Laatikon toiminta-alue on 100 MHz – 6 GHz ja vaimennus on vähintään 60 dB taajuudesta riippuen. Kaikki portit sijaitsevat takapaneelissa, joka on vaihdettavissa, jos tarvittavien porttien määrä muuttuu (6).



KUVA 9. TC-5930A RF-laatikko.

4 TOTEUTUS

Kun kaikki tarvittava teoria oli koottu, seuraavana oli vuorossa suunnitella uudet kytkentäkäytännöt linjoille. Tämä vaihe alkoi laskemalla, paljonko vaimennusta testilinjoilla tarvitaan. Seuraavaksi verrattiin eri kytkentätapoja aiemmin esitellyillä linjakonfiguraatioilla parhaan löytämiseksi.

4.1 Radio

Puhelimen kannalta ei ole väliä, mitä radiota se kuuntelee, kunhan taajuuskanava on tuettu. Kaikilla radioilla liittäminen tapahtuu samalla tavalla ja siinä törmätään samaan ongelmaan. Radion lähetysteho voi olla kymmeniä watteja ja puhelimesta voi olla kiinni useita radioita. Tositilanteessa vain murto-osa tästä signaalista otettaisiin vastaan puhelimesta. Testilinjalla puhelin voi olla koaksiaalikaapelilla kiinni radiossa, jolloin puhelin vastaanottaa huomattavasti suuremman osan signaalista. FCC:n suositus korkeimmaksi turvallisiksi radiosäteilyn intensiteetiksi ihmisille on $0,58 \text{ mW/cm}^2$ (9). Käytännössä tukiasemien läheisyydessäkään intensiteetti ei ole aivan näin suuri. Galaxy S20 Ultra 5G:n mitat $76,0 \text{ mm} \times 166,9 \text{ mm}$, mistä tulee $12\,684,8 \text{ mm}^2$ eli noin $12\,700 \text{ mm}^2$, tai 127 cm^2 (7). Olettaen, että antennin pinta-ala on yhtä suuri vastaanotetuksi tehoksi tulee $127 \text{ cm}^2 \times 0,58 \text{ mW/cm}^2 = 73,66 \text{ mW}$ eli noin 74 mW . Desibelimilliwatteina tämä on $18,67 \text{ dBm}$.

Tämän takia signaalia on aina vaimennettava, jotta puhelimet eivät olisi vaarassa hajota millään radion asetuksilla. Tähän käytetään aiemmin mainittuja 30 dB:n ja 100 W:a kestäviä vaimentimia, jotka kytketään suoraan radion antenniportteihin. Turvallisuussyistä kaikissa radion antenniportteissa on oltava vaimennin, vaikka ne eivät olisi käytössä.

Oletetaan, että puhelimesta on kiinni neljä radiota, joista yksi on ankkuri ja kaikkien lähetysteho on sama. Esimerkiksi Nokian AHLOA-radion maksimiteho antenniporttia kohden on 60 W:a (10). 4×4 MIMO:lla käytössä on kaksi AHLOA:n antenniporttia ja kaksi ankkurin antenniporttia. Yhteensä kahdeksan porttia, mikä tekee konfiguraation maksimitehoksi 480 W:a , tai $56,8 \text{ dBm}$. Tällöin vaimennuksen olisi oltava $56,8 \text{ dBm} - 18,67 \text{ dBm} = 38,13 \text{ dBm}$, eli noin 38 dBm .

FCC:n Galaxy S20:tä tekemästä raportista selviää, että puhelimen suurin lähetysteho on 370 mW:a $831,5 \text{ MHz:n} - 841,5 \text{ MHz:n}$ taajuuskaistalla (8). $370 \text{ mW} = 25,6 \text{ dBm}$. Samaa antennia käytetään

sekä lähettämiseen että vastaanottamiseen, jolloin sen on kestävä molemmat tehot. Jotta vastaanottoteho laskisi tälle tasolle, on vaimennuksen oltava $56,8 \text{ dBm} - 25,6 \text{ dBm} = 31,2 \text{ dB}$. 30 dB:n vaimennuksella teho ylittyisi 1,2 dB:llä. Toisin sanoen 30 dB:n vaimennuksella pahimmassa skenaariossa vastaanottoteho olisi 26 % suurempi kuin puhelimen suurin lähetysteho. 26 %:n ylistystä voidaan pitää hyväksyttävänä ja 30 dB:n vaimennusta näin ollen riittävänä.

4.2 Ilmarajapinta

Yksinkertaisin tapa yhdistää puhelin radioon on liittää radion antennijohdot pieniin antenneihin, joita puhelin kuuntelee. Tässä tavassa itse puhelimeen ei tarvitse tehdä mitään muutoksia. Tällä tavalla osa signaalista ei koskaan saavuta puhelimen tai radion antennia, mikä näkyy pienempänä vastaanottotehona. Lisäksi osa signaalista heijastuu RF-laatikon seinistä, minkä interferenssi voi heikentää kuuluvuutta.

4.3 Fyysinen kytkentätapa

Radion antennijohdot on mahdollista liittää fyysisesti puhelimeen. Tätä varten puhelimeen on tehtävä muutoksia. Muutostyö on kuitenkin hyvin yksinkertainen. Puhelimen piirilevyyn juotetaan paikkat antennijohtoille, jolloin radio on mahdollista kytkeä suoraan puhelimeen koaksiaalikaapelilla. Tällöin pienempi osuus signaalista häviää matkalla, mikä näkyy suurempana vastaanottotehona. Lisäksi pienempi osa signaalista heijastuu seinien kautta, mikä vähentää interferenssiä ja parantaa kuuluvuutta. Puhelin ei havaitse eroa fyysisen kytkentätavan ja ilmarajapinnan välillä. Antennit on kuitenkin kytkettävä oikeisiin radion portteihin, jotta yhteys voisi muodostua.

4.4 Tehosummaimet

Aiemmin mainittu kolmen solun 5G NSA 4x4 MIMO tukiasematyyppi vaatisi kaksi antennia joka solulle ja ankkurille. Yhteensä tämä vaatisi kahdeksan antennia ja antenniporttia RF-laatikkoon. Lisäämällä kaksi yhdestä neljään tehosummainta ennen RF-laatikkoa tarvittavien antennien ja antenniporttien määrä vähenisi kahteen.

4.5 Puhelimet

Puhelimet ovat RF-laatikoiden sisällä ja ne ovat yhdistettyinä hallinta-PC:hen USB-kaapelilla RF-laatikon takapaneelissa olevan USB-portin kautta. Yhden puhelimen kokoonpanossa ilmarajapinnan ja fyysisen kytkentätavan välillä ei ole suurta eroa. Mikäli puhelimia tahdotaan esimerkiksi kolme samaan laatikkoon, on takapaneelissa oltava kolme USB-porttia, tai kaikki puhelimet käyttävät samaa porttia USB-jakajan kautta. Koska kaikki puhelimet ovat kiinni samassa hallinta-PC:ssä, USB-jakajan käyttäminen vähentäisi tarvittavien USB-piuhojen määrää.

