

Opinnäytetyö AMK

Elektroniikka

2019

[Click here to enter text.](#)

Tommi Aho

TUKIASEMAN RAKENTAMINEN

Tommi Aho

TUKIASEMAN RAKENTAMINEN

Tässä opinnäytetyössä käydään läpi eri mobiiliverkon tekniikat ja tarkastellaan tukiaseman rakentamista. Tarkoituksena on avata lukijalle eri tekniikoita ja niiden kehitystä sekä tukiaseman rakentamiseen liittyviä vaiheita.

Työ käsittelee tukiaseman rakentamista kerrostaloon ja toteutukseen liittyviä vaatimuksia. Rakentamiseen liittyvä aineisto on saatu haastattelemalla Telia Finland Oyj:n radioverkkosuunnittelijaa sekä oman työni kautta saadun tiedon pohjalta.

Tukiasema rakentuu kuitukaapelista, systeemimoduulista, voimalaitteista, sähkö- sekä telekaapeleista, radioista, telineistä sekä antenneista. Ennen rakentamista on tehty kohteen suunnittelu sekä haettu tarvittavat luvat. Asennuksessa keskitytään turvallisuuteen ja voimassa olevien viranomais määräysten sekä Telian laatuvaatimusten täyttämiseen. Asennukset suorittaa ammattitaitoiset henkilöt ja heiltä tarkastetaan tarvittavat luvat sekä pätevyudet ennen työn suorittamista. Asennusten valmistumisen jälkeen tehdään testejä, millä varmistetaan tukiaseman toimivuus.

Tukiaseman rakentaminen on monivaiheinen prosessi, minkä aikana työhön osallistuu useita henkilöitä urakoitsijan, Telian, asiakkaan sekä tarvittaessa kaupungin tai kunnan puolelta. Turvallisuus ja laatu ovat keskeisessä osassa rakentamisessa ja tällä varmistetaan, että kuluttaja saa toimivaa ja hyvää palvelua sekä turvallisen ympäristön. Tulevaisuudessa tukiasemia joudutaan rakentamaan yhä enemmän 5G:n yleistyessä.

ASIASANAT:

tukiasema, antenni, radio, 4G, 5G, rakentaminen

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Electronics | Telecommunication systems

2019 | 33

Juha Nikkanen

Tommi Aho

BUILDING OF A BASE-STATION

This thesis examines different mobile network technologies and construction of a base station. The purpose is to clarify different technologies and their development to the reader. The purpose is also to tell different phases of building the base station.

The building of base station in this thesis focus on real estate site and its necessary requirements. Material based on the process of building the base station was gathered by interviewing network planner and through my own experience.

The base station includes fiber optic cable, system module, batteries, power and telecommunication cables, radios, stands and antennas. Before starting installation, contractor need to apply necessary permissions and plan the base station. During installation technician focus on safety, commandment and quality standards. Technicians are qualified and before the installation the qualifications are checked. After installations they run some test to make sure the base station works as intended.

Building the base station include many phases and during the process there are many who give their contribution, for example designer, technician and city authorities. Safety and quality is key figures during the installation because customer satisfaction, excellent mobile service and people safety are most important aspects in big picture.

KEYWORDS:

base station, antenna, radio, 4G, 5G

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET	6
1 JOHDANTO	1
2 YRITYSESITTELY: TELIA FINLAND OYJ	2
3 MATKAPUHELINVERKOT	3
3.1 GSM	3
3.2 UMTS	5
3.3 LTE ja 4G	6
3.4 5G-verkko	8
4 MATKAPUHELINVERKON TUKIASEMAT	10
4.1 Tukiasemat eli solut	10
4.2 Liikuteltavat tukiasemat	11
4.3 Tukiasemien aiheuttama säteily	13
5 TUKIASEMAN RAKENTAMINEN	14
5.1 Tukiaseman tarve	14
5.2 Tukiaseman tekniset vaatimukset	14
5.3 Sopimukset ja luvat	15
5.4 Tukiaseman suunnittelu ja rakentaminen	16
5.4.1 Tukiaseman suunnittelu	16
5.4.2 Tukiaseman rakentaminen	22
5.4.3 Tukiaseman kuidun rakentaminen	22
6 YHTEENVETO	24
LÄHTEET	25

