



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Juho Merjovaara

5G-testitukiasemapaikan suunnittelu ja käyttöönotto

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Tieto- ja viestintätekniikka

Insinöörityö

12.11.2020

Tekijä Otsikko	Juho Merjovaara 5G-testitukiasemapaikan suunnittelu ja käyttöönotto
Sivumäärä Aika	45 sivua 12.11.2020
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Tieto- ja viestintäteknikka
Ammatillinen pääaine	Pelisovellukset
Ohjaajat	Squad Group Leader Olli Ramula Lehtori Miikka Mäki-Uuro
<p>Insinöörityössä otettiin käyttöön uusi, kolmen tukiaseman 5G-tukiasemapaikka. Työssä selvitettiin koko prosessi suunnitelmasta valmiiksi, toimivaksi 5G-testitukiasemapaikaksi. Tukiasemapaikka tehtiin laajentamaan asiakkaan olemassa olevaa tukiasemaverkostoa.</p> <p>Insinöörityö koostui taustaselvityksestä ja käytännön osuudesta. Taustaselvityksessä tutkittiin suunnittelu- ja rakennusprosessi kokonaisuudessaan. Käytännön osuudessa käyttöön otettiin ja parametrisoitiin tukiasemapaikka suunnitelman perusteella. Sen jälkeen, kun tukiasemapaikka todettiin toimivaksi, sen toiminta optimoitiin, testattiin ja raportoitiin. Raportoinnin perusteella tehtiin testisuunnitelma.</p> <p>Insinöörityön tuloksena syntyi toimiva 5G-tukiasemapaikka, jota käytetään kenttätestauksessa.</p> <p>Projektin osoitti, että uusien testitukiasemapaikkojen pystytys on toimiva ja selkeä prosessi, mutta sitä voi vielä parantaa. Käyttöönoton osuutta saatiin hieman suoraviivaistettua tulevia tukiasemapaikkoja varten.</p>	
Avainsanat	5G, NR, 4G, LTE, tukiasema, tukiasemapaikka, radio, RAN

Author Title	Juho Merjovaara 5G Cell Site Planning and Commissioning
Number of Pages Date	45 pages 12 November 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Information and Communication Technology
Professional Major	Game Applications
Instructors	Olli Ramula, Squad Group Leader Miikka Mäki-Uuro, Senior Lecturer
<p>The objective of this thesis was to commission a new cell site with three base stations. The work examined the whole process of building a site from the initial plans to the first tests with a functioning site. The cell site was made to expand the customer's existing network of base stations.</p> <p>This thesis contained a research phase along with a practical phase. The research phase examined the planning and building phases of a new site. The practical phase contained the commissioning and parametrization of the site based on the initial plans. After the site was on air, its functionality was optimized, tested and reported. The reports were used to create an initial test plan.</p> <p>The product of this thesis was a fully functioning 5G cell site that is used for field testing purposes.</p> <p>The project demonstrated that even though the process of setting up new test cell sites is already clear and functioning, there's still some room for improvement. The commissioning process is a bit more streamlined now.</p>	
Keywords	5G, NR, 4G, LTE, base station, cell site, radio, RAN

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	5G-tukiasemapaikan laitteisto	2
2.1	Tukiasemapaikka	2
2.2	Tukiasema	4
2.3	Sektorit	4
2.4	Solu	5
2.5	Radiotyypit	6
3	5G-radioteknologia	7
3.1	Taajuudet	7
3.2	5G-tekniikan implementointivaihtoehdot	9
3.3	RAN-arkkitehtuuri	13
3.4	Dupleksointi	14
3.5	mMIMO ja säteenmuotoilu	17
3.6	Solunvaihto	19
3.7	Kaistansäätelytekniologia	20
4	Tukiasemapaikan käyttöönoton laitteet ja ohjelmistot	21
4.1	Laitteet	21
4.2	Työkalut ja ohjelmistot	24
5	5G-testitukiasemapaikan suunnittelu ja käyttöönotto	26
5.1	Suunnittelu	26
5.2	Rakentaminen	28
5.3	Käyttöönotto	29
6	Esimerkkitukiasemapaikan käyttöönotto	32
6.1	Tukiasemat	34
6.2	Testaus ja raportointi	36

6.3	Testikäyttö	39
6.4	Käyttöönoton kehittäminen	40
7	Yhteenveto	40
	Lähteet	42

Lyhenteet

3GPP	3rd Generation Partnership Project. Yhteistyöorganisaatio, joka luo maailmanlaajuisesti käytetyt mobiiliteknikoiden määritelmät.
5GC	5G Core Network. 5G:n ydinverkko.
BBU	Baseband Unit. Hoitaa tukiaseman prosessoinnin. Koostuu systeemyksiköistä ja kapasitettiyksiköistä.
CA	Carrier Aggregation. Mahdollistaa useamman taajuuskaistan yhdistämisen.
CP	Control Plane. Kuljettaa verkkoa kontrolloivat tiedot.
CPRI	Common Public Radio Interface. Rajapinta BBU:n ja radioiden välillä.
CU	Central Unit. Keskitetty prosessointiyksikkö gNB:ssä.
CUPS	Control User Plane Separation. Erottaa UP:n ja CP:n.
DL	Downlink. Tiedonsiirron suunta tukiasemalta matkaviestinlaitteelle.
DU	Distributed Unit. Radioiden lähistöllä sijaitseva prosessointiyksikkö gNB:ssä.
DSS	Dynamic Spectrum Sharing. Teknologia, joka mahdollistaa LTE-aajuuksien samanaikaisen käytön 5G teknologian kanssa.
eCPRI	Enhanced Common Public Radio Interface. CPRI:tä uudempi rajapinta BBU:n ja radioiden välillä.
eNB	Evolved Node B. Neljännen sukupolven LTE:n tukiasema.
EN-DC	E-UTRAN New Radio – Dual Connectivity. Samanaikainen yhteys LTE:hen ja 5G:hen.

EPC	Evolved Packet Core. LTE:n ydinverkko.
FDD	Frequency-Division Duplexing. Kaksisuuntainen viestintä käyttäen erillistä taajuutta lähettämiseen ja vastaanottamiseen.
FDM	Frequency-Division Multiplexing. Taajuuskanavointimenetelmä, jossa käytössä olevaa taajuutta jaetaan kapeampiin kaistoihin.
gNB	Fifth Generation NodeB. Viidennen sukupolven 5G:n tukiasema.
GPS	Global Positionin System. Maailmanlaajuinen paikallistamisjärjestelmä.
GSCN	Global Synchronization Channel Number. Solun synkronointikanava.
HO	Handover. Puhelun siirtäminen toisen solun alle.
IP	Internet Protocol. TCP/IP-viitemallin protokolla.
LTE	Long-Term Evolution. Neljännen sukupolven datayhteys mobiiliteknikassa (4G).
LMP	Local Management Port. Portti, jonka kautta BBU:n systeemyksikköön pääsee lokaalisti käsiksi.
MIMO	Multiple Input Multiple Output. Usean antennielementin käyttäminen lähettämiseen ja vastaanottamiseen.
mMIMO	Massive Multiple Input Multiple Output. MIMO, jossa on yli kahdeksan vastaanotto- ja yli kahdeksan lähetysantennia.
NR	New Radio. Viidennen sukupolven datayhteys mobiiliteknikassa (5G).
nrarfcn	New Radio Absolute Radio Frequency Channel Number. Solun taajuuskanavanumero.
NSA	Non-Standalone. 5G:n muoto, joka hyödyntää LTE-teknologiaa.

PDCCH	Physical Downlink Control Channel. Tiedonvälityskanava, jota käytetään välittämään DL-kontrollitietoja.
PLMN	Public Land Mobile Network. Operaattori-kohtainen yhdistelmä tarjottavia radioteknologioita.
RAN	Radio Access Network. Telekommunikaation osa, joka yhdistää matkaviestinlaitteen ydinverkkoon radioyhteyksiä käyttäen.
RAT	Radio Access Technology. Teknologia, joka yhdistää matkaviestinlaitteen verkkoon.
RET	Remote Electrical Tilt. Käytetään antennin kulman säätämisessä.
RF	Radio Frequency. Taajuusalue elektromagneettisessa spektrissä, jota käytetään radioteknologiassa. Radiolaitteistoa kuvaillaan monesti RF-laitteistoksi.
RRH	Remote Radio Head. Etäohjattava radio, joka muuttaa digitaaliset signaalit analogisiksi signaaleiksi lähettämistä varten.
RX	Reception. Tiedon vastaanottaminen matkaviestinlaitteelta.
SA	Standalone. Puhdas 5G:n muoto ilman aiempien sukupolvien apua.
SFP	Small Form-Factor Pluggable. Pieni kiinnitettävä verkkorajapinta, jota käytetään esim. kuidun kytkemiseen BBU:n ja radioiden välillä.
SSB	Synchronisation Signal Block. Solun synkronointisignaali, joka esimerkiksi mahdollistaa matkaviestinlaitteen yhdistämisen verkkoon.
SS-RSRP	Synchronization Signal Reference Signal Received Power. Synkronointisignaaleita kantavien resurssielementtien tehon keskiarvo.
SS-SINR	Synchronization Signal Signal-to-interference-plus-noise ratio. Synkronointisignaalin teho jaettuna kilpailevien signaalien häiriöillä ja taustamelulla.

TDD	Time-Division Duplexing. Kaksisuuntainen viestintä samalla taajuudella, jossa DL ja UL on erotettu omiksi aikajaksoikseen.
TTO	Tutkimus-, tuotekehitys- ja opetuskäyttö.
TX	Transmission. Tiedon lähettäminen ilman kautta matkaviestinlaitteelle.
UE	User Equipment. Mobiiliverkkoa käyttävä matkaviestinlaite, esimerkiksi älypuhelin, tabletti, modeemi tai älykello.
UL	Uplink. Tiedonsiirron suunta matkaviestinlaitteelta tukiasemalle.
UP	User Plane. Kuljettaa käyttäjien paketit.

1 Johdanto

Insinööriä tehtiin Nokian 5G-radiotuotteiden kenttätestauksesta vastaavan organisaation alaisuudessa kenttätestausinsinöörinä. Nokia on tietoliikennealan yhtiö, joka on yksi suurimmista 5G:n kehittäjistä. Nokian tuotteet palvelevat yli 6,5:tä miljardia liittymäasiakasta ja yli 1 300:aa teollisuuden verkkoa maailmanlaajuisesti. [1.]

Kenttätestaus on Nokian tuotteiden kehityspotken viimeinen askel ennen asiakastoimintaa, ja siinä testataan RAN-verkkoa (Radio Access Network) operaattoreiden verkkoja vastaavassa testiympäristössä. Työ tehtiin helpottamaan Nokian työntekijöitä, jotka työskentelevät tukiasemapaikkojen tai muuten 5G:n testauksen parissa.

Insinööriäraportissa selostetaan 5G-testitukiasemapaikan toteutus suunnitelmasta valmiiksi, toimivaksi 5G-testitukiasemapaikaksi. Työssä kuvataan koko prosessi käyttäen hyödyksi yhtä testitukiasemapaikkaa, jonka käyttöönotosta insinööriä tekijä oli vastuussa. Testitukiasemapaikka vastaa toiminnaltaan operaattoreiden tuotantotukiasemapaikkoja, joissa käytetään samoja teknologioita ja laitteita. Tämän testitukiasemapaikan identifioivat tekijät on jätetty raportista pois. Yksityiskohtiin ei mennä myöskään Nokian omistamissa teknologioissa ja laitteissa. Tavoitteena on kuvata testitukiasemapaikan suunnittelu, toiminta, käyttöönotto ja testaus. Insinööriäraportissa keskityttiin RAN-verkon osuuteen 5G:ssä.

Insinööriäraportin toisessa luvussa käydään läpi, mitä tukiasemapaikka ja tukiasemat ovat sekä millaisia laitteita niissä on ja miten ne toimivat. Kolmannessa luvussa käydään läpi radioteknologiaa. Kaikkeen teknologiaan ei keskitytä, vaan pelkästään tärkeimpiin, 5G-testitukiasemapaikan suunnittelun ja käyttöönoton kannalta keskeisiin teknologioihin. Neljännessä luvussa käydään läpi käyttöönottoon ja testaukseen käytettäviä laitteita, sovelluksia ja muita työkaluja. Viidennessä luvussa käydään läpi suunnittelu, rakennus- ja käyttöönottoprosessi alusta loppuun käyttäen hyödyksi aiempien lukujen tietoja. Vaikka tukiasemapaikan käyttöönoton vaiheet on listattu askeleittain numerojärjestyksessä, toteutus ei ole aina suoraviivainen, vaan useat askeleet saattavat olla päällekkäin ja aiempiin saatetaan palata. Viimeisessä luvussa kuvataan käyttöönotettu esimerkitukiasemapaikka.