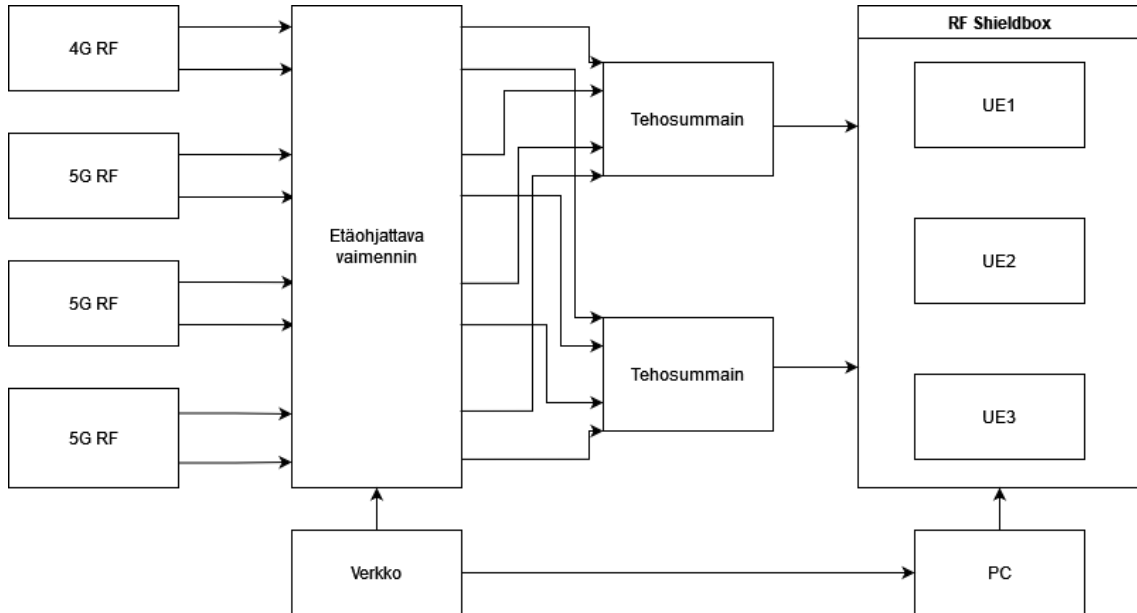
Useita puhelimia käytettäessä fyysinen kytkentätapa vaatisi tehosummaimien käyttämistä signaalien jakamiseen kaikille puhelimille. Tällöin kolmen solun 5G NSA 4x4 MIMO linjalla antennijohdot ensin yhdistettäisiin tehosummaimilla kahteen koaksiaalikaapeliin. Tämän jälkeen ne pitäisi jakaa kolmelle puhelimelle, jolloin kaapelien määrä nousisi kuuteen. Mikäli jakaminen tehdään ennen laatikkoa, antenniportteja tarvittaisiin kuusi. Jakamisen voisi tehdä myös RF-laatikon sisällä, jolloin tehosummaimet olisivat siellä puhelimen, antennipiuhojen ja mahdollisen USB-jakajan kanssa. Lisäksi signaalien jakaminen useammalle laitteelle ja jokainen lisätty komponentin tuoma vaimennus heikentäisi kuuluvuutta.

4.6 Yhteenveto

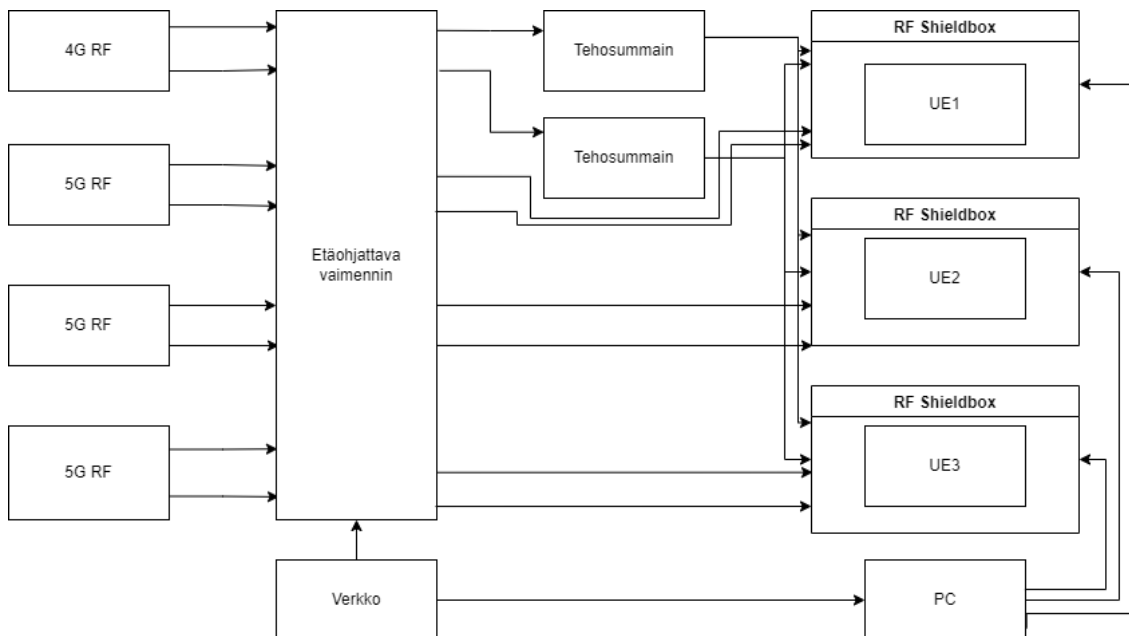
Fyysinen kytkentätapa saattaa tarjota parempaa kuuluvuutta yksinkertaisilla kytkennöillä, koska radion signaali kohdistuu suoraan puhelimen anteniin. Yhden solun ja UE:n kytkentä ei eroa merkittävästi käytettiin sitten fyysistä kytkentätapaa, tai ilmarajapintaa. Sen sijaan solujen ja UE:n määrän kasvaessa fyysisen kytkentätavan monimutkaisuus kasvaa nopeasti. Kytkennän monimutkaisuus ja lisätyt komponentit tekevät siitä alttiimman virheille ja heikentävät signaalia, jolloin fyysisen kytkentätavan edut katoavat.

Ilmarajapintaa käytettäessä UE:n määrä ei vaikuta kytkentään, jolloin niiden määrää voidaan muuttaa tarpeen mukaan. Joissain tapauksissa UE:n tahdotaan olevan solukohtainen, jolloin ne olisi eristettävä eri RF-laatikoihin. Nämä vaatimukset ovat keskenään ristiriidassa ja siksi kummallekin vaatimukselle on suunniteltava oma kytkentätapa.

Kuvissa 4 ja 10 on kaksi eri kytkentätapaa, jotka täyttävät kaikki vaatimukset. Molemmat kolmen solun 5G NSA kytkentöjä, joista toinen solukohtaisilla UE:illa. Mikäli seuraavissa testeissä kytkentöjen ei havaita haittaavan signaalia, voidaan alla olevat tavat ottaa käyttöön.



KUVA 4. 5G NSA kolmella solulla ja UE:illa. Kaikki UE:t kuulevat kaikki solut.



KUVA 10. 5G NSA kolmella solulla ja solukohtaisilla UE:illa.