KUVAT

Kuva 1. Kuvassa olevia tukiasemavaunuja voi nähdä esimerkiksi festivaaleilla.	12
Kuva 2. Kiinteistön katolla pystytään katsomaan mahdollisia esteitä sekä suunnittelemaan antennien suuntausta.	16
Kuva 3. Esimerkki katolle asennettavasta telineestä.	17
Kuva 4. Kiinteistön katolle suunnitellun ensimmäisen antennin asennuspaikka.	17
Kuva 5. Kiinteistön katolle suunniteltu toinen antenni.	18
Kuva 6. Toinen antenni katsottuna kiinteistön sisäpihalta.	18
Kuva 7. Suunniteltu laitepedin paikka katolla.	19
Kuva 8. Kaapeleiden läpivienti lämmönjakohuoneesta kiinteistön seinälle.	20
Kuva 9. Kaapelireitti kiinteistön seinää pitkin ylös katolle.	20
Kuva 10. Kaapelireitti katolla antennille ja laitepedille.	21
Kuva 11. Kaapelireitti katolla antennille ja laitepedille.	21
Kuva 12. Kaapelireitti antennille.	21

KÄYTETYT LYHENTEET

ARIB	Association of Radio Industries and Businesses
ATIS	Automated Terminal Information Service
CEPT	European Conference of Postal and Telecommunications Administrations
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
GSM	Groupe Spécial Mobile/Global System of Mobile Communications
Memorandum of Understanding	
	kahden tai useamman osapuolen sopimus yhteisen tavoitteen saavuttamiseksi
MHz	megahertsi
PIN	Personal Identification number
SIM	Subscriber Identify Module
SMS	Short Message Services
FDD	Frequency-division duplex
TDD	Time-division duplex
uplink	datan siirto käyttäjältä tukiasemalle
downlink	datan siirto tukiasemalta käyttäjälle
handover/handoff	
	siirtyminen solusta toiseen
RNC	Radio network controller
MIMO	multiple input – multiple output

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on käydä läpi eri matkapuhelinverkkotekniikat tukiasemien näkökulmasta sekä mobiiliverkon tukiaseman rakentaminen. Tavoitteena on antaa lukijalle yleiskatsaus mobiiliverkkoihin sekä selventää miksi ja miten tukiasemia rakennetaan Suomessa.

Suomessa käytetään eniten mobiilidataa maailmassa ja tämä tuottaa teleoperaattoreille omat haasteensa. Lisäksi datan käyttö on koko ajan kasvussa, eli nyt käsillä olevat haasteet tulevat jatkumaan myös tulevaisuudessa. Suomessa myytävät mobiilidataliittymät ovat pääsääntöisesti rajoittamattomia, eli dataa saa käyttää niin paljon kuin haluaa. Tämän lisäksi, ja ehkä tästä johtuen, Suomessa käytetään näitä liittymiä myös kotona kiinteän laajakaistan korvikkeena. [1]

Käyttöön tulossa olevaa 5G-verkkoa testataan ja rakennetaan tällä hetkellä kovaa vauhtia. Teleoperaattorit yrittävät saada omat verkkonsa rakennettua mahdollisimman pian sekä tuoda omansa ensimmäisenä kuluttajien käyttöön. 5G ei täysin poista lisääntyvään datan käyttöön liittyviä ongelmia, mutta se tarjoaa kaistanleveydeltään ja kapasiteetiltaan etuja 4G-verkkoon verrattuna. Toisaalta 5G vaatii huomattavasti tiheämmän tukiasemaverkoston toimiakseen ja kattaakseen suuria alueita. Tukiaseman peittoalue voi aseman tyypistä ja lähetystehosta riippuen olla alle sadasta metristä muutamaan kilometriin. Esimerkiksi Tampereen taajama-alueilla tukiasemia on muutaman sadan metrin päässä toisistaan ja kaupunkialueella väli on vain kymmeniä metrejä, mikä johtuu siitä, että korkeat rakennuksen häiritsevät radioaaltojen etenemistä. Nykyisiä tukiasemia saadaan päivitettyä 5G-verkkoon sopiviksi, mutta tämän lisäksi tarvitaan myös uusia tukiasemia.

Tästä kaikesta johtuen teleoperaattoreilla on edessä paljon työtä nykyisten tukiasemien päivittämisessä yhteensopiviksi uuden 5G-verkon kanssa ja täysin uusien tukiasemien rakentamisessa.