2 5G-tukiasemapaikan laitteisto

2.1 Tukiasemapaikka

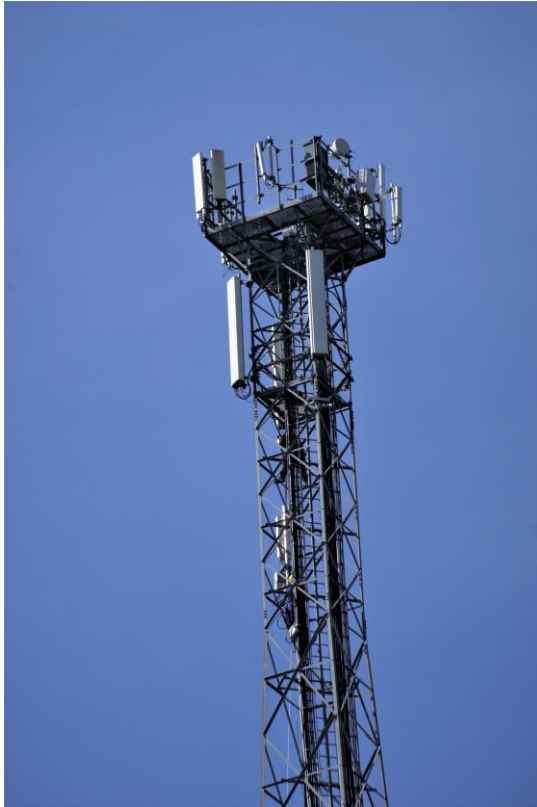
Tukiasemapaikka (engl. cell site) on nimitys fyysiselle radiolaitteiston sijainnille, jossa saattaa olla yksittäinen tukiasema tai useita tukiasemia. Se pitää sisällään kaiken, mitä tarvitaan radioaaltojen lähettämiseen ja vastaanottamiseen ja sen lähettämässä eteenpäin ydinverkkoon. Tukiasemapaikka sisältää antennien ja muiden RF-laitteiden (Radio Frequency) lisäksi myös kaikki tarvittavat sähkölaitteet, verkkolaitteet ja rakenteet. Tyyppillisesti tukiasemapaikan RF-laitteet sijoitetaan katolle (kuva 1) tai mastoon (kuva 2). Kolmas yleinen vaihtoehto on kiinnittää laitteisto rakennuksen seinään. Yleensä osa laitteistosta sijaitsee sisällä, monesti erillisessä IV-konehuoneessa, josta on kaapelointi ulkona olevaan RF-laitteistoon. Kattoratkaisuissa kaikki laitteisto saattaa olla myös katolla, mikäli osaa laitteista ei ole mahdollista sijoittaa sisälle. Antenneja ja tiettyjä radioita lukuun ottamatta suurin osa laitteistosta laitetaan erilaisten laitetelineiden sisään.



Kuva 1. Katolle asennettu Nokian tukiasemapaikka.

Tukiasemapaikan laitetelineissä on AC-virtayksikkö, josta sulakkeilla viedään vaihtovirta radioiden juuressa oleviin jakotukkeihin. Laitetelineissä on oma tasasuuntaaja, josta tasavirta jaetaan etäohjattavan jakotukin kautta kehikkoon, joka antaa virtaa laitetelineen sisällä oleville tukiasemien BBU:ille (Baseband Unit). Telineissä on myös kytkin, joka

mahdollistaa etäohjattavuuden ja yhteyden LTE:n (Long Term Evolution, 4G) ydinverkkoon EPC:hen (Evolved Packet Core) ja 5G NR:n (New Radio) ydinverkkoon 5GC:hen (5G Core Network).



Kuva 2. Mastoon asennettu Nokian tukiasemapaikka.

Riippumatta siitä, onko osa laitteistosta sisällä vai ulkona, ulkona on virtalähde, radiot ja mahdolliset erilliset antennit. Katolle asennettaessa tarvitaan lisäksi aluslevyt ja pehmusteet turvaamaan kattoa sekä metalliset putket, joihin RF-laitteisto voidaan kiinnittää. Kaapelit kuljetetaan kaapelikouruja pitkin siististi yhdessä. Kaapelikourujen mukana tuodaan vaihtovirta, maadoitus, Ethernet-kaapeleita ja runkokuidut. Radioiden juuressa on tasa-suuntaaja, joka antaa tasavirran radioille. Radioiden juuressa on lisäksi jakotukki, jonka avulla voidaan tarvittaessa etänä säätää virta-asetuksia tai uudelleen käynnistää tukiasema. Mikäli käytössä on RRH-radioita (Remote Radio Head), tulee niistä erilliset RF-syöttökaapelit erillisille antennille.

2.2 Tukiasema

Tukiasema vastaa tukiasemapaikan teknologiakohtaisista lähetin- ja vastaanottofunkti-
oista. Se pitää sisällään radiolaitteiston lisäksi BBU:n. LTE-tukiasemista käytetään nimi-
tystä eNB (Evolved Node B), ja 5G-tukiasemista käytetään nimitystä gNB (NR NodeB).
Useampi tukiasema saattaa jakaa samaa radiokalustoa, kuten radioita ja antennoja.

BBU:t ovat erillisessä kehikossa, jossa ne säilytetään ja josta ne saavat virtaa. Nokialla
on erillisiä ratkaisuja erilaisiin sisä- ja ulkotiloihin. Yksi kehikko voi sisältää usean tuki-
aseman BBU:t.

2.3 Sektori

Sektori on suunta, johon lähetetään ja josta vastaanotetaan signaaleja. Tyypillisesti tu-
kiasemapaikalla on kolme sektoria, joista jokainen kattaa 120 asteen alueen. On ole-
massa myös omniantenneja, jotka lähettävät joka suuntaan, mutta ne kantavat huomati-
tavasti lyhyemmälle alueelle kuin suuntaavat antennit. Kuvassa 3 havainnollistetaan mi-
ten kaksisektorisen tukiasemapaikan suunnat.

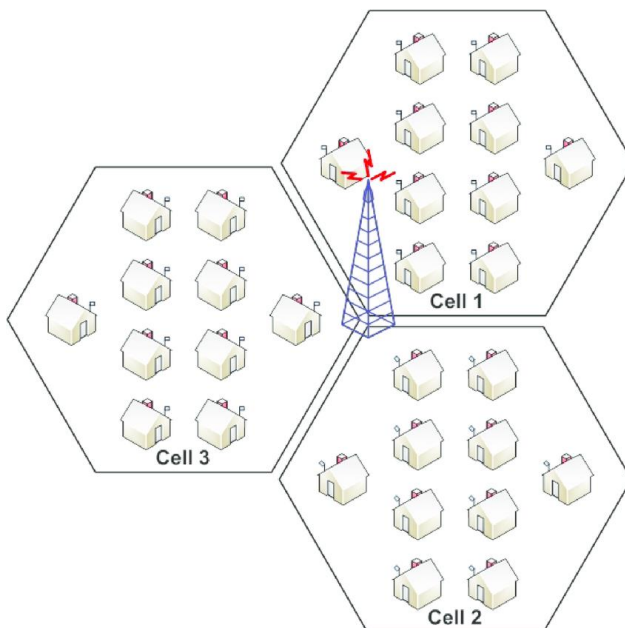


Kuva 3. Kaksisektorisen tukiaseman sektorien suunnat havainnollistettuna

2.4 Solu

Yhden sektorin alla voi olla useita soluja. Solu on maantieteellinen alue, jonka sektorin antenni kattaa. Samalla sektorilla voi olla monta päällekkäistä solua samasta tukiasemasta. Saman sektorin eri solut saattavat käyttää eri antennoja, radiota ja teknologioita. Samasta radiosta voi tulla useampi solu. Soluja on erityyppisiä, ja niiden koko vaihtelee käytetyn teknologian, virran, laitteiston ja taajuuden perusteella.

Solut jaetaan pääasiassa kolmeen eri tyyppiin: makrosoluihin, mikrosoluihin ja pikosoluihin. Makrosoluja käytetään kattamaan suurimpia osia Suomen pinta-alasta. Niitä nähdään kaupunkien lisäksi taajamissa ja maaseudulla, ja ne kattavat parhaimmillaan kymmeniä kilometrejä. Mikrosoluja käytetään pääasiassa kaupungeissa, ja ne kantavat 100 – 1000 m säteellä. Pienimpiä ovat pikosolut, jotka kattavat alle 100 m ja joita käytetään tiiviissä kaupunkirakentamisessa ja sisätiloissa. Pikosoluja voidaan käyttää paikkaamaan aukkoja peittoalueessa. Niitä käytetään myös monesti paikoissa, joissa tarvitaan paljon kapasiteettia pienelle alueelle. Mitä suurempi solu on, sitä enemmän se vaatii lähetystehoa. [2.] Kuvassa 4 havainnollistetaan kolmisektorisen tukiasemapaikan solut.



Kuva 4. Kolmisektorisen tukiaseman solut [3].

2.5 Radiotyypit

Radiotyyppejä on useanlaisia, mutta Nokian 5G-testitukiasemapaikoilla käytetään yleensä joko RRH- tai MAA-radioita.

RRH

RRH-radiot hoitavat tiedon siirtämiseen ja vastaanottamiseen liittyvät toiminnot. RRH:n etuna on se, että ne ovat helppoja asentaa ja niiden sijoittaminen antennien lähelle vähentää tiedonsiirron hävikkiä, sillä mitä pidempi RF-syöttökaapeli on, sitä enemmän siinä on hävikkiä. Ne vaativat kuitenkin toimiakseen erillisen antennin, RF-syöttökaapelin radion ja antennin välille ja RET-yksikön (Remote Electrical Tilt). RET-yksikkö on moottori, jonka avulla antennin kulmaa voidaan muuttaa etäohjaamalla. RRH-radioiden pitää olla säänkestäviä. [4; 5.]

MAA

MAA on radiotyyppi, joka pitää integroituna sisällään radion, antennin ja saman kulmansäätöominaisuuden, jonka RRH:n erillinen RET tarjoaa. MAA-radio on kehittyneempi versio RRH:sta ja käyttää yleensä mMIMO-tekniologiaa (Massive Multiple-Input Multiple-output). [6.]

BBU-yksikkö

BBU-yksikkö on tukiaseman osa, joka hoitaa kaikki kantataajuuskaistan toiminnot. Se koostuu kahdesta erilaisesta moduulista: systeemyksiköstä ja kapasiteettiyksiköistä. Systeemyksikköjä on aina yksi tukiasemaa kohden. Systeemyksikkö on yhteydessä transport-verkkoon.

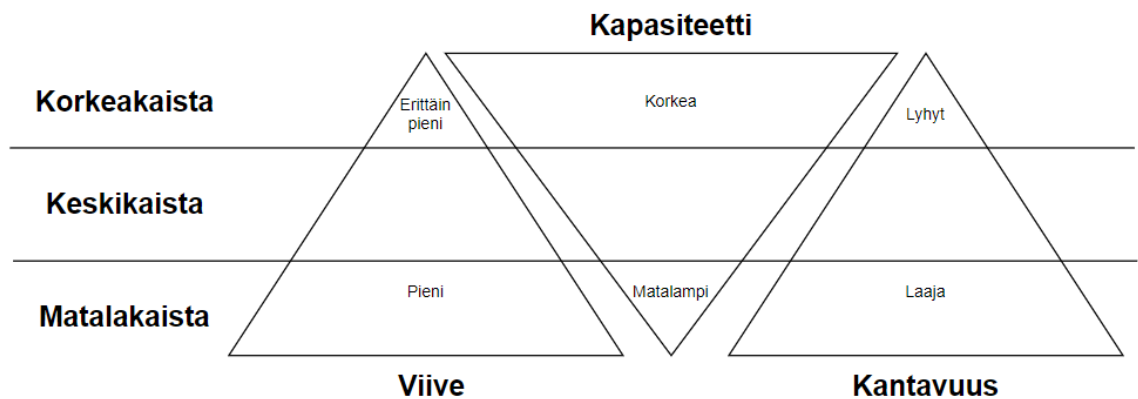
Kapasiteettiyksikköjä on tukiasemassa 1–3 riippuen kapasiteetin tarpeesta. Yksiköistä lähtee kuituyhteys radioille, ja se hyödyntää SFP-muuntajia (Small Form-Factor Pluggable). Kapasiteetin tarpeeseen vaikuttaa luotavien solujen ja käytössä olevan kaistan määrä.

3 5G-radioteknologia

3.1 Taajuudet

5G on ensimmäinen radioteknologia, joka pystyy käyttämään kaikkia taajuuksia 400 MHz:n ja 90 GHz:n välillä, ja se tukee kaksisuuntaisia TDD (Time-Division Duplexing)- ja FDD (Frequency-Division Duplexing) -yhteyksiä, lisensoituja, lisensoimattomia ja jaetuja taajuuskaistavaihtoehtoja ja eri kaistanleveyksiä. Taajuuskaistat jaetaan yleisesti kolmeen pääosaan: korkeakaistaisiin, keskikaistaisiin ja matalakaistaisiin. [7, s. 3–4.] Taajuuskaistojen ominaisuudet on havainnollistettu kuvassa 5.

Suomessa luvat taajuuksiin myöntää Traficom [8].



Kuva 5. Taajuuskaistojen ominaisuudet [9].

Korkeakaista

Korkeakaistan taajuudet ovat välillä 20–90 GHz. Niistä puhutaan myös millimetriaaltoina, koska aallonpituuksia lasketaan millimetreinä. Millimetriaaltoja tarvitaan saamaan 5–20 Gbps-nopeudet ja 1 GHz:n operaattorikohtainen kaista. Ominaisuuksiensa vuoksi millimetriaallot kattavat pienen alueen ja lävistävät huonosti esteitä ja soveltuvat parhaiten paikalliseen käyttöön, kuten massatapahtumiin ja muihin paikkoihin, joissa väestötiheys on todella korkea. Korkeakaista on myös omiaan tarjoamaan korkeaa kapasiteettia julkiseen liikenteeseen. [7, s. 4–5.]