5 TESTAUS

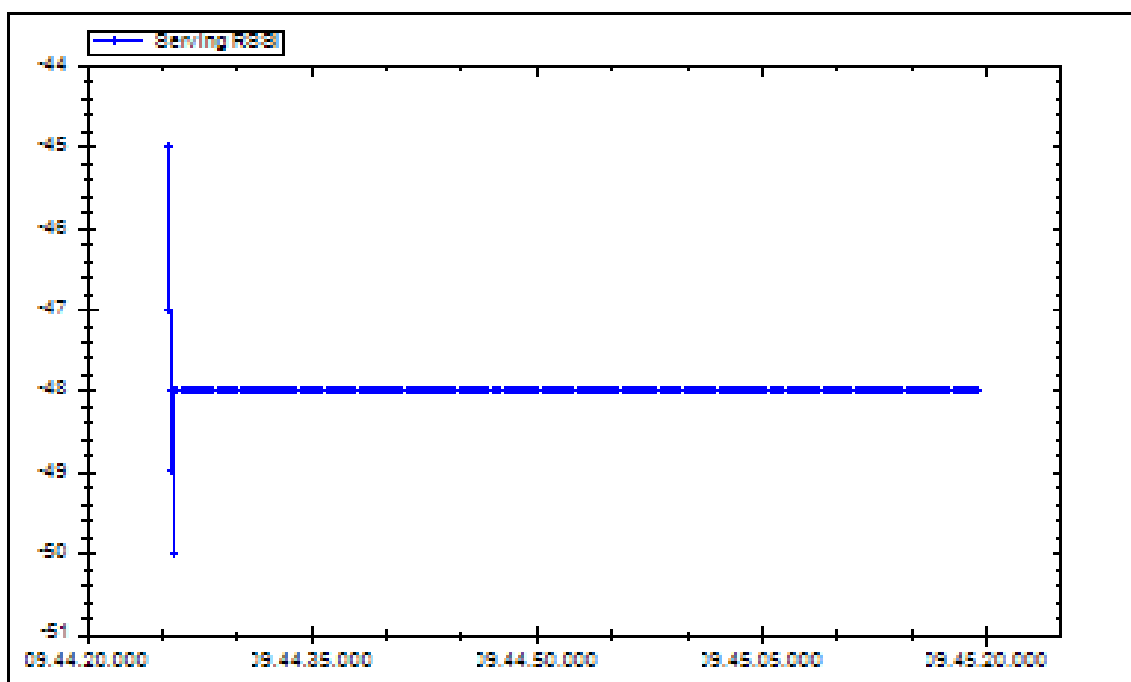
Tässä vaiheessa työtä oli jäljellä enää eri kytkentätapojen ja komponenttien testaaminen, jotta aiemmin tehdyistä päätelmistä voitaisiin varmistua kokeellisesti.

5.1 Testaustapa

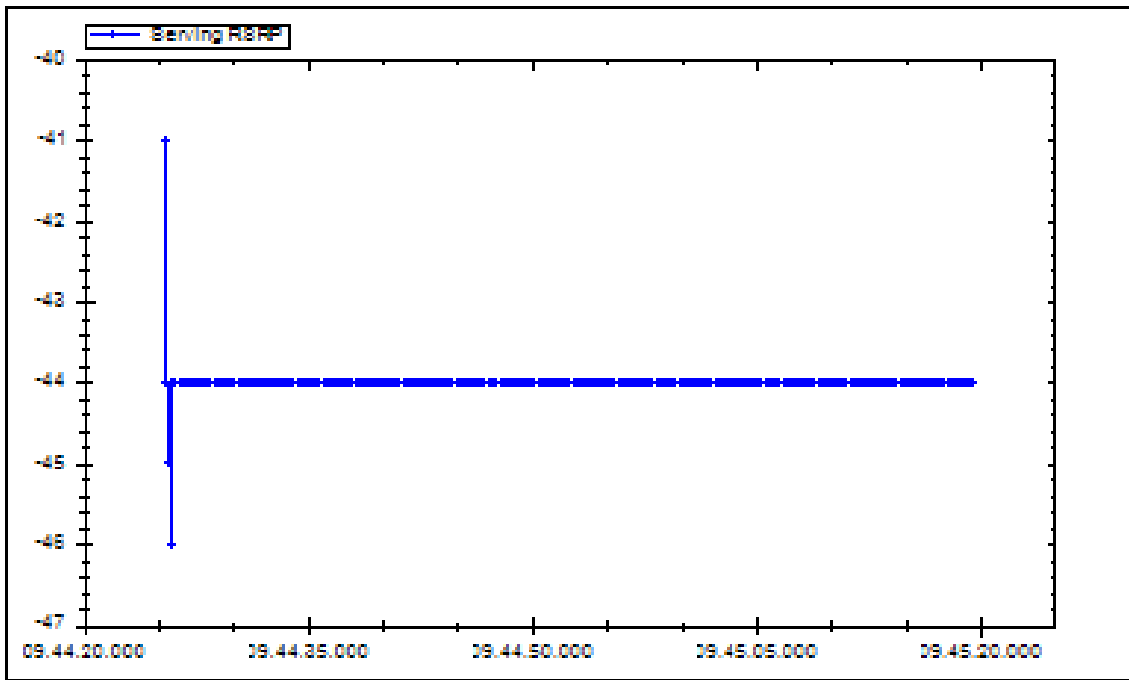
Eri kytkentätapojen vaikutusta signaaliin testataan yhden solun 5G NSA konfiguraatiolla. Taajuuskaista on 5G n78, jonka taajuus on 3,3 GHz – 3,8 GHz. Lähetysteho on kaikissa tapauksissa 20 dBm ja vaimennus 30 dB. Testin tarkoitus on vertailla antennien ja fyysisen kytkentätavan eroavaisuuksia. Signaalin laatua seurattiin minuutin ajan. Antennien asetteluun ei panosteta, mikä voi vaikuttaa signaaliin, mutta samalla se on lähempänä suunniteltua käyttötapaa.

5.2 TC-93026A

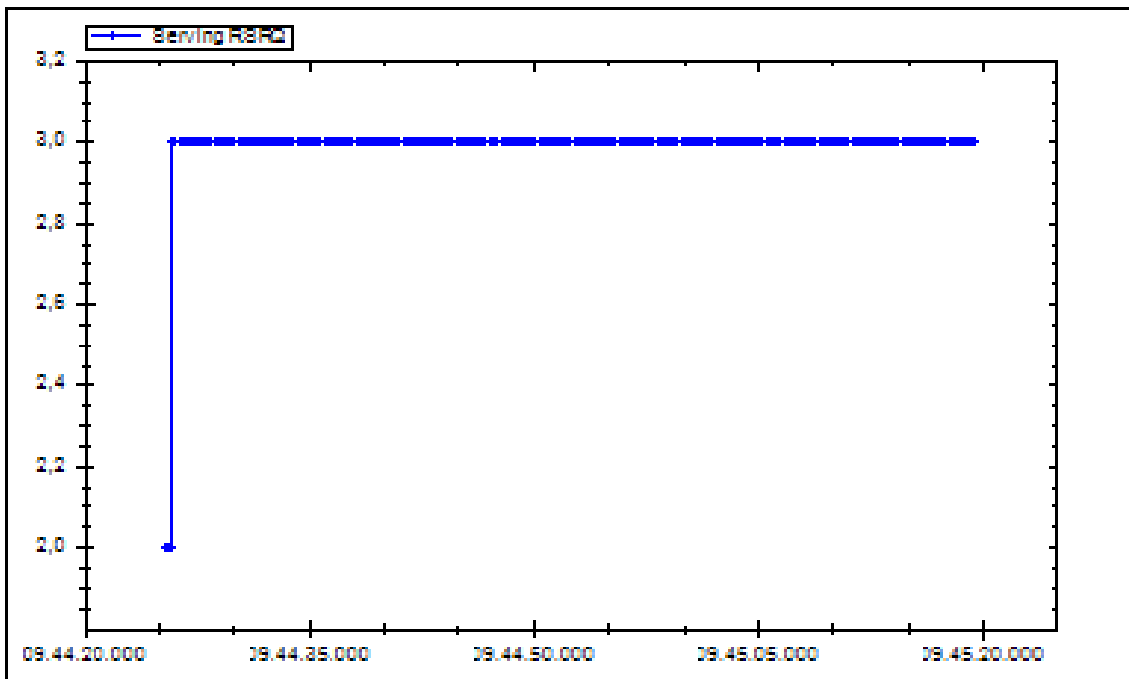
Tämä antenni toimi odotetusti hyvin kaikilla mittareilla. Testeissä RSSI oli -48 dBm, RSRP oli -44 dBm, RSRQ oli 3 dB ja SINR oli 30 dB. Kuvissa 11–14 mittaustulokset minuutin ajalta.