2 YRITYSESITTELY: TELIA FINLAND OYJ

Telia Finland Oyj tuottaa kuluttajille mobiili- ja kiinteän verkon palveluita. Lisäksi tarjolla on lisäsisältöä TV-tarjonnan lisäksi. Telia Kaupoista voi hankkia laitteita niin viihde- kuin työkäyttöönkin. Telia tarjoaa myös tietoturvaa sekä yksityisille kuluttajille että yritysasiakkaille. Helsinkiin rakennettiin vuonna 2018 Pohjoismaiden suurin Data Center yritysten käyttöön. Teliällä on tällä hetkellä Suomessa noin 3000 työntekijää. Suurimmat toimipisteet sijaitsevat Helsingissä (pääkonttori), Tampereella, Jyväskylässä ja Turussa. Ympäri Suomea on hieman yli 30 Telia Kauppaa sekä kymmeniä palvelupisteitä esimerkiksi kauppakeskuksissa. [2]

Teliällä on pitkä historia Suomessa ja se ulottuu aina itsenäistymisen ajoille asti. 1917 perustettiin Suomen valtion lennätinlaitos ja 1918 Suomen Lennätinlaitos. 1927 perustettiin Posti- ja lennätinlaitos (PLL). PLL muuttui Posti- ja telelaitokseksi (PTL) vuonna 1981 ja se toimi vuoteen 1994 saakka. 90-luvun alkuun saakka PLL ja PTL olivat olleet monopoliasemassa. Toiminta avattiin kilpailulle ja PTL yhtiöitettiin. Syntyi emoyhtiö Suomen PT Oy ja liiketoiminta jakautui Suomen Posti Oy:ksi ja Telecom Finland Oy:ksi eli Teleksi. [3]

Tele toimi vuoteen 1997 asti ja tämän jälkeen nimi muuttui yhtiön yksityistämisen jälkeen Sonera Oy:ksi. Sonera listautui Helsingin pörssiin vuonna 1998 ja vuotta myöhemmin NASDAQ-teknologiapörssiin. Vuonna 2002 ruotsalainen Telia ja Sonera ilmoittivat yhdistymisestään, syntyi TeliaSonera. Telia pysyi nimenä Ruotsin markkinoilla ja Sonera jäi käyttöön Suomessa. Vuonna 2004 Suomen markkinoille tuli Tele Finland Oy, joka toimi Soneran verkossa Soneran ”halpaoperaattorina”. 2000-luvun alussa Sonera osti useamman paikallisesti toimineen telealan yrityksen, mm. Loimaan Seudun Puhelimen, Turun Puhelimen ja Salon Puhelimen. [3]

Yhtiön nimi vaihtui useasti 2000-luvulla, mutta Sonera brändinä kuitenkin säilyi. Sonera hävisi katukuvasta ja markkinoilta nimenä vuoden 2017 maaliskuussa, kun brändimutoksen myötä nimi vaihtui Teliaksi. Samalla myös Tele Finland yhdistettiin Telia-brändiin. Myös suurin osa yrityspoolella toimineista Soneran tytäryhtiöistä siirrettiin Telia-nimen alle. [3]

3 MATKAPUHELINVERKOT

1950-luvulla markkinoille alkoivat ilmestyä yleiseen käyttöön tarkoitetut matkaviestintäverkot. Näiden verkkojen kehitys lähti liikkeelle sotilassovelluksista ja niistä on tähän päivään mennessä kehitetty useita kaupallisia sovellutuksia. [4]

Suomessa tärkein matkaviestintäverkkoihin liittyvä askel otettiin vuonna 1971, kun autoradiopuhelin (ARP) julkaistiin. ARP:n jälkeen kehitettiin solukkojärjestelmä, joka osasi vaihtaa kanavaa peittoalueen vaihduttua. Tämä oli ensimmäisen sukupolven matkaviestintäjärjestelmä (1G), joka kehitettiin yhteistyössä pohjoismaisten operaattoreiden ja laitevalmistajien kesken. Tämä NMT 450 -nimellä kulkenut järjestelmä avattiin yleiseen käyttöön vuonna 1982. Sen seuraajana otettiin käyttöön NMT 900 -järjestelmä, jonka tarkoituksena oli lisätä verkon kapasiteettia, ja joka muokattiin heti alusta asti käsipuhelinverkoksi. [4]

Toisen sukupolven (2G) verkosta haluttiin edeltäjäänsä laajempi ja sen tarkoitus oli kattaa koko Eurooppa. Syntyi GSM -järjestelmä, joka tuli markkinoille 1990-luvulla. Tätä järjestelmää kehitettiin vielä 2000-luvulla ja se pystyy nykyisin käsittelemään myös dataliikennettä. Tämän vuoksi järjestelmä onkin saanut nimen 2,5G, jotta se olisi helpompi erottaa edeltäjästään. [4]