Keskikaista

Keskikaista on välillä 2,5–5,0 GHz. Siinä nopeudet ovat noin 2 Gbps:n luokkaa ja operaattorikohtainen kaistanleveys on noin 100 MHz. Keskikaistaa käytetään useimmilla asutuilla alueilla. 3,5 GHz:n taajuuskaista on houkutteleva useille, sillä se on yleisesti vapaana koko maailmassa. mMIMO:n säteenmuodostuksen avulla 3,5 GHz:n kattavuus voi olla samankaltaista kuin pienempitaajuisten LTE1800:n. [7, s. 4–5.]

Matalakaista

Matalakaista on alle 1 GHz. Siinä operaattorikohtainen taajuuskaista on noin 10 MHz ja nopeudet noin 0,2 Gbps:n luokkaa. Sitä käytetään kattamaan laajaan kattavuuteen ja läpäisyyn syvälle sisätiloihin, mihin korkeampitaajuiset aallot eivät pääse. Matalakaistojen tarjoama laaja alue on tarpeellinen varmistamaan korkea saatavuus. [7, s. 4–5.]

Nokian testitaajuudet Suomessa

Tukiasemissa tulee ottaa huomioon käytettävissä olevat taajuudet, joita Nokia voi käyttää kehitystarkoituksiin. Näiden käytössä olevien lupien ulkopuolisia taajuuksia saa käyttää vain suljetuissa tiloissa, kuten erikseen suunnitelluissa RF-säiliöissä, joista signaalit eivät pääse ulos. Espoon seudulla Nokia saa käyttää 100 MHz:n kaistanleveyksiä Karaportissa, muuten maksimi on 60 MHz. Nokialla on oma, operaattoreita vastaava PLMN-koodi (Public Land Mobile Network). Nokialla on käytössään Traficomien myöntämät lisenssit taajuuskaistoille B71/n71, n77, n257 ja n260. Valtioneuvoston asetuksessa Tutkimus- ja tuotekehitykseen ja opetukseen varatut taajuudet (TTO), joita Nokia saa käyttää, ovat B1, B3, B7, B38, n78 ja n258. Nokialla on lisäksi osa kaistoista B66 ja B38 lainassa operaattoreilta. Bx-merkintä tarkoittaa LTE/4G-taajuuskaistaa ja nx 5G-taajuuskaistaa. Kaistanumerot ovat 3GPP:n (3rd Generation Partnership Project) määrittämiä. [10; 11.]

Kampuksen ulkopuolella on yleensä käytössä vain TTO-taajuuksia.

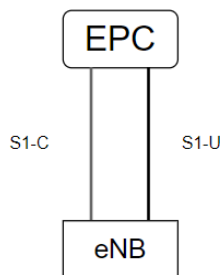
3.2 5G-tekniikan implementointivaihtoehdot

Toisin kuin aiempien sukupolvien datayhteyksissä mobiilitekniikassa, 5G:ssä on mahdollista käyttää aiemman sukupolven LTE:n EPC- tai uutta 5GC-ydinverkkoa. Vaihtoehtoina ovat pelkkää 5G:tä käyttävä SA (Standalone) -tekniikka tai LTE:tä hyödyntävä NSA (Non-Standalone) -tekniikka. 3GPP on määritellyt molemmista, SA:sta ja NSA:sta, useamman eri vaihtoehdon, joista operaattorit voivat valita, mitä käyttää. 5G tukee CUPS-konseptia (Control User Plane Separation), jossa CP (Control Plane) ja UP (User Plane) on erotettu toisistaan mikä mahdollistaa skaalauksen tarpeen mukaan. CP-osa kuljettaa verkkoa kontrolloivia tietoja ja UP-osa käyttäjien paketteja. Tukiasemakohtaisesti sekä SA että NSA voivat olla samaan aikaan käytössä. [12.]

SA -Stand-Alone

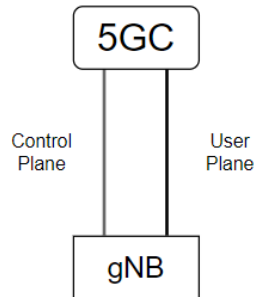
SA on 5G-tekniikan muoto, jossa kaikki käytetty teknologia on puhtaasti 5G:tä. Siinä käytetään aina 5GC:tä.

SA:n vaihtoehto 1 (kuva 6) on perinteinen LTE-ratkaisu, jossa matkaviestinlaite (engl. UE / User Equipment) yhdistää eNB:hen, joka yhdistää EPC:hen. Se ei tue 5G:tä, mutta listataan vaihtoehdoksi näyttämään kaikki mahdolliset LTE:n yhdistelmät 5G:n kanssa. [12.]



Kuva 6. SA Vaihtoehto 1 [12].

SA:n vaihtoehto 2 (kuva 7) on puhdas 5G:n versio, jossa matkaviestinlaite yhdistää gNB:hen, joka yhdistää 5GC:hen [11].

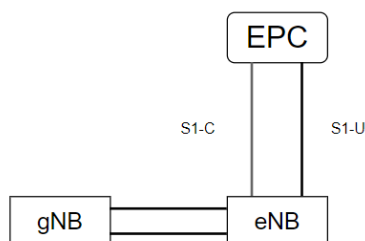


Kuva 7. SA Vaihtoehto 2 [12].

NSA – Non-Stand-Alone

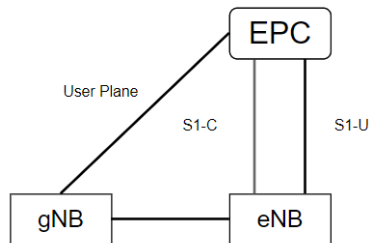
NSA on 5G:n muoto, joka käyttää olemassa olevaa LTE:n infrastruktuuria. Siinä matkaviestinlaite voidaan yhdistää 5G:n taajuuksille, mikä parantaa suorituskykyä ja toiminnan varmuutta LTE:hen verrattuna, mutta hyödyntää tästä eteenpäin myös LTE:n teknologiaa. Matkaviestinlaite on samanaikaisesti yhdistynyt 5G:hen ja LTE:hen. NSA:ssa voidaan käyttää EPC:tä tai 5GC:tä. NSA:ssa käytetään kaksinkertaista yhdistämistä (engl. dual connectivity) yhdistämään matkaviestinlaite samanaikaisesti gNB:hen ja eNB:hen. Yhteys gNB:n ja eNB:n välillä tapahtuu käyttäen Xn-rajapinnan alaista Xx:ää, joka on NSA:n tapauksessa X2.

NSA:n vaihtoehdossa 3 (kuva 8) matkaviestinlaite yhdistää eNB:hen ja gNB:hen käyttäen kaksinkertaista yhdistämistä (engl. dual connectivity), mutta vain eNB on yhteydessä EPC:hen. eNB toimii masterina. [12; 13.]



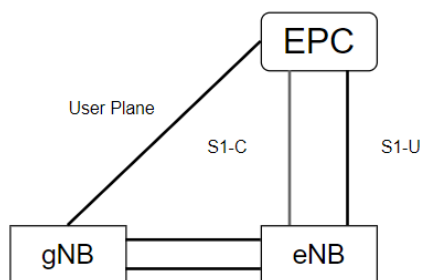
Kuva 8. NSA Vaihtoehto 3 [13].

Vaihtoehdosta 3 on olemassa versio 3a (kuva 9), jossa myös gNB on yhteydessä EPC:hen. Ainoa tieto mitä gNB vie on UP. Tässä vaihtoehdossa eNB ja gNB eivät pysty keskustelemaan keskenään X2-rajapinnan yli. [12; 13.]



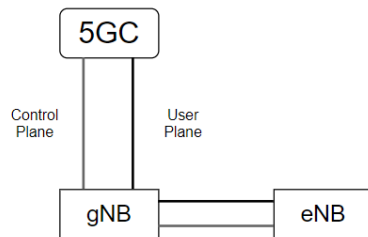
Kuva 9. NSA Vaihtoehto 3a [13].

Vaihtoehdosta 3 on myös versio 3x (kuva 10), joka on yhdistelmä vaihtoehdosta 3 ja vaihtoehdosta 3a. Siinä viestintä tapahtuu myös gNB:ltä EPC:hen ja X2-rajapintaa käytetään tukiasemien keskinäisessä viestinnässä. [12; 13.]



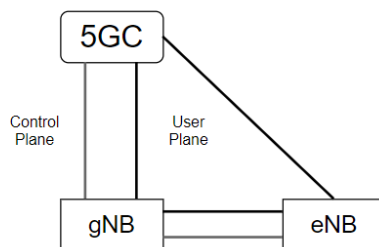
Kuva 10. NSA Vaihtoehto 3x [13].

Vaihtoehdossa 4 (kuva 11) matkaviestinlaite yhdistää kaksinkertaisella yhdistämisellä gNB:hen ja eNB:hen. Tämän jälkeen yhdistäminen menee 5GC:hen, mutta vain gNB:n kautta. Tässä vaihtoehdossa gNB toimii masterina. [12; 14.]



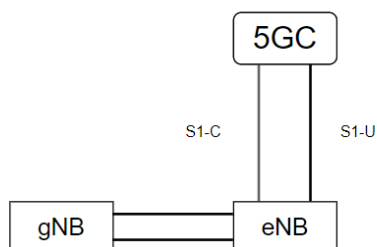
Kuva 11. NSA Vaihtoehto 4 [14].

Vaihtoehto 4a (kuva 12) vastaa vaihtoehtoa 4, mutta siinä myös eNB yhdistää 5GC:hen. [12; 14.]



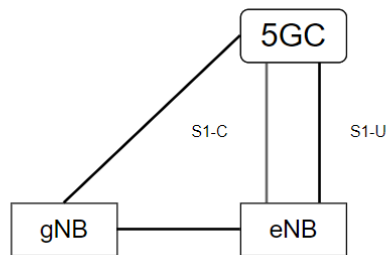
Kuva 12. NSA Vaihtoehto 4a [14].

Vaihtoehdossa 7 (kuva 13) matkaviestinlaite yhdistää kaksinkertaisella yhdistämisellä eNB:hen ja gNB:hen. Tämän jälkeen yhdistäminen menee 5GC:hen, mutta vain eNB:n kautta. Tässä vaihtoehdossa eNB toimii masterina. [12; 15.]



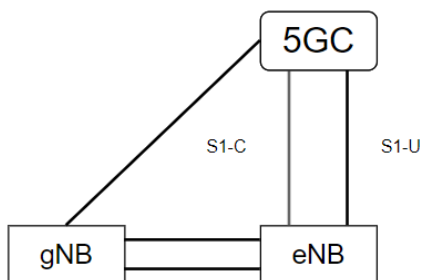
Kuva 13. NSA Vaihtoehto 7 [15].

Vaihtoehto 7a (kuva 14) vastaa vaihtoehtoa 7, mutta myös gNB yhdistää 5GC:hen. X2-rajapinta ei ole käytettävissä. [12; 15.]



Kuva 14. NSA Vaihtoehto 7a [15].

Vaihtoehto 7x (kuva 15) on yhdistelmä vaihtoehdosta 7 ja 7a. Myös gNB yhdistää 5GC:hen ja X2-rajapinta on käytössä. [11; 14.]



Kuva 15. NSA Vaihtoehto 7x [15].

3.3 RAN-arkkitehtuuri

5G RAN -arkkitehtuuri koostuu DU:sta (Distributed Unit) ja CU:sta (Central Unit). DU sijoitetaan tukiasemapaikalle lähelle radioita ja se hoitaa tukiaseman prosessit, jotka eivät salli ylimääräisiä viiveitä, kuten MAC ja RLC ja osan fyysisestä kerroksesta. CU on keskitetty yksikkö, joka hoitaa RRC- ja PDCP-tasot. Radioista tulee yhteys DU:hun, DU:sta CU:hun ja CU:sta ydinverkkoon. [7, s. 75–80; 15; 16.]

F1-rajapinta

F1 rajapinta on osuus CU:n ja DU:n välillä. Sitä kutsutaan myös midhauliksi. CU saattaa sijaita itse tukiasemapaikalla suoraan DU:n yhteydessä tai se saattaa olla sijoitettu keskittelylle sijainnille, josta se voi olla yhteydessä usean eri tukiasemapaikan DU:hun. [7, s. 75–80.]

F2-rajapinta

F2 rajapinta on osuus DU:n ja radioiden välillä. Sitä kutsutaan myös fronthauliksi. F2-rajapinta hoidetaan CPRI:n (Common Public Radio Interface) tai eCPRI:n (Enhanced Common Public Radio Interface) avulla. CPRI on jo aiemmissa sukupolvissa käytössä ollut rajapinta BBU:n kapasiteettiyksiköiden ja radioiden välillä. Kapasiteettiyksiköiden ja radioiden päässä on SFP-muuntajat, jotka yhdistetään kuituun. eCPRI on uudempi, kehittyneempi versio CPRI:stä. [18; 19.]

Xn-rajapinta

Xn-rajapinta yhdistää tukiasemat toisiinsa. Sen avulla gNB:n voi yhdistää toiseen gNB:hen tai eNB:hen. EPC:tä käytettäessä NSA:ta varten gNB:n rajapintaa eNB:hen kutsutaan X2-rajapinnaksi. [7, s. 75–80.]

NG-rajapinta

NG-rajapinta yhdistää CU:n ja ydinverkon. Sitä kutsutaan myös backhauliksi. [7, s. 75–80.]