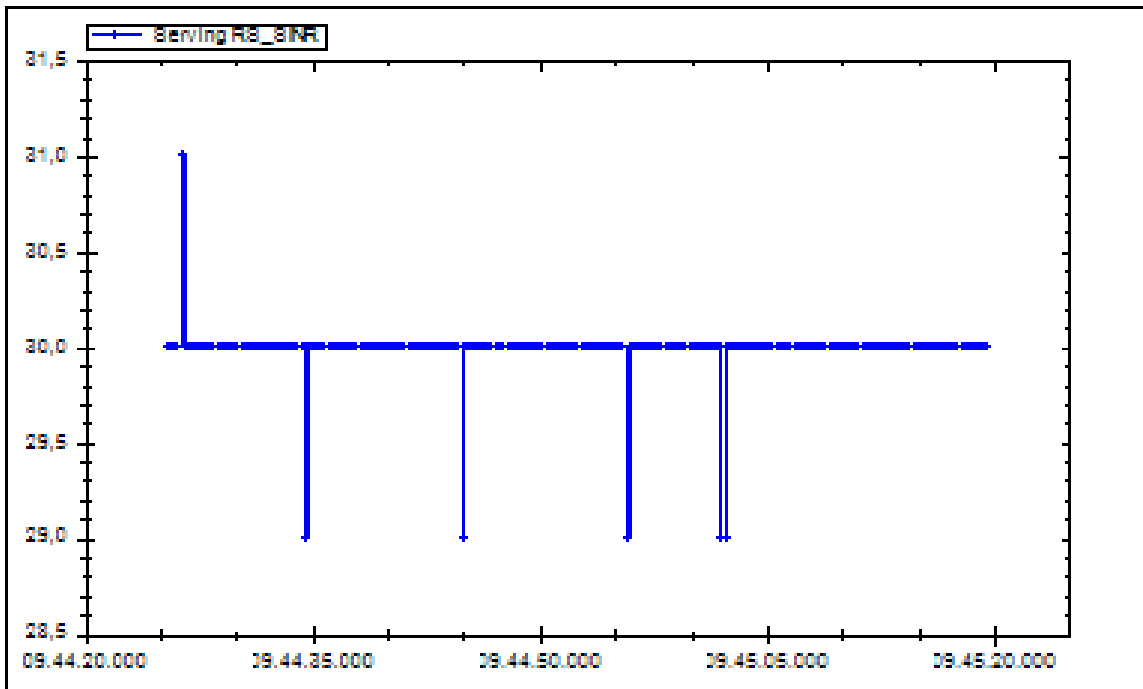
Kuva 11. TC-93026A RSSI.



Kuva 12. TC-93026A RSRP.



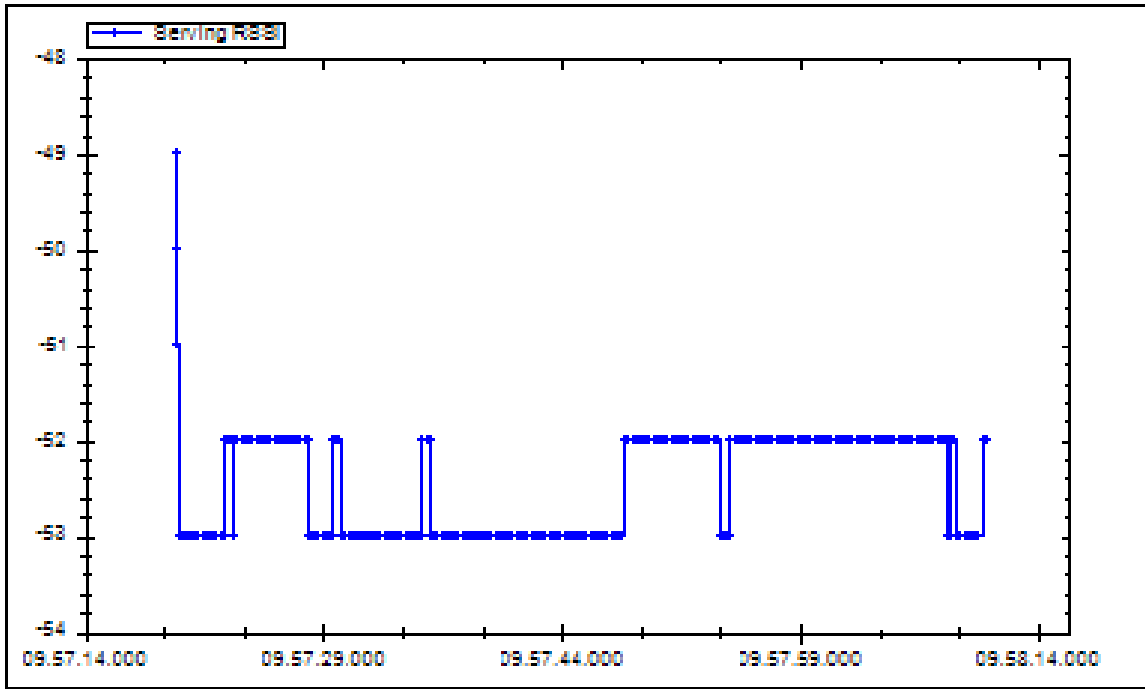
Kuva 13. TC-93026A RSRQ.