Kolmannen sukupolven (3G) matkaviestintäverkot olivat todellisuutta jo 2000-luvun alussa ja Suomessa kaupallinen toiminta alkoi vähitellen vuonna 2004. 3G-verkko on suunniteltu alusta alkaen dataliikenne huomioiden ja näin ollen se soveltuu paremmin dataliikenteen hallitsemiseen. 3G-verkkoa on kehitetty aivan kuten 2G-verkkoakin. Esimerkiksi 3,5G-järjestelmä, joka tunnetaan myös nimellä HSPDA, on päivitetty versio 3G-verkosta. [5]

3.1 GSM

GSM-verkon kehitys alkoi jo vuonna 1982, kun kansainvälinen Special Mobile Groupe (Groupe Spécial Mobile) sai tehtäväkseen kehittää Euroopan laajuisen standardin matkapuhelimille 900 MHz:n taajuudelle. Kolmetoista maata allekirjoitti vuonna 1987 Memorandum of Understanding -sopimuksen, joka velvoitti maita kehittämään Euroopan laajuisia 900 MHz:n taajuudella toimivaa yleistä matkapuhelinjärjestelmää. GSM -verkko

sai alkunsa tästä järjestelmästä vuonna 1991. CEPT (the European Conference of Postal and Telecommunications Administrations) perusti ETSIn (European Telecommunications Standards Institute), jonka tarkoituksena on käsitellä telekommunikaation standardoimista. GSM on selkeästi eniten käytetty ja kaikkein menestynein kommunikaatiojärjestelmä. Vuonna 2011 GSM -verkkoa käytti yli neljä miljardia käyttäjää. [6]

GSM -verkon kehityksessä on ollut monta vaihetta. Ensimmäinen vaihe julkaistiin vuonna 1990. Sen jälkeen vaihteita on ollut monia ja jokaisessa vaiheessa on ollut useampia julkaisuja. Kaikki vaiheet ja julkaisut ovat olleet aiempien julkaisujen kanssa yhteensopivia, mikä onkin ollut GSM -verkon kehityksen kulmakivi. Tätä mallia on seurattu myös uudempien verkkojen kehityksessä. [6]

Ensimmäisessä vaiheessa GSM-verkon siirtonopeus puhelussa oli 13 kbit/s. Järjestelmä mahdollisti alusta alkaen hätänumeroihin soittamisen ilman SIM-korttia tai ilman PIN-koodin syöttöä. Aluksi oli mahdollista soittaa vain numeroon 112, mutta toisessa vaiheessa ominaisuutta laajennettiin muihinkin hätänumeroihin. Yksilön todentaminen ja luottamuksellisuus ovat olleet mukana ensimmäisestä kehitysvaiheesta alkaen, kuten myös SMS- eli tekstiviestijärjestelmä. [6]

Uusien vaiheiden ja julkaisujen mukana otettiin käyttöön nopeampia siirtonopeuksia puheluissa ja loppujen lopuksi datansiirtonopeuksissa. Toisessa vaiheessa otettiin mukaan myös 1800 MHz:n taajuusalue. Phase 2+ toi mukanaan datansiirron sekä mahdollisuuden käyttää useampaa kanavaa yhteen suuntaan, mahdollistaen huomattavasti nopeamman datansiirtonopeuden, joko 38,4 kbit/s ($4 \times 9,6 \text{ kbit/s}$) tai 57,6 kbit/s ($4 \times 14,4 \text{ kbit/s}$), riippuen siitä, mikä kanava oli käytössä. Tässä yhteydessä käytettiin High-Speed Circuit-Switched Data-tekniikkaa (HSCSD). [6]

Seuraavissa vaiheissa otettiin käyttöön muiden muassa GPRS (General Packet Radio Service) ja EDGE (Enhanced Data rates for Global Evolution). GSM-järjestelmän levittyä laajemmalle ja ominaisuuksien lisääntyessä käyttöön otettiin enemmän taajuuksia. Alkuperäisten 900 ja 1800 MHz:n lisäksi kansainvälisessä käytössä ovat 850 ja 1900 MHz:n taajuudet. [6]

Nykyään GSM -verkossa on Suomessa käytössä 900 ja 1800 MHz:n taajuudet. Verkossa käytetään TDMA -kanavointia (Time Division Multiple Access), missä jokainen kanava jaetaan aikaväleihin GMSK-modulaatiolla (Gaussian Minimum Shift Keying). Datansiirrossa on käytössä GPRS ja EDGE. [4]