3.4 Dupleksointi

Dupleksi on toimintamuoto, jossa käyttäjä vastaanottaa ja lähettää tietoa. Dupleksista puhuttaessa on olemassa yksisuuntainen järjestelmä (engl. simplex), vuorosuuntainen järjestelmä (engl. half duplex) ja kaksisuuntainen järjestelmä (engl. full duplex). Esimerkki yksisuuntaisesta järjestelmästä on FM-radio, jossa tietoa vastaanotetaan, mutta mitään ei lähetetä takaisin. Vuorosuuntaisessa järjestelmässä tietoa lähetetään samaa

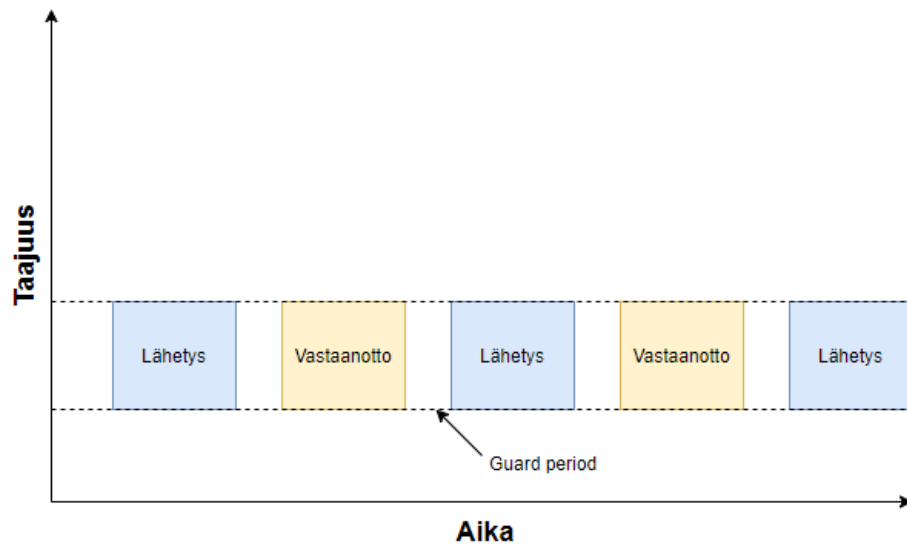
kanavaa pitkin edes takaisin, mutta eri aikoihin. Esimerkki vuorosuuntaisesta järjestelmästä on radiopuhelin, jossa henkilöt puhuvat vuorotellen, mutta eivät voi puhua samaan aikaan. Kaksisuuntaisessa järjestelmässä käyttäjä voi samanaikaisesti lähettää ja vastaanottaa tietoja. Esimerkki tästä on tavallinen puhelu, jossa käyttäjä voi samaan aikaan puhua ja vastaanottaa puhetta. Tieto ei voi liikkua vastakkain samaa kanavaa pitkin, minkä takia käytetään aikajakoista dupleksia (TDD) ja taajuusjakodupleksia (FDD), jotka ovat 5G:n dupleksointiratkaisut. [20.]

TDD

Aikajakoisessa dupleksissa eli TDD:ssä lähetettävä ja vastaanotettava tieto erotetaan aikajakoisesti toisistaan samalla taajuudella pitäen taajuuden käytön alhaisena. Tietoa vastaanotetaan ja lähetetään omissa erillisissä erittäin nopeissa sarjoissa. Lähetysten ja vastaanoton välissä on suoja-aika (engl. guard period), jonka aikana tieto saapuu, ennen kuin sitä lähetetään. Tämä aika kasvaa, mitä kauemmas tukiasemasta liikutaan, ja täten TDD:n viive nousee.

TDD on joustava siten, että se voi allokoida enemmän aikaa lähetykselle tai vastaanotolle riippuen tarpeesta. Taajuuksien lisenssivaatimukset määrittelevät tietyn kehysrakenteen TDD:lle. Siinä määritetään, milloin UL- ja DL-lähetys voi tapahtua. Tämä tarkoittaa sitä, että koko radioverkko lähettää samaan suuntaan, joko UL tai DL, samalla ajanhetkellä. Tämän takia TDD-verkoissa laitteiden synkronointi on erityisen tärkeää. Lisenssi määrittää, millaista TDD-kehysrakennetta saa käyttää. Nämä rakenteet on sovittu Suomessa yhdessä operaattoreiden kanssa, ja kaikkien tulee noudattaa niitä. [19.]

TDD on havainnollistettu kuvassa 16.

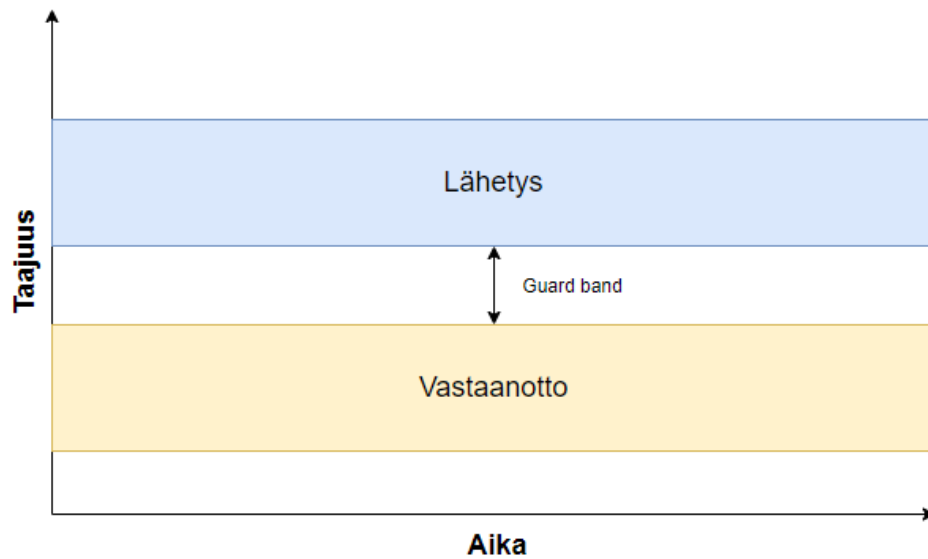


Kuva 16. Aikajakoinen duplexointi havainnollistettuna [20].

FDD

Taajuusjakodupleksissa eli FDD:ssä lähetettävä ja vastaanotettava tieto erotetaan eri taajuuksille. Näiden taajuuksien väliin tarvitaan erillinen suojakaista (engl. guard band) häiriöiden välttämiseksi. FDD:ssä voidaan saavuttaa TDD:tä pienempi viive, mutta kahden eri taajuuden vuoksi spektruria käytetään huomattavasti enemmän. [20.]

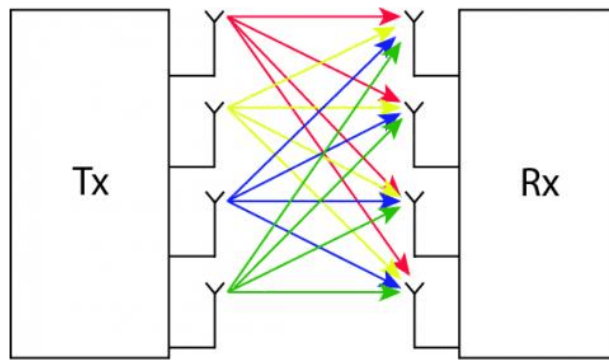
TDD on havainnollistettu kuvassa 17.



Kuva 17. Taajuusjakoduplexi havainnollistettuna [20].

3.5 mMIMO ja säteenmuotoilu

MIMO-teknologiassa (Multiple-Input Multiple-Output) radion kapasiteettia kasvatetaan käyttämällä useaa TRX:ää, eli lähetinvastaanotinta. TRX pitää sisällään sekä TX-elementtejä (Transmission), joita käytetään tiedon lähettämiseen ilman kautta matkaviestinlaitteelle, ja RX-elementtejä (Reception), joita käytetään tiedon vastaanottamiseen matkaviestinlaitteelta. Tieto kulkee samaa kaistaa pitkin, ja vastaanottava antenni voi vastaanottaa signaalit hieman eri aikoihin, koska jokaisen erillisen signaalin reitti on eri. Vastaanottava laite on suunniteltu huomioiden tämä ero viestien ajoituksissa. MIMO:n etuina on parempi signaalinlaatu, korkeampi suorituskyky ja vähentynyt datahävikin määrä. TRX-määrän kasvaessa suorituskyky paranee. 4x4 MIMO on esitelty kuvassa 18. [20.]



A 4x4 MIMO System

Kuva 18. 4x4 MIMO -järjestelmä [21].

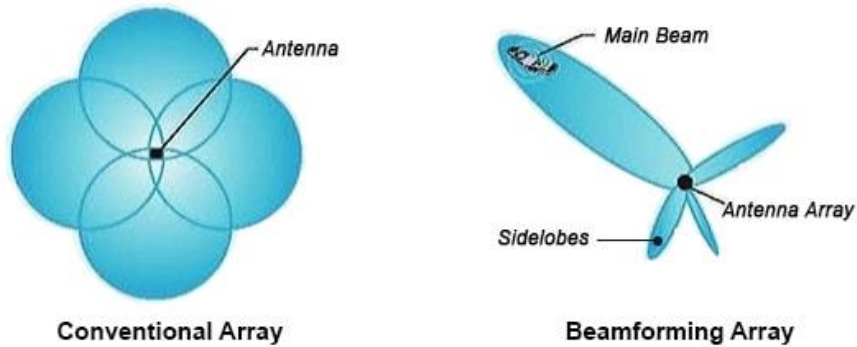
3GPP:n määritelmä mMIMO:sta täyttyy, kun TRX-määrä on yli kahdeksan. mMIMO mahdollistaa säteenmuotoilun (engl. beamforming), jossa säteitä voidaan muokata usealla eri tavalla. Siinä, missä tavallisella antennilla säteet lähetetään laajalle alueelle, säteenmuotoilun avulla voidaan muodostaa tarkkoja ja kapeita säteitä jopa yksittäiselle matkaviestinlaitteelle (kuva 19) ja kasvattaa säteen kantavuutta ja suorituskykyä.

Aiemmin kolmisesektorisissa tukiasemapaikoissa yksi säde saattoi kattaa koko 120 asteen alueen ja aiheuttaa heikomman signaalin ja kattavuuden lisäksi häiriöitä muista sektoreista. Säteenmuotoilu mahdollistaa neljä erillistä sädettä alle 2,5 GHz:n taajuuksilla, kahdeksan sädettä alle 6 GHz ja korkeilla millimetritaajuuksilla 64 sädettä.

Matkaviestinlaitteen yhdistäminen tapahtuu gNB:n lähettämien SSB:den (Synchronization Signal Block) avulla. SSB mahdollistaa matkaviestinlaitteen mittaukset soluista ja matkaviestinlaitteen yhdistämisen verkkoon. Säteenmuotoilu käyttää säteenpyyhkäisyä (engl. beamsweeping), jossa se lähettää SSB:n jokaisella säteellä ennalta määrätyllä aikavälillä. Matkaviestinlaite tunnistaa parhaan säteen SSB:n perusteella ja ilmoittaa tämän gNB:lle.

mMIMO-antennissa on aina vähintään yhtä monta antennielementtiä kuin TRX:ää. TRX-määrän kasvaessa kasvaa myös mahdollisten generoitavien säteiden ja kapasiteetin määrä. Antennielementtien määrän lisäys kasvattaa antennin tehoa ja parantaa katta-

vuutta. TRX:n ja antennielementtien lisäys kasvattaa antennien kokoa ja hintaa. Antennien kokoon vaikuttaa myös suoraan käytetty taajuus; antennien koko on suurempi pienemmillä taajuuksilla ja pienempi suuremmilla. [7, s. 31–32, s. 98–100; 22; 23; 24.] Säteenmuotoiltua sädettä on verrattu suuntaavan antennin säteisiin kuvassa 19.

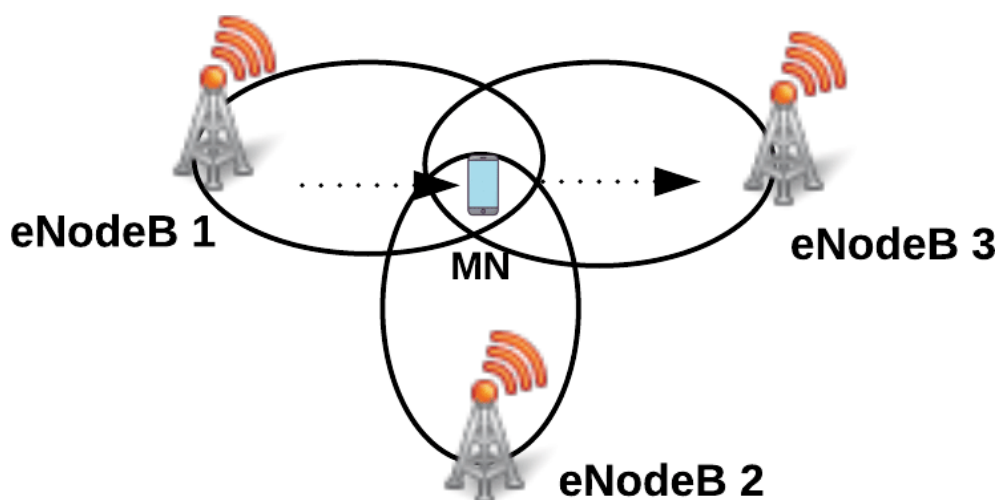


Kuva 19. Suuntaavan antennin säteet (vasemmalla) vertailtuna säteenmuotoiltuihin säteisiin (oikealla) [22].