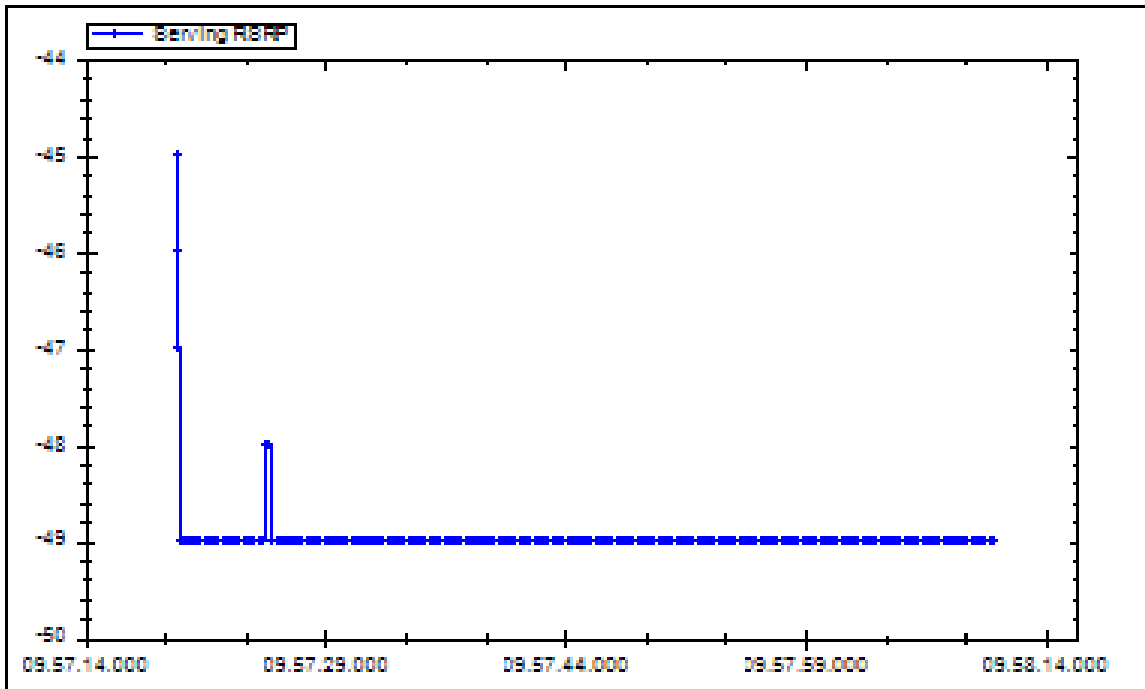
Kuva 14. TC-93026A SINR.

5.3 TC-93023B

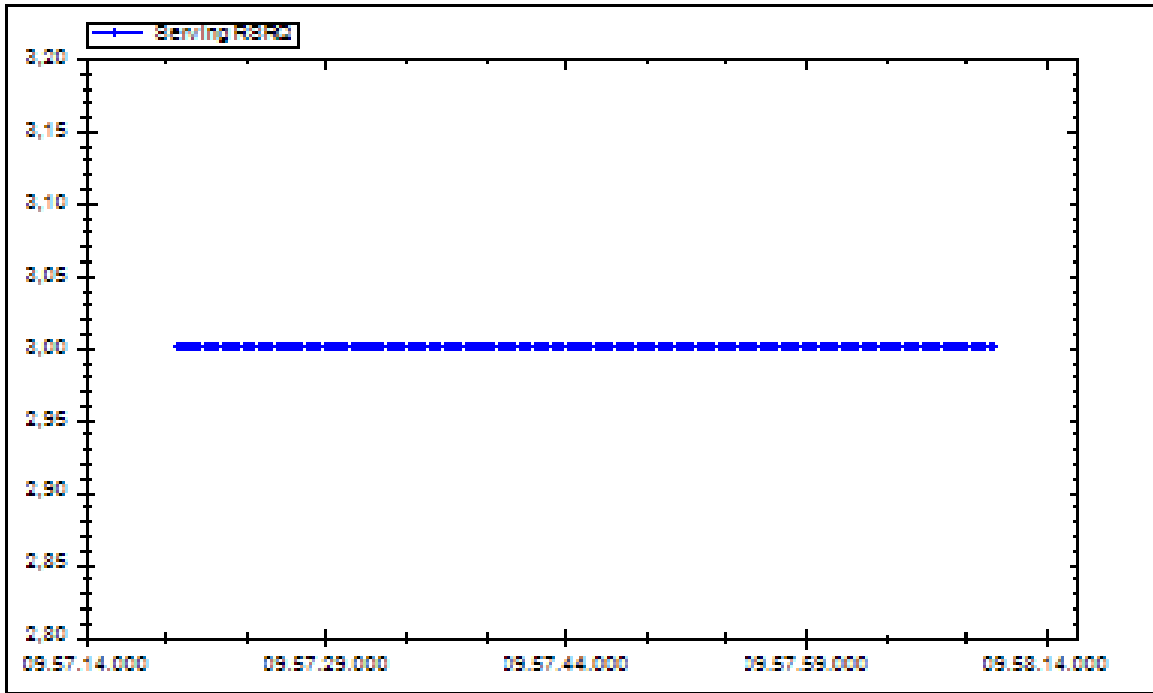
Tämä antenni toimi erinomaisesti, vaikka sitä ei ole tarkoitettu yli 3 GHz:n taajuuksille. Testeissä RSSI oli -53 dBm, RSRP oli -49 dBm, RSRQ oli 3 dB ja SINR oli 29 dB. Kuvissa 15–18 mittaus- tulokset minuutin ajalta.



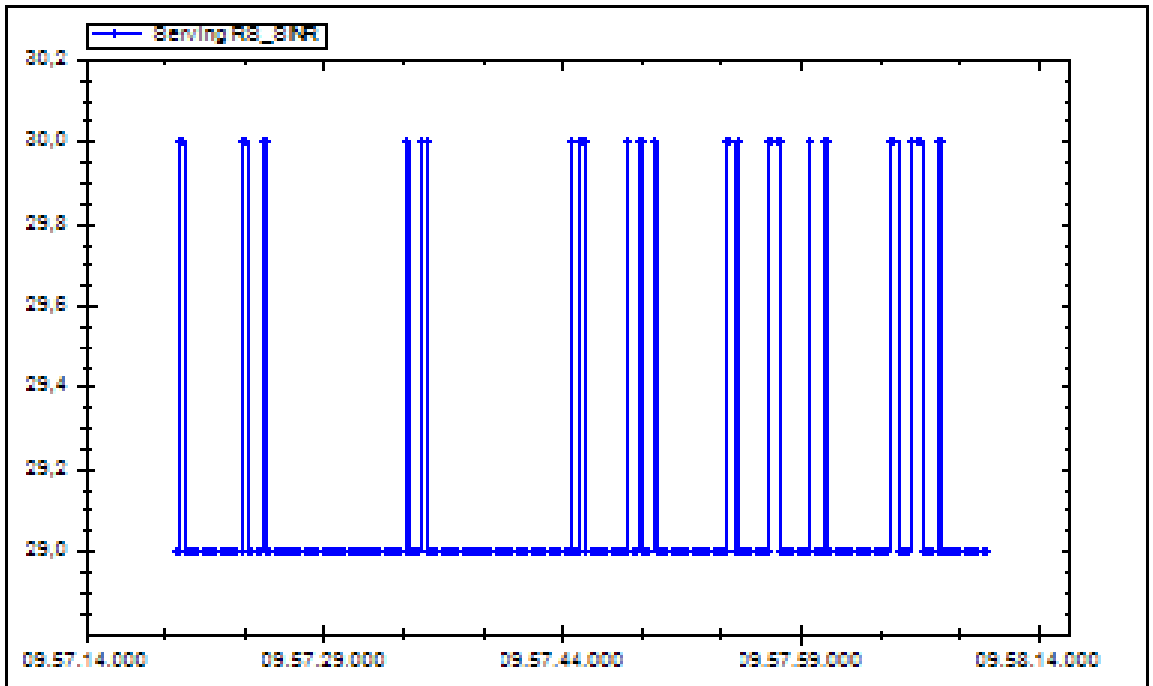
Kuva 15. TC-93023B RSSI.