3.2 UMTS

UMTS eli Universal Telecommunications System on kolmannen sukupolven seuraaja GSM verkolle. Tästä kolmannen sukupolven verkosta puhutaan myös 3G:nä. 3G-verkossa käytetään GPRS:ää ja EDGEä, joten siirtyminen vanhasta järjestelmästä toiseen ei vaatinut välittömästi suuria investointeja. UMTS käyttää WCDMA-tekniikkaa (Wideband Code Division Multiple Access). Kuten käytetyn tekniikan nimestä käy ilmi, 3G -järjestelmä toimii digitaalisesti. UMTS-järjestelmää ylläpitää ja kehittää oma ryhmä nimeltään 3GPP, the Third Generation Partnership Programme, johon kuuluvat ARIB, CCSA, ETSI ja ATIS. Perustamisen jälkeen 3GPP on ottanut vastuun myös GSM-järjestelmän standardeista sekä uusien teknologioiden, kuten LTE:n (Long Term Evolution) sekä 4G:n (LTE Advanced), kehittämisestä. [7]

UMTS käyttää 5 MHz:n kanavan kaistanleveyttä, joka mahdollistaa yli sadan samanaikaisen puhelun kuljettamisen lisäksi datansiirron 2 Mb/s nopeudella. Myöhemmin lisätyt HSDPA ja HSUPA nostivat datansiirron 14,4 Mb/s asti. Monet GSM-järjestelmään sisällytetyt ominaisuudet siirrettiin UMTS:iin ja paranneltiin. Yksi näistä ominaisuuksista oli SIM, joka vaihdettiin USIM:iin (Universal SIM). Lisäksi verkko suunniteltiin siten, että GPRS ja EDGE toimivat myös UMTS -järjestelmässä. Näin uuden järjestelmään tarvittavat investoinnit saatiin pidettyä mahdollisimman pieninä. [7]

UMTS pystyy käyttämään sekä taajuus- (Frequency Division Duplex, FDD) että aikajakoista kaksisuuntaliikennettä (Time Division Duplex, TDD). FDD:ssä käytetään uplinkissa ja downlinkissa eri taajuuksia. Taajuusvälit ovat 190 MHz:n välein. TDD:ssä käytetään aikajakoa, jossa uplink ja downlink lähettävät datapaketteja samalla taajuudella, mutta eri aikaan. Tämä soveltuu paremmin pienien solujen alueella käytettäväksi. On havaittu, että downlink -puolella kuljetetaan enemmän dataa kuin uplink -puolella. Tästä syystä downlink -puolelle annetaan enemmän kapasiteettia. Näin saadaan parannettua downlinkin tehokkuutta. [7]

Yksi tärkeimmistä toiminnoista jokaisessa tietoliikennejärjestelmässä on handover (handoff), jossa siirrytään solusta toiseen. Tämän siirtymän tulee tapahtua saumattomasti, sillä muuten puhelut voivat katketa vaikuttaen merkittävästi esimerkiksi asiakastyytyvyyteen. CDMA-järjestelmässä on useampia handovereita: hard handover, soft handover, softer handover sekä UMTS GSM inter RAT handover (iRAT handover). Hard han-

dooverissa verkko tulkitsee tarpeen, kun signaalin vahvuus nykyisessä linkissä on riittävän huono. Linkki tukiaseman ja käyttäjälaitteen välillä katkaistaan ja muodostetaan uusi linkki. Tämän pitäisi tapahtua muiden handoverien tapaan saumattomasti, mutta uuden linkin muodostamisen takia puhelu saattaa katketa. Soft handoverissa käyttäjälaitte on alueella, jolla osa kahden solun alueesta on päällekkäin. Käyttäjälaitte on tällöin yhteydessä kahteen tukiasemaan ja näin ollen siirtyminen solusta toiseen voidaan suorittaa siten, että vanha linkki katkaistaan uuden ollessa luotuna. Softer handover on erikoistapaus soft handoverissa. Siinä uudet linkit ovat yhteydessä samaan tukiasemaan kuin jossa vanha linkki oli. Yleisin iRAT handover on UMTS:n ja GSM:n välillä. Handover UMTS-GSM -välillä tapahtuu, kun käyttäjä poistuu UMTSkuuluvuusalueelta ja etsii sopivan GSM-tukiaseman, johon muodostaa linkin. GSM-UMTS -välillä handover tapahtuu suorituskyvyn parantamisen takia, sillä GSM-verkko on normaalisti kattavampi kuin 3G-verkko. Handoverit tapahtuvat RNC:n avulla. Se monitoroi jatkuvasti sekä tukiaseman että käyttäjälaitteen signaaleja ja mikäli jonkun linkin taso laskee alle annetun arvon, RNC aloittaa handoverin. [8]