3.6 Solunvaihto

Solunvaihto eli HO (engl. handover) tapahtuu, kun matkaviestinlaitetta palveleva solu vaihtuu toiseksi. Matkaviestinlaite raportoii jatkuvasti mittatilastoja, ja niiden perusteella tukiasemat osaavat vaihtaa palvelevaa solua, kun toisen solun mittatulokset ovat paremmat. Solunvaihtoja on kahdentyyppisiä: verkon kontrolloimia ja matkaviestinlaitteen kontrolloimia. Solunvaihto voi tapahtua saman gNB:n alla toiseen soluun, toisen gNB:n soluun, gNB-solusta eNB-soluun, eNB-solusta toiseen eNB-soluun tai eNB-solusta gNB-soluun. [25.]

Kuvassa 20 on havainnollistettu eNB-solujen välinen solunvaihto. Kuvassa matkaviestinlaite liikkuu vasemmalta oikealle ja vaihtaa palvelevaa solua sen tullessa vahvimmaksi. Solunvaihdon periaate on sama myös 5G:ssä.



Kuva 20. eNB-solujen välinen solunvaihtoesimerkki [26].

3.7 Kaistansäätelytekniologia

5G:ssä on käytössä lukuisia kaistansäätelytekniologioita, joiden avulla taajuuskaistoja voidaan käyttää eri tavoin yhdessä 5G:n sisällä tai eri tekniologioiden välillä. Tässä luvussa kuvataan 5G-tukiaseman parametrisointia ajatellen tärkeimmät.

CA

CA (Carrier Aggregation) on sekä FDD:ssä että TDD:ssä käytetty metodi, joka yhdistää useita kantotaajuuksia yhdelle matkaviestinlaitteelle ja lisää näin matkaviestinlaitteen käyttämää kokonaiskaistanleveyttä ja suorituskykyä. LTE:n CA:ssa voidaan käyttää yhteensä enintään viittä erillistä kantotaajuutta, joiden jokaisen maksimi on 20 MHz, jolloin CA-taajuuden leveys on maksimissaan 100 MHz. Mikäli kantotaajuuden leveys on alle 20 MHz, voidaan käyttää useampaa kuin viittä kantotaajuutta, kunhan 100 MHz:n kokonaistaajuus ei ylitä. 5G mahdollistaa 16 samanaikaista erillistä kantotaajuutta ja 1 GHz:n kokonaisleveyden. Kaksinkertainen yhdistäminen (engl. Dual Connectivity) mahdollistaa sen, että erilliset kantajataajuudet voivat olla eri tukiasemista. EN-DC (E-UTRAN New Radio – Dual Connectivity) mahdollistaa LTE- ja 5G-kaistojen samanaikaisen käytön ja lisää 5G-yhteyden suorituskykyä. [27; 28.]

DSS

DSS (Dynamic Spectrum Sharing) mahdollistaa samanaikaisen kaistankäytön LTE:n ja 5G:n välillä. Siinä molempien teknologioiden kontrollisanomat käyttävät koko kaistan ja resurssien allokointi tapahtuu dynaamisesti riippuen kummankin tarpeista. [7, s. 31, s. 188–189.]

4 Tukiasemapaikan käyttöönoton laitteet ja ohjelmistot

4.1 Laitteet

Kaikkien tukiasemien toiminnan testaus vaatii matkaviestinlaitteen ja/tai erillisen skannerin. Testattavia laitteita kuljetetaan yleensä testausta varten muokatuilla autoilla, jotka mahdollistavat usean testattavan laitteen samanaikaisen käytön ja helpon liikkumisen halutulla reitillä ja nopeudella.

Auto

Nokialla on käytössään useita, testausta helpottamaan muokattuja autoja (kuva 21). Autojen kalustoon kuuluu yleisesti eri matkaviestinlaitteita, skanneri ja GPS (Global Positioning System).



Kuva 21. Kaksi testikäyttöön tarkoitettua autoa Nokian pääkonttorin edessä.

Autojen tiloja on muokattu helpottamaan testausta. Auton takaosassa on pöytiä ja telineitä tietokoneille, näytöille ja laitteistolle (kuva 22). Autoissa on lukuisia telineitä puhelimille.



Kuva 22. Usealla matkaviestinlaitteella testaus testiauton takatilassa.

Matkaviestinlaite

Matkaviestinlaite on yleisnimi kaikille testattaville laitteille. Testattava laite on yleensä älypuhelin. Nokian radiotuotteiden kenttätestaustiimillä on käytössään useiden valmistajien useita eri älypuhelimia eri piirisarjoilla. Insinööriyössä tukiasemapaikan ensimmäisiin testauksiin ja raportointeihin aina samantyyppisiä Qualcommin X50/X55-testipuhelimia (kuva 23), jotta eri tukiasemapaikkojen raportit testit olivat mahdollisimman verrattavia keskenään. Eri älypuhelimet tukevat eri teknologioita, ja niitä käytetään eri konfiguraatioilla eri käyttötarkoituksiin, esimerkiksi SA:n ja NSA:n testausta varten on erilliset älypuhelimet.



Kuva 23. Qualcomm Snapdragon X50 -testimatkaviestinlaite [29].

Skanneri

Testauksessa ja raportoinnissa on käytössä erilaisia skannereita (kuva 24). Skannereita käytetään yleensä autossa yhdessä Nemo Outdoor -sovelluksen kanssa, mutta niillä on mahdollista testata myös kävellen ja sisätiloissa. Skanneri antaa tarkkoja mittaustuloksia tukiaseman lähettämästä signaalista. [30.]



Kuva 24. Rohde & Schwartz TSME6 -skanneri [30].

4.2 Työkalut ja ohjelmistot

BTS Manager

BTS Manager on käyttöliittymä, jonka kautta tukiasemaan päästään käsiksi ja sitä voi etäohjata. Sen avulla voidaan esimerkiksi

- uudelleenkäynnistää tukiasema
- lukita soluja
- parametrisoida tukiasemaa
- muokata tukiaseman ja yksittäisten solujen asetuksia.

BTS Manageriin pääsee käsiksi lokaalisti Ethernet-kaapelilla tai sisäverkossa, kun parametrisoinnissa on määritetty oikeat verkkoasetukset.

Nemo Outdoor

Nemo Outdoor on Keysight Technologiesin sovellus, jonka avulla voidaan suorittaa reaaliaikaisia kenttämittauksia matkaviestinlaitteista ja skannereista. Testiautoissa on yleensä oma erillinen Nemo Outdoor- kannettava tietokone, johon voi liittää tarpeen mukaan skannerin ja halutun tai halutut matkaviestinlaitteet. Nemo Outdoor tukee lukuisia

eri järjestelmäpiirejä ja teknologioita 2G:n ja 5G:n väliltä. Sillä saa tehtyä 5G:ssä sekä NSA- että SA-mittauksia. [31.]

Nemo Analyze

Nemo Analyze on Keysight Technologiesin sovellus, jonka avulla voidaan analysoida ja raportoida Nemo Outdoorin muodostamaa dataa. Mikäli Nemo Outdoorissa on käytetty GPS:ää, tuloksia voidaan visualisoida erilaisille kartoille, kuten Google Mapsin ja OpenStreetMapin kartoille. Kartan lisäksi tietoja voidaan esittää myös esimerkiksi erilaisilla ruudukoilla, kuvaajilla, numeraalisena datana tai tekstimuodossa. Tietoja voi viedä muihin sovelluksiin, kuten Exceliin. Sovelluksen avulla voi vertailla kahden tai useamman ajon tuloksia. [32.]

Iperf3

Iperf3 on työkalu, jonka avulla voidaan generoida tiedonsiirtoa matkaviestinlaitteelle ja mitata maksimaalista läpäisykykyä. Se tukee erilaisia protokollia ja asetuksia ja raportoi jokaisen testin tuloksia. Mitattaessa matkaviestinlaite laitetaan kuuntelemaan sanomia sen koneen kautta, johon se on liitetty. Tämän jälkeen erillinen Iperf-palvelin laitetaan lähettämään tietoa. [33.]

Wireshark

Wireshark on pakettianalysointiohjelma, jota käytetään tallentamaan ja analysoimaan tietoliikennettä ja helpottamaan vianetsintää. Se tukee satoja protokollia ja useita alustoja. [34.]

Sisäiset työkalut ja ohjelmistot

Nokialla on käytössä lukuisia sisäisiä työkaluja ja ohjelmistoja, joita ei voida tarkemmin avata tässä insinööriyössä.

5 5G-testitukiasemapaikan suunnittelu ja käyttöönotto

5G-testitukiasemapaikan pystyttäminen sisältää suunnittelu-, rakennus- ja käyttöönotto-vaiheen. Käyttöönotto pitää sisällään tukiasemien testaukset ja raportoinnin.

5.1 Suunnittelu

Suunnittelussa päätetään, mitä RF-kalustoa halutaan lisätä testauksen käyttöön. Sijainti valitaan radioiden ja olemassa olevien tukiasemien perusteella. Muu laitteisto valitaan sijainnin mahdollisuuksien ja radioiden perusteella.

Radiosuunnitelma

Radioiden valintaan vaikuttavat olennaisesti käytettävissä olevat taajuudet, sillä jokaisella radiolla on oma taajuusalueensa, jolla se operoi. Kun radiot, joita ei taajuusalueidensa takia voi käyttää, on suljettu pois, jäljellä olevista mietitään, mitä tarvitaan tulevissa testauskäytöissä ja mitä aiemmasta testiverkostosta jo löytyy. Radiosuunnitelmassa suunnitellaan käytettävien radioiden lisäksi tukiasemien ja käytettävien teknologioiden määrä, tarvittavat erilliset antennit, sektoreiden määrä ja suunta ja suunnitellaan joka sektorin konfiguroinnit. Yleisesti TDD:llä on omat radionsa ja FDD jakaa kalustoa LTE:n kanssa. TDD:n radioksi halutaan valita mMIMO-radio, mikäli se on sijainnin perusteella mahdollista. Mahdollisuuksien mukaan LTE-radioiksi valitaan aina semmoinen radio, jota voi käyttää myös NR FDD:ssä, koska se mahdollistaa tulevaisuudessa kokonaan siirtymisen LTE:stä 5G:hen ilman muutoksia tukiasemapaikan kalustoon. Radiosuunnitelmassa suunnitellaan jokaisen solun parametrit.

Sijaintisuunnitelma

Radiosuunnitelma vaikuttaa sijaintiin olennaisesti, sillä jokaisen radion kantama on erilainen niiden eri taajuusalueiden vuoksi. Sijainnin suunnittelussa käytetään hyödyksi aiempien tukiasemapaikkojen raporttia, joista käy selvemmin ilmi, mihin asti niiden signaalit ylettyvät. Tämän perusteella uusi sijainti yritetään valita niin, että kanavanvaihto toisen tukiasemapaikan soluun on mahdollinen. Kun haluttu sijainti on suurin piirtein tiedossa, alueella käydään tekemässä katselmus, jossa selvitetään potentiaaliset sijainnit

tulevalle tukiasemapaikalle. Nämä sijainnit saattavat olla pääasiassa rakennuksia ja mastoja. Katselmuksella myös selvitetään, missä operaattoreilla on omat tukiasemapaikkansa alueella ja voiko samoja sijainteja käyttää. Mikäli käytetään operaattoreiden olemassa olevia ratkaisuja, pitää ottaa huomioon, että parhaat tukiasemasijainnit ovat jo todennäköisesti käytössä ja oma RF-laitteisto tulee laittaa matalammalle, josta kattavuus on heikompi.

Laitteistosuunnitelma

Laitteistosuunnitelmassa tulee ottaa huomioon, mihin tukiasemapaikka asennetaan. Mikäli koko laitteisto on ulkona, kaiken laitetelineitä myöten pitää olla säänkestäviä ja suojata sisällä olevaa laitteistoa. Laitteistosuunnitelmassa keskeisimmässä roolissa ovat valitut radiot ja BBU:t. Tällä pyritään kattamaan tukiasemapaikalle tarvittava virtalaitteisto, kaapelit, telineet, kuidut, GPS ja verkkolaitteisto. Suunnitelmassa otetaan huomioon, mihin laitteet sijoitetaan, minkälaiset laitetelineet tilat mahdollistavat sekä kuinka monta erillistä antennia tarvitaan RRH-radioihin. Laitteistoa halutaan käyttää mahdollisimman paljon uudelleen, ja erillisantenneja on yleensä yksi sektoria kohti. Useita radioita käytettäessä tämä tarkoittaa usein, ettei antennissa ole tarpeeksi monta antenniporttia ja siksi joudutaan käyttämään erillisiä duplex- tai triplex-suodattimia. Nämä suodattimet yhdistävät kaksi tai kolme eri taajuudella toimivaa antenniporttia yhdeksi syöttöportiksi, mikä mahdollistaa useamman eritaajuisen radion yhdistämisen yhteen antenniin. Laitesuunnitelmassa lasketaan näiden suodattimien määrä ja käyttötarve. Suunnitelmassa selvitetään ja eritellään, mitä laitteistoa löytyy jo varastosta, mitä tarvitsee tilata ja mitkä alihankkija tulee hankkimaan. [35.]

Yhteys rakennusten omistajatahoihin

Rakennusten omistajien kanssa käydään kaikki suunniteltu läpi. Suunnitelmiin tehdään tarvittavat muutokset, jotta rakentaminen onnistuu. Tukiasemapaikan kuukausivuokrasta sovitaan. Joihinkin rakennuksiin voi olla vaikeampi saada suostumusta kuin toisiin; esimerkiksi lupa saada rakentaa asutun kerrostalon katolle saattaa vaatia yhtiökokouksen.