Kuva 16. TC-93023B RSRP.



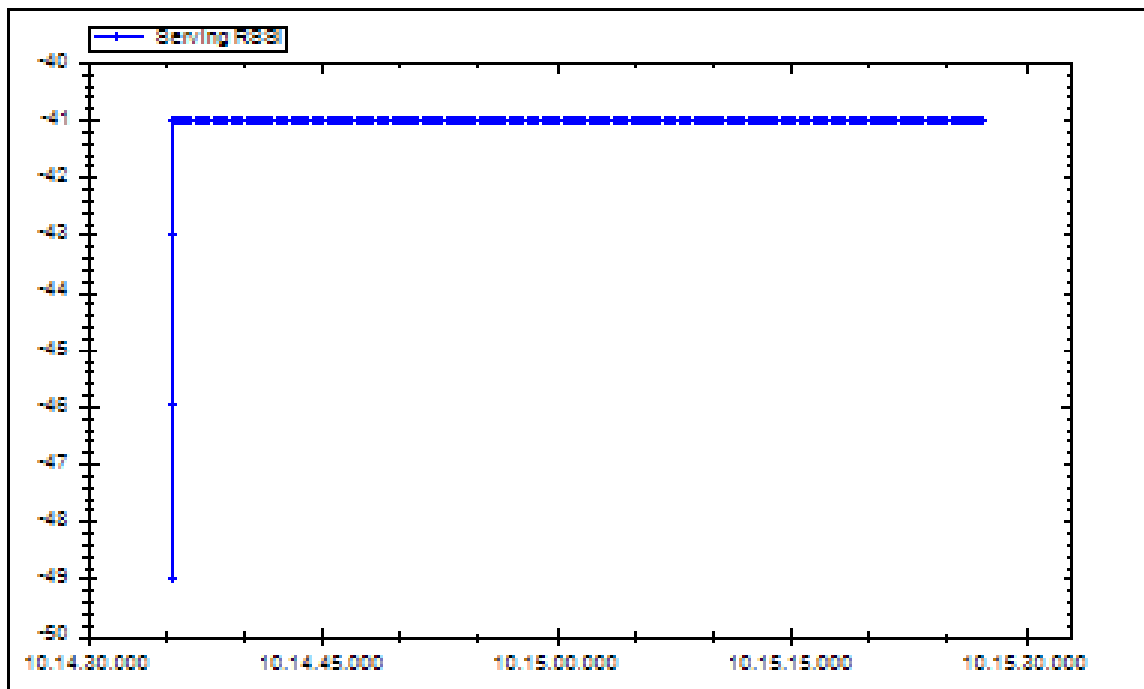
Kuva 17. TC-93023B RSRQ.



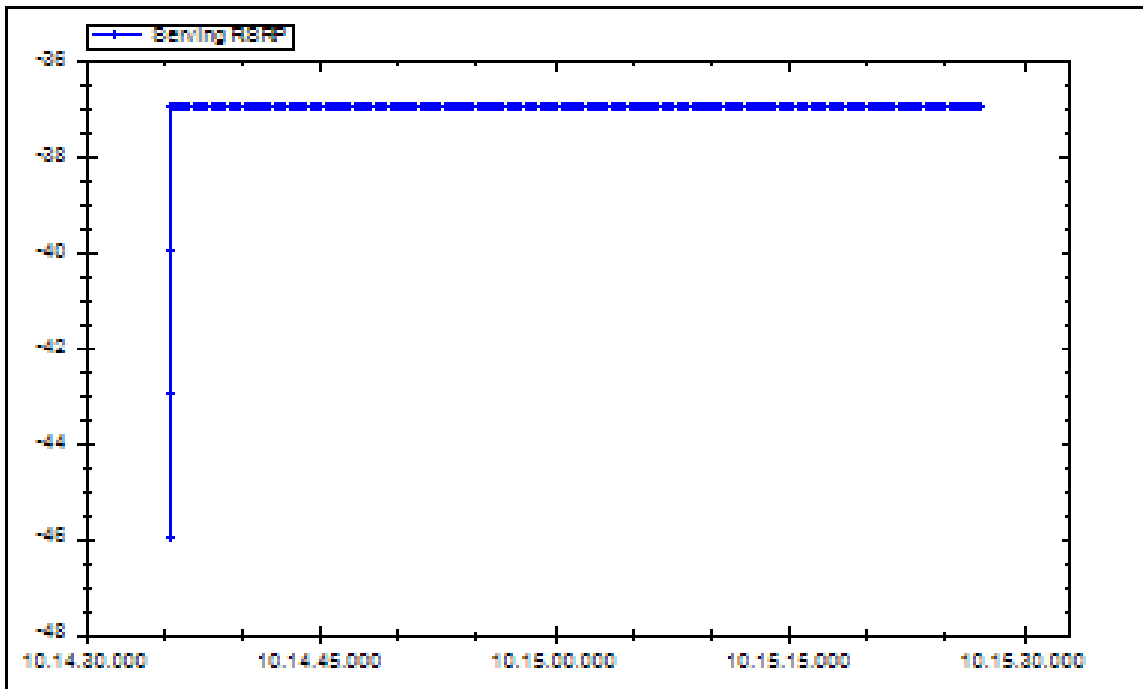
Kuva 18. TC-93023B SINR.

5.4 Fyysinen kytkentätapa

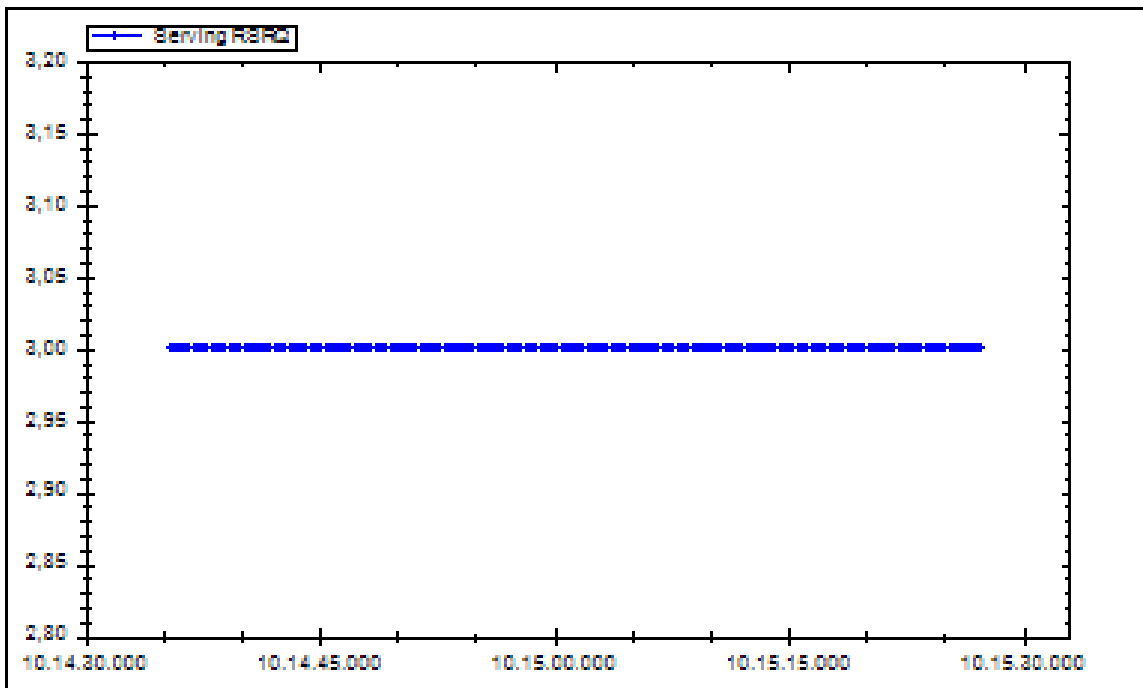
Fyysisellä kytkentätavalla saavutettiin odotetusti voimakas signaali. Testeissä RSSI oli -41 dBm, RSRP oli -37 dBm, RSRQ oli 3 dB ja SINR oli 31 dB. Kuvissa 19–22 mittaustulokset minuutin ajalta.