Tukiasemapaikkakartoitus rakennuksen edustajan kanssa

Rakennuksen edustajan, yleensä isännöitsijän tai huoltoliikkeen edustajan, kanssa katsotaan paikan päällä läpi

- läpiviennit
- sähköreitit
- yhteydet talon ATK-tilasta tukiasemille
- sektorien suunnat
- katolle rakentaessa kattorakenteet ja rakennettavien tolppien paikat
- sisälle tulevien laitteiden asennuspaikat, mikäli tarpeellista.

Transport-suunnitelma

Transport-suunnitelmassa kartoitetaan, onko rakennuspaikasta olemassa olevia kuituyhteyksiä, ja mikäli on, niin voiko niitä vuokrata. Sijainnin perusteella mietitään, mitä kautta yhteydet viedään tukiasemapaikalta ytimeen. Monesti käytetään solmupisteitä, joihin tulee kuituyhteydet monelta tukiasemapaikalta ja jotka vievät solmupisteestä kaikkien yhteydet eteenpäin ydinverkkoon.

5.2 Rakentaminen

Rakentaminen tehdään pääasiassa erillisen alihankkijan kautta.

Tekninen tukiasemapaikkakartoitus alihankkijan kanssa

Alihankkijan kanssa mennään teknisen tukiasemapaikkakartoituksen yhteydessä paikan päälle halutulle sijainnille ja käydään kaikki suunniteltu läpi. Suunnitelmaan tehdään tarvittavat muutokset. Paikan päällä katsotaan läpiviennit ja se, mihin asennetaan mitäkin. Tässä vaiheessa selvitetään täsmällisesti suunnitelman mukaisten laitteiden vaatima sähkönsyöttötarve ja sähkösyöttöpisteet.

Alihankkijan asennussuunnitelma ja tarjous

Alihankkija tekee lopullisen asennussuunnitelman kartoituksen perusteella ja sen perusteella tarjouksen. Kun suunnitelma on hyväksytty Nokian ja rakennuksen omistajatahon kanssa ja tarjous on Nokialla hyväksytty, asennustyö voi alkaa.

Alihankkijan asennustyö

RF-laitteisto tulee Nokialle ja kuljetetaan sieltä tukiasemapaikalle. Asennuksen aikatauluttaa Nokia laitteiston saapumisen perusteella. Tämä saattaa tapahtua useammassa kuin yhdessä erässä. Asennustyö sisältää seuraavat vaiheet:

- tukirakenteiden ja tolppien asennus
- RF-laitteiston ja GPS-yksikön kiinnittäminen tolppiin
- mahdollisten RF-jumperien kiinnitys antennien ja radioiden välille
- runkokuituyhteys BBU:n ja radioiden välille
- kaapelointikulujen asentaminen
- sähköjen asentaminen, sisältää myös tasasuuntaajien asentamisen.

5.3 Käyttöönotto

Käyttöönottovaihe voi alkaa, kun alihankkija on asentanut tukiasemapaikalle kaiken tarvittavan ja tukiasemapaikalle tulee sähköt.

Tukiasemien käyttöönotto

Kun asennustyö on alihankkijan osalta valmis ja tukiasemapaikalle tulee virtaa, tukiasemien BBU:t voidaan asentaa. BBU:n systeemyksikköön ladataan haluttu ohjelmistoversio, ja se asennetaan kapasiteettiyksiköiden kanssa tukiasemapaikan laitetelineen kehikkoon. Systeemyksikkö päivittää kapasiteettiyksiköt, ja ne vuorostaan päivittävät radioyksiköt. Tukiasemapaikalla kytketään CPRI/eCPRI-kuitujen kytkennät kapasiteettiyksiköiden ja radioiden välillä ja tarkistetaan, että antennit ja GPS on kaapeloitu oikein. Jakotukista säädetään sähkösyöttölaitteiden asetukset tukiasemapaikkakohtaisesti kuntoon käytetyn laitteiston ja niiden vaatiman virran perusteella.

Transportin yhdistäminen ja testaus

BBU:n systeemyksikön LMP-portti (Local Management Port) yhdistetään transport-laitteisiin transportin toimivuutta varten. Jokaiselle tukiasemalle tulee LMP-porttiin yhdistetty virtuaalikone, jonka kautta tukiasemaan on mahdollista päästä käsiksi erityisellä tuotekehityskäyttöön tarkoitettulla työkaluilla. Testataan, että 5GC- ja EPC-yhteydet toimivat. Ympäri vuorokautinen Wireshark-monitorointi ja systeemilokitus otetaan käyttöön.

Tukiaseman testaustarpeen mukainen parametrisointi

Parametrisoinnissa asetetaan tukiasemalle tukiasema- ja solukohtaisesti ennalta suunnitellut parametrit. Taajuusasetukset, mukaan lukien mahdolliset DSS-asetukset, määritetään solukohtaisesti. Määritetään tarpeen mukaan NSA- ja / tai SA-asetukset. NSA:ssa määritetään, mitä LTE-solua käytetään ankkurina, mikä vaatii, että kyseinen LTE on myös parametrisoitu oikein ja EPC-asetukset on määritetty. SA:ta varten määritetään 5GC-asetukset. Virta-asetukset ja teho, jolla SSB lähetetään, määritetään sijainnin ja laitteiston mukaan. Nokialla on radiotyyppikohtainen päivittyvä arkisto parhaiten toimivaksi todetuista parametreista. Mikäli tukiasemapaikan tuleva testitarve ei vaadi tiettyä parametria, valitaan parametrin arvo Nokian arkistosta. CA- ja EN-DC-toimivuus testataan, ja niiden arvot jätetään suunnitelluiksi.

Parametrisoinnissa määritetään naapurisolut. 5G:ssä joka solulle määritetään kaksi taajuutta. Ensimmäinen niistä on nrarfcn (New Radio Absolute Radio Frequency Channel Number), joka on solun taajuuskanavanumero ja määrittää sen keskitaajuuden ja jota tarvitaan naapurisoluja varten. Toinen on GSCN (Global Synchronization Channel Number), joka on solun synkronointikanavanumero ja määrittelee synkronointisignaalin, SSB:n ja taajuuden. SSB sisältää solun systeemitietoja, kuten synkronisaation ja PBCH:n, joita matkaviestinlaite käyttää soluun kytkeytymiseen. 5G-5G-naapureissa käytetään nrarfcn NRREL-arvoa, LTE- NSA 5G-naapureissa määritetään LTE-puolelle NRDCDPR-objekti, joka määrittää tapahtumaa B1 varten käytetyt parametrit mukaan lukien mitattavan SSB- taajuuden. B1-tapahtuma on yleisesti radioverkoissa käytetty kahden eri RAT-tekniikan (Radio Access Technology) välisissä solunvaihdossa käytetty mittatapahtuma.

Parametrisoinnissa määritetään, kuinka monta sädettä käytetään, ja testataan niiden toimivuus.

Parametrisointia seuraa yleensä aina testaus, jolla varmistetaan tukiaseman toimivan halutulla tavalla. Useita parametrimuutoksia saatetaan kokeilla kerralla ja tuloksia vertailla niin, että optimaaliset arvot löydetään.

Testaus ja raportointi

Kun tukiasemat ovat toiminnassa ja optimoitu, voidaan suorittaa ensimmäinen testiajo. Testiajossa käytetään hyväksi testiautoa ja Nemo Outdooria, johon on kytketty matkaviestinlaite ja skanneri. Käytössä on sekä NSA että SA matkaviestinlaite. Ajot tehdään NSA:na ja SA:na erikseen simuloiden DL- (Downlink) ja UL-liikennettä (Uplink) käyttäen hyödyksi iperf3:ta. Testiajossa ajetaan ympäriinsä tukiasemapaikan lähialueella niin, että nähdään parhaat ja heikoimmat kohdat. Tuloksia verrataan siihen, mitä tukiasemapaikan kokoonpanolla odotetaan saatavan. Mikäli tulokset eivät ole tarpeeksi hyviä kyseiselle kokoonpanolle, tukiasemapaikan parametreja optimoidaan ja tämän jälkeen suoritetaan uudet testiajot. Kun testiajojen tulokset ovat tarpeeksi hyvät, tulokset voidaan raportoida. Raportoinnissa Nemo Outdoor- tiedostot tuodaan Nemo Analyze- ohjelmaan. Raportissa kerrotaan, mikä kokoonpano ja mitkä virta-asetukset ovat käytössä. Raportointia varten tärkeimmät seikat ovat ajon

- käytetyt laitetypit ja ohjelmistoversiot
- suoritusteho (PDCP Throughput, Mbps)
- signaalin vahvuus (SS-RSRP, dBm)
- vahvimman säteen lähettävä sektori (PCI)
- vahvimman säteen indeksi (PCI & Beam Index)
- arvoaste (Rank Indicator)
- signaalin suhde häiriöihin ja kohinaan (SS-SINR).

Suoritusteholla kuvataan megabiteinä sekunnissa, kuinka paljon tietoa todellisuudessa liikkuu matkaviestinlaitteen ja tukiaseman välillä. Signaalin vahvuus kuvaa, miten vahva signaali on missäkin kohtaa. Sitä voidaan yhdessä suoritustehon kanssa käyttää kertomaan, missä on ajoreitin parhaat ja heikommat signaalit. Vahvimman säteen lähettävän sektori näyttää, mistä tukiaseman solusta vahvin signaali on. Sen avulla voidaan varmistaa, että tukiasemapaikka vaihtaa toisen sektorin soluun oikein, kun auto ajaa toisen sektorin alta toiseen. Lisäksi sitä voidaan käyttää näkemään, missä kohtaa tukiasemalta

on ajettu niin kauas, että vahvin signaali tulee toisen tukiasemapaikan tukiasemalta. Vahvimman säteen indeksi menee vielä askelta pidemmälle ja näyttää, mikä yksittäinen säde on milläkin hetkellä vahvin. Sitä käytetään ilmaisemaan, että parametrisointi on tehty säteiden osalta oikein. Jokaisella säteellä on oma indeksilukunsa, ja kaikki säteet ovat numerojärjestyksessä. Mikäli indeksit hyppivät, se ilmaisee, että väärä säde saattaa olla sillä hetkellä aktiivinen. Arvoaste kuvaa, kuinka hyvin usean antennin järjestelmät toimivat, ja on suoraan yhteydessä MIMO-asetuksiin. Jos solulla on 4x4 MIMO, niin paras arvoaste on 4, joka tarkoittaa, että antennielementtien välillä ei ole häiriötä. Jos samassa tilanteen arvoaste olisi 2, niin se tarkoittaisi sitä, että sillä kyseisellä hetkellä matkaviestinlaite havaitsisi vain kahden antennielementin lähetystehon ja suorituskyky olisi heikompa. Käyrien ja taulukoiden lisäksi tuloksia raportoidaan kartalla. Testiraporttia käytetään testikäytön suunnittelun lisäksi uusien tukiasemapaikkojen suunnittelussa. [36; 37; 38; 39.]

Testisuunnittelu ja käyttö

Raportin perusteella tukiasemapaikalle tehdään kaksi ajoreittiä. Ensimmäisessä ajoreitissä pysytään koko ajan alueella, jossa suorituskyky on hyvä. Toisessa ajoreitissä ajetaan ulos tukiaseman vaikutusalueelta niin, että yhteys menetetään. Kun sopiva reitti on löydetty, siihen ei tehdä enää muutoksia ilman painavia syitä. Saman reitin käyttäminen helpottaa tulevaisuudessa ajotuloksien vertailua, kun käytössä on eri versiot ja parametrit. Tämän jälkeen tukiasemapaikka otetaan viralliseen testikäyttöön.

6 Esimerkkitukiasemapaikan käyttöönotto

Insinöörityönä tehty esimerkkitukiasemapaikka on uusi tukiasemapaikka, joka rakennettiin katolle (kuva 25) siten, että osa laitteistosta on sisällä IV-konehuoneessa (kuva 27). Kaapelit kulkevat erillistä kaapelikuilua pitkin (kuva 26). Kaapeleiden sisäänkäynnin IV-konehuoneeseen voi nähdä kuvan 27 vasemmasta ylälaidasta. Kuvassa 27 oikealla näkyy myös erillinen, työskentelyä helpottamaan tehty työvalo. Pehmustetulle katolle asennettiin aluslevyt ja pehmusteet. Niiden päälle asennettiin metalliset putket, joihin RF-laitteisto ja GPS on kiinnitetty (kuva 25).



Kuva 25. Esimerkkitukiasemapaikan katon RF-laitteisto ja rakenteet.

Esimerkkitukiasemapaikan sijainnin vuoksi käytössä on kaksi sektoria: kolmas sektori osoittaisi alueelle, johon ei pääse testaamaan. Testitukiasemapaikka on 5G-testauksen käytössä, mikä tarkoittaa, että LTE asennetaan pelkästään NSA:n toimivuutta varten eikä LTE:tä testata erikseen. Kuvassa 25 NR TDD:n mMIMO-radiot on asennettu päädissä oleville putkille ja NR FDD:n ja LTE:n käyttämä kalusto keskimmaisille. Esimerkkitukiasemapaikalle määriteltiin sekä NSA että SA; tälle tukiasemapaikalle päätettiin SA:ssa käyttää vaihtoehtoa 2 ja NSA:ssa vaihtoehtoa 3x. Tiedonsiirto tukiasemapaikalta ulospäin tapahtuu operaattorilta vuokratulla kuidulla toisen Nokian testitukiasemapaikan kautta ytimeen.



Kuva 26. Kaapeleiden kuljetus IV-konehuoneeseen kaapelikouruja pitkin.