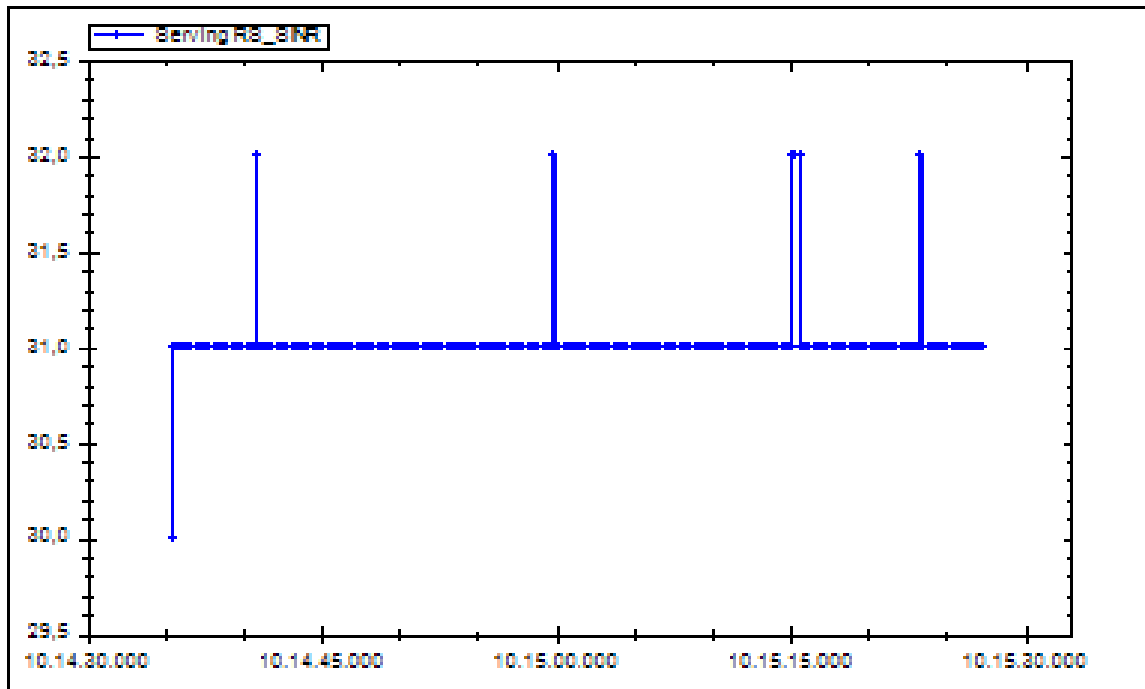
Kuva 19. Fyysinen kytkentätapa RSSI.



Kuva 20. Fyysinen kytkentätapa RSRP.



Kuva 21. Fyysinen kytkentätapa RSRQ.



Kuva 22. Fyysinen kytkentätapa SINR.

5.5 Analyysi

5.5.1 Signaalin voimakkuus

Odotetusti fyysisellä kytkentätavalla saavutetaan voimakkaampi signaalin kuuluvuus. Fyysisellä kytkentätavalla kanavalla vastaanotetun signaalin voimakkuus on -37 dBm. Antenneista lähimmäksi pääsi TC-93026A noin 7 dB heikommalla kuuluvuudella ja viimeiseksi jäi TC-93023B 12 dB:ä heikommalla kuuluvuudella. Antennien välinen ero on 5 dB, eli noin kolminkertainen. Ero voi johtua asettelusta, eikä ole merkittävä. On huomautettava, että TC-93023B:tä ei ole tarkoitettu yli 3 GHz:n taajuuksille ja tämä testi todisti sen toimivan hyvin näissä oloissa. Erot RSSI:ssä ja RSRP:ssä ovat yhtä suuret. Tämä johtuu siitä, että UE:t ja antennit oli testin aikana suljettu RF-laatikkoon, jolloin häiriösignaalit eivät päässeet vaikuttamaan niihin.

Mikäli signaalin voimakkuudessa olisi suurempi ero fyysisen kytkentätavan ja ilmarajapinnan välillä, kytkentätapojen välillä pitäisi käyttää eri suuruista vaimennusta. Näin pieni ero ei vielä vaadi toimenpiteitä. On kuitenkin huomattava, että noin -40 dBm:n RSRP on 10 000 kertaa voimakkaampi kuin Teltonikan wikisivuilta löytyvä suositus -80 dBm (3). Kytkentään voisi lisätä vielä 30 dB vaimennusta, jolloin se olisi realistisempi. On kuitenkin huomattava, että -40 dBm:n RSSI on wateiksi muutettuna vain 100 nW, joka ei ole merkityksellinen antennien keston kannalta.

5.5.2 Signaalin laatu

RSRQ on kaikilla kytkentätavoilla 3 dB:ä. SINR:ssa nähdään pieni ero fyysisen kytkentätavan ollessa 1–2 dB korkeampi, eli parempi. On huomattava, että kaikilla tavoilla SINR on 10 dB parempi kuin Teltonikan wikisivuilta löytyvä suositus 20 dB (3). Ilmeisesti heijastumiset RF-laatikon seinistä eivät vaikuta merkittävästi signaalin laatuun fyysisen kytkentätavan ja ilmarajapinnan välillä.

5.5.3 Yhteenveto

Fyysisellä kytkentätavalla signaalin voimakkuus on odotetusti hieman suurempi kuin antennilla toteutettuna. Noin 10 dB:n ero signaalien voimakkuudessa on merkittävä. Antenneja käytettäessä tämä voidaan kuitenkin ottaa helposti huomioon vähentämällä vaimennusta, tai lisäämällä lähetystehoa.

Eri kytkentätapojen ja antennien vaikutus signaalin laatuun jäi hyvin pieneksi. Laadultaan signaalit ovat lähes identtiset. Ainoa ero on fyysisen kytkentätavan 1-2 dB parempi SINR, jota voidaan pitää merkityksettömän pienenä. Kaikilla kytkentätavoilla signaalin laatu oli 10 dB parempi kuin suositus, joten signaalin laadun puolesta kaikki kytkentätavat ovat yhtä hyviä.