6.1 Tukiasemat

Esimerkkitukiasemapaikalla on kolme tukiasemaa, NR TDD, NR FDD ja LTE, ja yhteensä kuusi radiota, kolme sektoria kohden. LTE ja NR FDD jakavat radiot ja taajuuskaistat B1 ja B7 DSS:n avulla. NR TDD:llä on oma MAA-radio. Kaikki tukiasemien solut ovat makrosoluja.



Kuva 27. IV-konehuoneen laiteteline.

LTE

LTE käyttää kahta eri radiomallia ja molempia on yksi sektoria kohden. Toisessa radiolla käytetään LTE-taajuuskaistoja B1 ja B3 ja toisessa radiossa B7. Soluja on yksi jokaiselle taajuuskaistalle ja yhteensä kuusi. Molemmat radiot ovat myös NR FDD:n käytössä hyödyntäen DSS-teknologiaa. LTE:llä on jokaiselle taajuuskaistalle oma solunsa eli yhteensä kuusi solua, kolme sektoria kohden. Kaikki solut konfiguroitiin ja parametrisoitiin käyttämään 4x4 closed loop MIMOa. LTE:n BBU:ssa on yhden systeemyksikön lisäksi kaksi kapasiteettiyksikköä.

NR FDD

NR FDD käyttää samoja radioita LTE:n kanssa, mutta kaistoja n1 ja n7. Kun 5G ja LTE jakavat kalustoa, 5G on aina master ja kaikki molempia koskevat asetukset, kuten RET:n

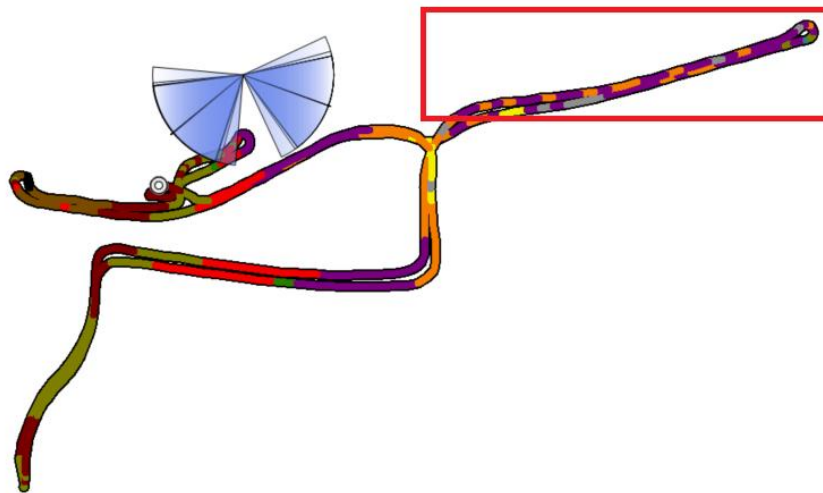
säätely, tapahtuu 5G:n kautta. NR FDD:llä on yhteensä neljä solua, kaksi sektoria kohden. BBU:ssa on yhden systeemyksikön lisäksi kaksi kapasiteettiyksikköä. NR FDD on konfiguroitu toimimaan NSA:na, SA tulee myöhemmin.

NR TDD

NR TDD:llä on käytössä oma mMIMO, 32TRX MAA-radio. Tukiasemalla on käytössä taajuskaista n78. Soluja on kaksi, yksi suuntaa kohden. BBU:ssa on yhden systeemyksikön lisäksi kaksi kapasiteettiyksikköä. NR TDD on konfiguroitu toimimaan sekä SA:na että NSA:na.

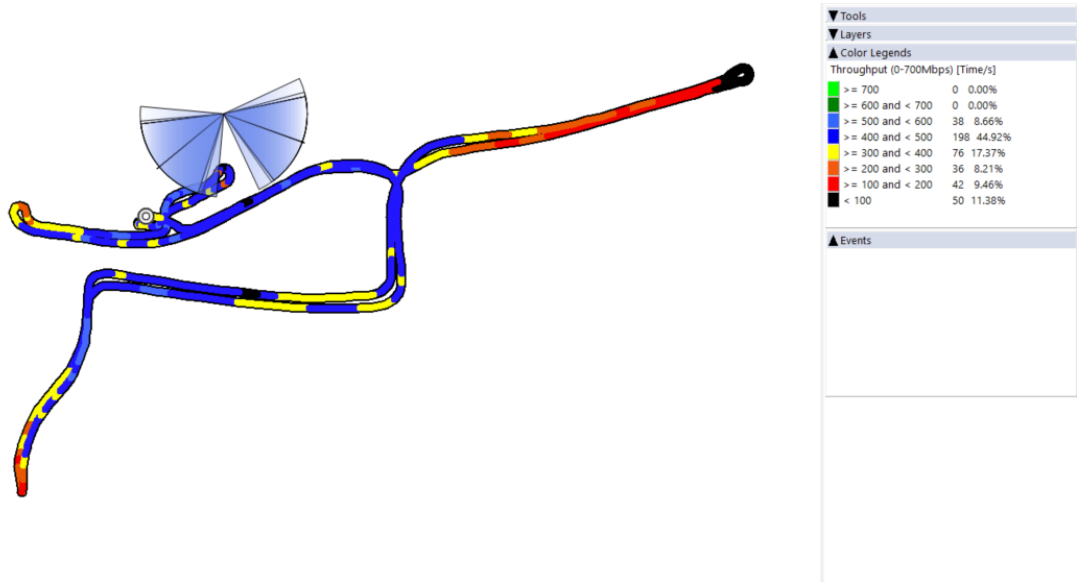
6.2 Testaus ja raportointi

Testaus pystyttiin aloittamaan, kun solut tulivat ilmoille parametrisoinnin jälkeen. Testatessa huomion herätti turhan tiheä säteenvaihto esimerkkireitin suoralla (kuva 28), joka tulisi vaatimaan parametrisoinnin hiontaa. Kaikki tämän luvun kuvat ovat NSA DL-ajosta. Tukiasemien sektorien suunnat näkyvät kuvista.



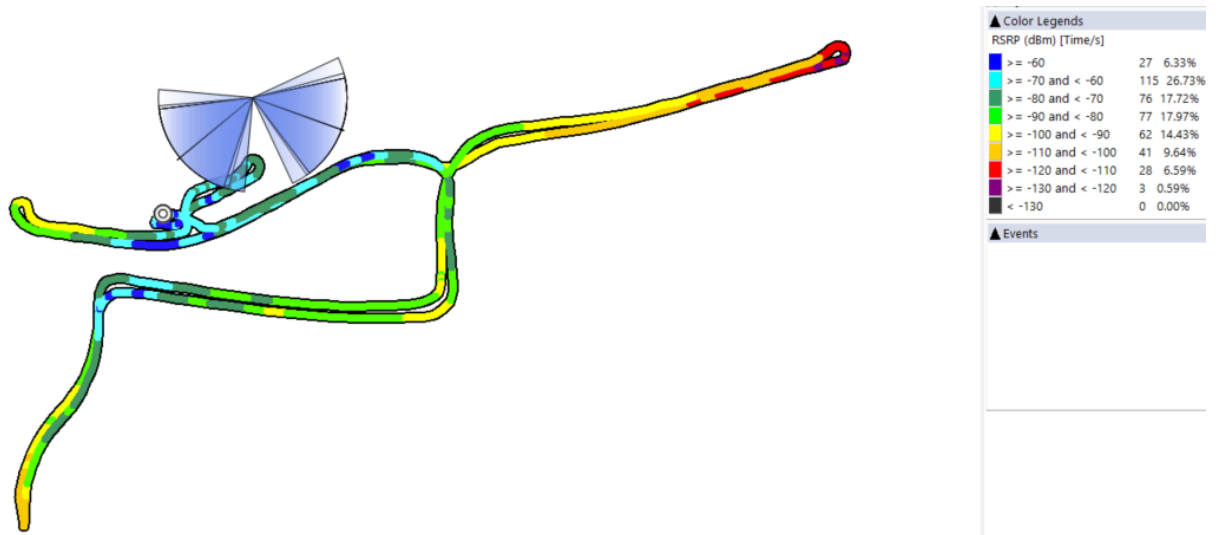
Kuva 28. Turhaa säteenvaihtoa ajoreitillä.

Testiajon DL -suorituskyky (kuva 29) oli siedettävää, mutta sitä oli mahdollista vielä parantaa. Kartalta näki selkeästi heikommät alueet, joihin tulisi kiinnittää huomiota testatessa.



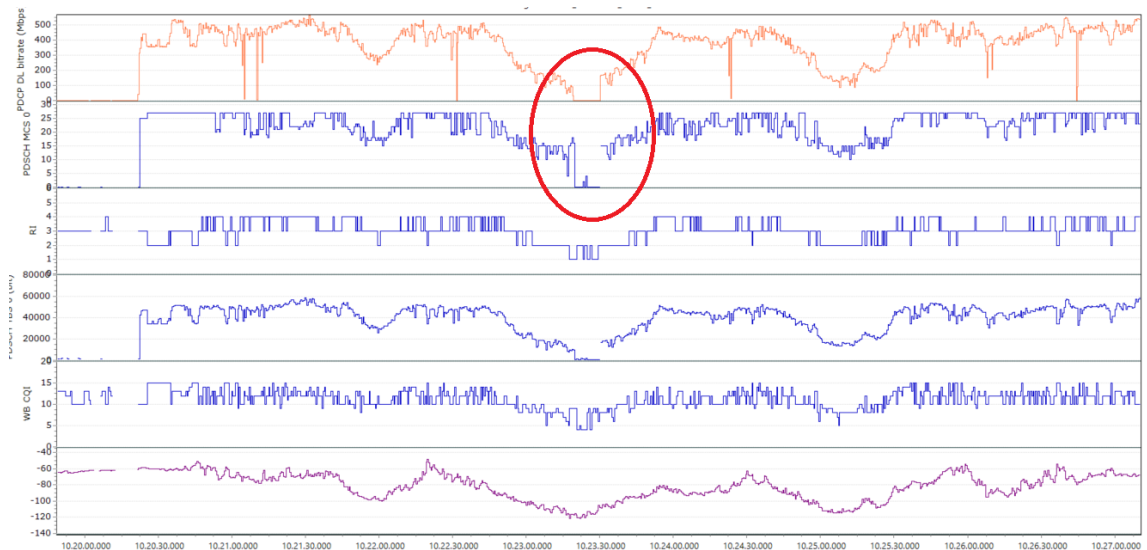
Kuva 29. NSA DL -suorituskyky ajoreitillä.

Signaalin vahvuudesta (kuva 30) näkee selkeästi kohdat, joissa signaali on erityisen heikkoa tai vahvaa. Vahvoja kohtia voidaan käyttää hyödyksi vertailtaessa eri versioiden ja parametrien eroja paikallaan oltaessa. Signaalien vahvuuksien vertailu toisten, lähellä olevien tukiasemapaikkojen kanssa helpottaa hahmottamaan ajo- ja solunvaihtoreittejä.



Kuva 30. Signaalin vahvuus ajoreitillä.

Kuvassa 31 näkyvät selvästi rinta rinnan koko ajon tilastot. Kuvassa on ympyröity kohta, jossa suorituskyky laski nollaan, mutta yhteys säilyi.



Kuva 31. NSA DL -ajon tulokset kuvaajassa.

Kuvasta 32 näkee, että kaikki ajon solunvaihdot olivat onnistuneita.

Time	RACH type	RACH reason	RACH result
10:19:48.878	Contention based	Channel request	Succeeded
10:20:06.157	Contention based	Channel request	Succeeded
10:20:21.677	Contention based	Channel request	Succeeded
10:21:04.246	Non-contention based	Handover	Succeeded
10:21:05.297	Contention based	Handover	Succeeded
10:21:10.617	Contention based	Handover	Succeeded
10:21:12.546	Non-contention based	Handover	Succeeded
10:22:29.925	Non-contention based	Handover	Succeeded
10:22:31.936	Contention based	Handover	Succeeded
10:23:16.877	Contention based	Handover	Succeeded
10:23:17.807	Non-contention based	Handover	Succeeded
10:23:21.085	Contention based	Handover	Succeeded
10:23:23.343	Contention based	Handover	Succeeded
10:23:28.866	Non-contention based	Handover	Succeeded
10:23:29.366	Non-contention based	Handover	Succeeded
10:24:22.786	Non-contention based	Handover	Succeeded
10:24:23.799	Contention based	Handover	Succeeded
10:26:08.005	Non-contention based	Handover	Succeeded
10:26:09.978	Contention based	Handover	Succeeded
10:26:44.657	Contention based	Handover	Succeeded
10:26:44.908	Non-contention based	Handover	Succeeded

Kuva 32. NSA DL -ajon solunvaihdot.

Testaus suoritettiin kokonaisuudessaan Qualcommin matkaviestinlaitteen kanssa UL- ja DL-suuntiin sekä SA:na ja NSA:na TDD:lle että NSA:na FDD:lle. LTE testattiin lisäksi samalla matkaviestinlaitteella niin, että NR -solut suljettiin ja matkaviestinlaite pystyi yhdistämään vain LTE:hen. Kuvien 28–32 mukaisen esimerkkireitin lisäksi ajettiin huomattavasti pidempiä ajoja lähimaastossa kattavampaa raportointia varten. Pidemmissä ajoissa kartoitetaan kaikki kohdat, joissa yhteys tukiasemiin pysyy.