Aiemmin ehdotetut käytännöt, jotka hyödyntävät ilmarajapintaa on todistettu toimivaksi. Lisäksi signaalit ovat huomattavasti suositeltua vahvempia, mikä kannattaa pitää mielessä, mutta ei silti vaadi toimenpiteitä.

6 YHTEENVETO

Työssä tutkittiin, kuinka pitkälle puhelimen liittäminen tukiasematestilinjalle on standardoitavissa Nokian Oulun kampuksella. Puhelimen liittämiseen on erilaisia tapoja riippuen testien vaatimuksista käytettyyn taajuuskaistaan ja käytettävissä oleviin komponentteihin. Virheet kytkennässä voivat heikentää signaalia tai estää puhelinta yhdistämästä 5G soluun. Ilman yleisiä käytäntöjä virheitä tapahtuu useammin ja vikojen selvittäminen vie enemmän aikaa. Lisäksi tukemalla mahdollisimman monia vaatimuksia testilinjojen käyttöastetta voidaan nostaa.

Työ aloitettiin selvittämällä, millaisia vaatimuksia testaajilla on näille linjoille ja miten liittäminen tehdään näissä tapauksissa. Löytyi useita eri tapoja, jotka voitiin jakaa karkeasti fyysiseen liittämiseen ja antennien käyttämiseen ilmarajapinnan yli sekä solukohtaiset puhelimet tai kaikki puhelimet kuulevat kaikki solut.

Yksinkertaisilla kytkennöillä fyysisellä kytkentätavalla ei havaittu olevan ongelmia. Ainoa merkittävä ero fyysisen kytkentätavan ja antennien välillä oli se, että puhelimessa ei välttämättä ole tarpeeksi antennia. Tällöin osa signaaleista on yhdistettävä tehosummaimella.

Tarkasteltaessa monimutkaisempia kytkentöjä selvisi, että solujen ja puhelinten määrän kasvaessa fyysisen kytkennän monimutkaisuus kasvaa merkittävästi, mikäli puhelimen tahdotaan kuulevan useita soluja. Tällainen fyysinen kytkentä vaatisi useita tehosummaimia ja koaksiaalikaapeleita enemmän kuin antennilla toteutettuna.

Antenneilla voi olla useita kuulevia laitteita, mikä tekee niiden kytkennöistä huomattavasti yksinkertaisempia kuin fyysisellä kytkentätavalla toteutetuista. Yksinkertaisemmilla kytkennöillä kuuluvuus on parempi ja vika-alttius pienempi. Erityisesti tehosummaimien pienempi määrä parantaa kuuluvuutta, koska jakamalla signaalin useammalle yhdistetylle laitteelle teho jaetaan pienempiin osiin.

Edellä mainituista syistä valittiin antennit fyysisen kytkentätavan sijaan. Tässä vaiheessa kuvien 4 ja 8 kytkennät pitää enää testata toimiviksi ja verrata fyysiseen kytkentätapaan.

Testiin valittiin kaksi antennia TC-93026A ja TC-93023B. Valmistajan antamien tietojen perusteella TC-93026A tukee alle 3 GHz:n taajuuksia paremmin. Sitä ei kuitenkaan ole tarkoitettu yli 3 GHz:n

taajuuksille. Myöskään fyysisen kytkentätavan erot verrattuna antenneihin eivät olleet selvillä. Tämän vuoksi kytkentöjen ja antennien testaamiseksi valittiin 3,5 GHz:n taajuuskaista n78.

Testeissä antennien välillä havaittiin muutaman desibelin eroja signaalin voimakkuudessa ja laadussa. TC-93026A:lla oli odotetusti 5 dB voimakkaampi signaali. TC-93023B:llä oli puolestaan yhden desibelin parempi SINR. Nämä erot eivät ole tarpeeksi suuria ollakseen merkittäviä. Testaus-tavasta johtuen antenneissa havaitut pienet erot eivät olleet riittäviä johtopäätösten tekemiseksi. Sen sijaan voidaan varmasti todeta molempien antennien tukevan yli 3 GHz:n taajuuskaistoja lähes yhtäläisesti.

Testissä selvisi, että fyysisellä kytkentätavalla saavutetaan 10 dB voimakkaampi signaali RSSI:llä ja RSRP:llä mitattuna. Ero oli pienempi kuin ennen testiä odotettiin. Yllättäen signaalin laadussa erot olivat vielä pienempiä. Kaikissa testeissä RSRQ oli 3 dB ja SINR välillä 29-31 dB, mikä on 10 dB suositusta parempi. Ilmeisesti käytetyt RF-laatikot vähensivät heijastuksia ja ulkopuolelta tulleita häiriöitä niin paljon, että kaikilla kytkentätavoilla signaalin laatu oli huomattavasti vaadittua parempi. Testissä ei löytynyt mitään negatiivista, jonka vuoksi antennien käyttöä pitäisi harkita uudestaan.

Lähes kaikki työlle asetetut tavoitteet saavutettiin. Vaatimuksia ei ollut mahdollista täyttää yhdellä kytkennällä vaatimusten yhteensopimattomuuden vuoksi. Valitsemalla antennit fyysisen kytkentätavan sijaan kytkentätavasta tuli yksinkertaisempi ja luotettavampi. Puhelimille tehtävät muutostyöt voidaan myös lopettaa.

LÄHTEET

1. Electronics-Notes 2022. RF Power Splitter / Divider & Combiner. Hakupäivä 22.2.2022. <https://www.electronics-notes.com/articles/radio/rf-combiner-splitter-coupler-hybrid/splitter-divider-combiner.php>
2. Electronics-Notes 2022. RF Attenuators: basics, types, symbols. Hakupäivä 22.2.2022. <https://www.electronics-notes.com/articles/radio/rf-attenuators/what-is-an-rf-attenuator-types.php>
3. Teltonika 2022. Mobile Signal Strength Recommendations. Hakupäivä 16.1.2022. https://wiki.teltonika-networks.com/view/Mobile_Signal_Strength_Recommendations
4. Tescom 2022. Tescom Flat Type Antenna Coupler TC-93023B. Hakupäivä 16.1.2022. <http://en.tescom.co.kr/product/product4?code=040103>
5. Tescom 2022. Tescom Flat Type Antenna Coupler TC-93026A. Hakupäivä 16.1.2022. <http://en.tescom.co.kr/product/product4?code=040105>
6. Tescom 2022. Tescom Shield Box TC-5930A/AR. Hakupäivä 16.1.2022. <http://en.tescom.co.kr/product/product2?code=020105>
7. Samsung 2022. Samsung Galaxy S20 5G. Hakupäivä 16.1.2022. <https://www.samsung.com/us/mobile/galaxy-s20-5g/specs/>
8. FCC 2022. Samsung Galaxy S20 5G power output. Hakupäivä 16.1.2022. <https://fccid.io/A3LSMG887N>
9. FCC 2022. RF field guidelines. Hakupäivä 16.1.2022. <https://www.fcc.gov/consumers/guides/human-exposure-radio-frequency-fields-guidelines-cellular-and-pcs-sites>
10. FCC 2022. Nokia AHLOA FCC report. Hakupäivä 16.1.2022. <https://fccid.io/VBNAHLOA-01/Test-Report/Test-Report-3837987>