6.3 Testikäyttö

Testiraportin perusteella määriteltiin reitti 1, jossa signaalin vahvuus on koko ajan hyvä, sekä reitti 2, jossa ajetaan niin kauas, että yhteys tukiasemaan katkeaa. Lisäksi valitaan yksittäinen kohta, jossa signaali on erityisen vahva ja jossa voidaan tehdä testausta paikallaan. TDD- ja FDD testaus käyttävät yhteisesti testitukiasemapaikkaa, joten testaus tarvitsee suunnitella; NR FDD ja LTE jakavat radiot, joten esimerkiksi NR FDD- tukiaseman uudelleenkäynnistys vaikuttaa LTE:hen, joka taas suoraan vaikuttaa NR TDD:n NSA:n toimivuuteen.

6.4 Käyttöönoton kehittäminen

Parametrisoinnin helpottamista varten eri radiotyypeille voisi luoda valmiit pohjat, joissa on oletuksena radiokohtaiset hyväksi todetut arvot. Nykyään pohja on otettu toiselta tukiasemalta, jossa saattaa olla huomattavasti standardista poikkeavat arvot sillä hetkellä. Näitä erikoisuuksia voi olla vaikea löytää uuden tukiaseman normaalista poikkeavaa toimintaa etsiessä.

Eri henkilöt saattavat päivittää tukiaseman konfiguraatiota tietämättä toisten muutoksista tai niiden syistä. Ottamalla käyttöön versionhallintajärjestelmä, jossa jokainen käyttöön vaihdettu konfiguraatio kommentoitaisiin ja vanhat konfiguraatiot olisi helppo palauttaa, helpottuisi eri testaajien keskinäinen työskentely. Tämä helpottaisi lisäksi tilanteissa, jossa esimerkiksi TDD-gNB:tä testaava henkilö muokkaa eNB:tä, mikä vaikuttaa myös FDD-gNB:hen; FDD-gNB:tä testaava henkilö näkisi selvästi syyn potentiaalisiin muutoksiin mittauksissa.

TDD:n ja FDD:n samanaikaista testausta helpottaisivat erilliset PLMN-koodit.

7 Yhteenveto

Tukiasemapaikka koostuu tukiasemasta tai tukiasemista ja kaikesta laitteistosta, mitä ne vaativat toimiakseen, kuten erillisiä rakenteita ja sähkö- ja verkkolaitteistoa. 5G-tukiasemapaikan tukiasemat ovat NR TDD-, NR FDD- tai LTE-tukiasemia. LTE-tukiasemia käytetään NR NSA:n toimivuutta varten.

Uusi tukiasemapaikka lähtee suunnitteluvaiheesta: suunnitellaan, mitä kalustoa halutaan ja minne. Sijainnin vuokrasta sovitaan rakennuksen omistajan kanssa. Tämän jälkeen suunnitelma esitetään alihankkijalle. Alihankkija tekee tarjouksen, sen hyväksymisen jälkeen alkaa rakentaminen. Rakentamisen jälkeen tukiasemapaikka voidaan käyttöön ottaa ja tukiasemat liittämään transport-verkkoon. Tämän jälkeen tukiasemat parametrisoidaan tulevaa testausta varten suunniteltujen parametrien mukaan. Tukiasemapaikan toimivuus testataan ja raportoidaan, ja tukiasemapaikka voidaan ottaa viralliseen testikäyttöön, kun sen toiminta on todettu tarpeeksi hyväksi.

Insinööriyön tavoitteena oli käyttöönottaa Nokian uusi 5G-tukiasemapaikka ja raportoida sen matka ajatuksesta valmiiksi, toimivaksi tukiasemapaikaksi. Tavoitteessa onnistuttiin, ja kyseinen tukiasemapaikka on käyttöönoton jälkeen ollut kenttäverifioinnin testauskäytössä. Insinööriyön aikana käyttöönottoputki suoraviivaistui ja prosessi helpottui seuraavia tukiasemapaikkoja varten. Raporttia voidaan käyttää Nokian työntekijöiden koulutukseen. Työ kattaa yleisesti suunnittelua ja käyttöönottoa varten keskeisimmät teknologiat, mutta varsin pintapuolisesti, ja niissä olisi ollut mahdollista mennä syvemmälle. Lisäksi keskeisiä teknologioita, jotka ovat tärkeitä 5G:n toimivuudelle mutteivat suoranaisesti käyttöönotolle, kuten modulaatioita ja multipleksausta, olisi voinut käsitellä. Insinööriyössä havaittiin, kuinka monimutkaista ja monipuolista teknologia 5G:n ympärillä on ja kuinka teoria yhdistetään fyysiseen laitteistoon, jonka avulla teoria saadaan toteutettua kentällä.

Lähteet

- 1 Tietoa Nokiasta. Verkkoaineisto. Nokia. <https://www.nokia.com/fi_fi/tietoa-nokiasta/>. Luettu 24.10.2020.
- 2 Matkapuhelinverkon toiminta ja tukiasemat. 2019. Verkkoaineisto. Säteilyturvakeskus. <<https://www.stuk.fi/aiheet/matkapuhelimet-ja-tukiasemat/matkapuhelinverkko/matkapuhelinverkon-toiminta-ja-tukiasemat>>. Luettu 24.10.2020.
- 3 Figure of a three-cell base station configuration. 2011. Verkkoaineisto. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/figure/Figure-of-a-three-cell-base-station-configuration-Using-a-three-cell-configuration-can_fig1_277196084>. Luettu 24.10.2020.
- 4 What is a Remote Radio Head (RRH)? Verkkoaineisto. everythingRF. <<https://www.everythingrf.com/community/what-is-a-remote-radio-head>>. Luettu 24.10.2020.
- 5 Remote Radio Head (RRH) & Their Advantages. 2016. Verkkoaineisto. Commscope. <<https://blog.commscopetraining.com/remote-radio-head-advantages/>>. Luettu 24.10.2020.
- 6 Advanced Antenna Systems For 5G. 2019. Verkkoaineisto. 5G Americas. <https://www.5gamericas.org/wp-content/uploads/2019/08/5G-Americas_Advanced-Antenna-Systems-for-5G-White-Paper.pdf>. Luettu 24.10.2020.
- 7 Holma, Harri; Toskala, Antti & Nakamura, Takehiro. 2020. 5G Technology: 3GPP New Radio. Wiley.
- 8 Viestintäverkot. Verkkoaineisto. Traficom. <<https://www.traficom.fi/fi/viestinta/viestintaverkot>>. Luettu 24.10.2020.
- 9 5G Low Latency Requirements. Verkkoaineisto. Broadband Library. <<https://broadbandlibrary.com/5g-low-latency-requirements/>>Luettu 24.10.2020.
- 10 Radiotaajuuksien käytöstä ja taajuussuunnitelmasta annetun valtioneuvoston asetuksen muuttaminen. 2018. Liikenne- ja viestintäministeriö.
- 11 Muutoksia tutkimuskäyttöön varattuihin taajuuksiin. 2018. Verkkoaineisto. Liikenne- ja viestintäministeriö. <<https://www.lvm.fi/-/muutoksia-tutkimuskayttoon-varattuihin-taajuuksiin-984067>>. Luettu 24.10.2020.

- 12 Road to 5G: Introduction and Migration. 2018. Verkkoaineisto. GSMA. <https://www.gsma.com/futurenetworks/wp-content/uploads/2018/04/Road-to-5G-Introduction-and-Migration_FINAL.pdf> Luettu 24.10.2020.
- 13 5G Deployment Option-3/3a/3x. 2019. Verkkoaineisto. Blacktechnoguys. <<https://www.blacktechnoguys.com/2019/01/5g-deployment-option-33a3x.html>>. Luettu 24.10.2020.
- 14 5G Deployment Option-4/4a. 2019. Verkkoaineisto. Blacktechnoguys. <<https://www.blacktechnoguys.com/2019/01/5g-deployment-option-44a.html>>. Luettu 24.10.2020.
- 15 5G Deployment Option-7/7a/7x. 2019. Verkkoaineisto. Blacktechnoguys. <<https://www.blacktechnoguys.com/2019/02/5g-deployment-option-77a7x.html>>. Luettu 24.10.
- 16 Evolution of Transport for 5G. 2018. Verkkoaineisto. Aviat Networks. <<https://blog.aviatnetworks.com/evolution-transport-5g/>>. Luettu 24.10.2020.
- 17 Open RAN 101–RU, DU, CU: Why, what, how, when? (Reader Forum). 2020. Verkkoaineisto. RCR Wireless News. <https://www.rcrwireless.com/20200708/open_ran/open-ran-101-ru-du-cu-reader-forum>. Luettu 24.10.2020.
- 18 What is eCPRI, and why is it important for 5G and open vRAN? 2019. Verkkoaineisto. Fierce Wireless. <<https://www.fiercewireless.com/tech/what-ecpri-and-why-it-important-for-5g-and-open-vran>>. Luettu 24.10.2020.
- 19 5G NR network interfaces-Xn,NG,E1,F1,F2 interface types in 5G. Verkkoaineisto. RF Wireless World. <<https://www.rfwireless-world.com/Tutorials/5G-NR-network-interfaces.html>>. Luettu 24.10.2020.
- 20 LTE FDD/TDD Explained & What's Next? Verkkoaineisto. Youtube. <<https://www.youtube.com/watch?v=6J5kbTjVaCQ>>. Luettu 24.10.2020.
- 21 What is MIMO Technology? Verkkoaineisto. everythingRF. <<https://www.everythingrf.com/community/what-is-mimo-technology>>. Luettu 24.10.2020.
- 22 What is Beamforming? Verkkoaineisto. everythingRF. <<https://www.everythingrf.com/community/what-is-beamforming>>. Luettu 24.10.2020.
- 23 Ramalingam, Manoharan. 2018. 5G NR Beam Management and Beam Scheduling (everything about the beams). Verkkoaineisto. LinkedIn. <<https://www.linkedin.com/pulse/5g-nr-beam-management-scheduling-everything-beams-ramalingam/>>. Luettu 24.10.2020.

- 24 Silver, Andrew. 2018. 3 Ways Nokia Is Using Machine Learning in 5G Networks. Verkkoaineisto. IEEE Spectrum. <<https://spectrum.ieee.org/tech-talk/telecom/wireless/3-ways-nokia-is-using-machine-learning-in-5g-networks>>. Luettu 24.10.2020.
- 25 5G NR Handover Types | Inter gNB handover, intra-NR RAN handover. Verkkoaineisto. RF Wireless World. <<https://www.rfwireless-world.com/Terminology/5G-NR-Handover-Types.html>>. Luettu 24.10.2020.
- 26 Handover example for a Mobile Node. Verkkoaineisto. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/figure/Handover-example-for-a-Mobile-Node_fig1_313434264>. Luettu 24.10.2020.
- 27 Carrier Aggregation explained. 2013. Verkkoaineisto. 3GPP. <<https://www.3gpp.org/technologies/keywords/acronyms/101-carrier-aggregation-explained>>. Luettu 24.10.2020.
- 28 Evolution of Carrier Aggregation (CA) for 5G. Verkkoaineisto. Qorvo. <<https://www.qorvo.com/resources/d/qorvo-carrier-aggregation-brochure>>. Luettu 24.10.2020.
- 29 Qualcomm Mobile Test Device. Verkkoaineisto. Qualcomm. <<https://www.qualcomm.com/media/documents/files/qualcomm-technologies-mobile-test-device-with-integrated-qualcomm-snapdragon-x50-5g-modem-and-rf-subsystem.png>>. Luettu 24.10.2020.
- 30 R&S@TSME6 ULTRACOMPACT DRIVE TEST SCANNER. Verkkoaineisto. Rohde & Schwarz. <https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/TSME6_bro_en_3607-6873-12_v1000.pdf>. Luettu 24.10.2020.
- 31 Nemo Outdoor 5G NR Drive Test Solution. Verkkoaineisto. Keysight Technologies. <<https://www.keysight.com/en/pd-2765544-pn-nta00000a/nemo-outdoor?&cc=FI&lc=fin>>. Luettu 24.10.2020.
- 32 Nemo Analyze Drive Test Post Processing Solution. Verkkoaineisto. Keysight Technologies. <<https://www.keysight.com/en/pd-2765544-pn-nta00000a/nemo-outdoor?&cc=FI&lc=fin>>. Luettu 24.10.2020.
- 33 iperf3. Verkkoaineisto. software.es.net. <<https://software.es.net/iperf/>>. Luettu 24.10.2020.
- 34 About Wireshark. Verkkoaineisto. Wireshark. <<https://www.wireshark.org/index.html#aboutWS>>. Luettu 24.10.2020.

- 35 What is a Triplexer? 2018. Verkkoaineisto. everythingRF. < <https://www.everythingrf.com/community/what-is-a-triplexer>>. Luettu 24.10.2020.
- 36 5G NR Measurements: RSRP, RSSI, RSRQ and SINR. 2019. Verkkoaineisto. Techplayon. < <http://www.techplayon.com/5g-nr-measurements-rsrp-rssi-rsrq-and-sinr/>>. Luettu 24.10.2020.
- 37 5G NR Physical Cell ID (PCI) Planning. 2019. Verkkoaineisto. Techplayon. <<http://www.techplayon.com/5g-nr-physical-cell-id-pci-planning/>>. Luettu 24.10.2020.
- 38 Coverage Measurement on 5G NR Network. 2019. Verkkoaineisto. Rohde & Schwarz. < https://cdn.rohde-schwarz.com/fr/general_37/local_webpages/2019_demystifying_5g_and_ota/5G_NR_France_June2019_-_Mesure_de_couverture_Didier_Pertuis_RSf.pdf>. Luettu 24.10.2020.
- 39 RI (Rank Indicator, Rank Index). Verkkoaineisto. SharedTechnote. <https://www.sharetechnote.com/html/Handbook_LTE_RI.html>. Luettu 24.10.2020