UMTS -verkon arkkitehtuuri voidaan jakaa kolmeen pääelementtiin: User Equipment (UE, käyttäjälaitte), Radio Network Subsystem (RNS) ja Core Network. UE-nimitys otettiin käyttöön, kun puhelimen lisäksi esimerkiksi tietokoneet pystyivät hyödyntämään verkkoa. RNS tunnetaan myös UMTS Radio Access Network (UTRAN) nimellä. UTRAN tarjoaa ja hallinnoi verkon käyttöliittymää, joka koostuu kahdesta pääkomponentista: Radio Network Controllerista (RNC) ja Node B:stä. RNC hoitaa muiden muassa handoverit ja kontrolloi lähetin-vastaanotinta tukiasemalla. Toinen pääkomponentti on Node B eli tukiaseman lähetin-vastaanotin. Core Network sisältää kaikki keskeiset prosessointi- ja hallinnointijärjestelmät. Radioverkoista puhuttaessa on hyvä myös ymmärtää lähetysten suunnat, joista puhutaan uplink- ja downlink-termeillä. Uplink on linkki UE:lta Node B:lle tai tukiasemalle. Downlink taas on linkki toiseen suuntaan, eli Node B:ltä/tukiasemalta UE:lle. Näistä kahdesta suunnasta on käytössä myös reverse- ja forward link-nimitykset, joita käytetään lähinnä Pohjois-Amerikassa. [8], [9]

3.3 LTE ja 4G

Ennen varsinaisen 4G:n tuloa käytössä oli 3G LTE (Long Term Evolution). LTE:n kehitykselle oli motivaationa muun muassa käyttäjien vaatimus parempaan datansiirtonopeuteen sekä palvelun tasoon. Pääasialliset vaatimukset uudelle verkolle olivat spektrin

tehokas käyttö, korkea datansiirtonopeus sekä joustavuus taajuuksissa ja kaistanleveydessä. [10]

LTE:n yhteydessä esiteltiin uusia teknologioita, joiden ansiosta LTE pystyi käyttämään spektriä tehokkaammin ja saavuttamaan korkeampia datansiirtonopeuksia. 3G-verkosta poiketen LTE käyttää OFDM-tekniikkaa (Orthogonal Frequency Division Multiplex) WCDMA-tekniikan sijasta. OFDM:ä käytetään, sillä se mahdollistaa suurten datamäärien lähettämisen tehokkaasti säilyttäen hyvän vastuksen heijastuksille sekä häiriöille. OFDM:ä voidaan myös käyttää molemmissa FDD- ja TDD-formaateissa. Yksi tärkeimmistä parametreista OFDM:n valinnassa oli kaistanleveys. OFDM mahdollistaa suuren kaistanleveyden, joka puolestaan mahdollistaa paremman kanavan kapasiteetin. LTE käyttää kuutta kanavaa, joiden kaistanleveydet ovat 1,4 , 3, 5, 1, 15 ja 20 MHz. [11], [12]

Yksi isoimmista ongelmista edellä mainituissa teleliikennejärjestelmissä on ollut heijastumisista ilmenneet useat signaalit. LTE käyttää MIMOa, joka mahdollistaa näiden useamman signaalin käyttämistä hyväksi suoritustehon parantamiseksi. MIMOa käyttäessä tarvitaan useampi antenni niin lähetys- kuin vastaanottopäässäkin sekä enemmän datan prosessointia. Tämä lisää järjestelmän monimutkaisuutta, mutta tarjoaa parempaa käytettävyyttä ja parempaa signaali-kohina suhdetta. Tukiaseman päässä on helppo lisätä lähettämiin ja vastaanottimiin lisää antennia, mutta käyttäjän päässä, esimerkiksi puhelimesta, antennia ei ole yhtä helposti lisättävissä. Prosessointitehoja käytetään hyväksi myös linkin käyttäjän päässä. [13]

LTE:n kehitystä jatkettiin kohti LTE Advanced-järjestelmää, todellista 4G:tä. Kehitystä ajoin voimakkaimmin eteenpäin tavoite tarjota parempia siirtonopeuksia kustannustehokkaasti, samanaikaisten aktiivisten käyttäjien mahdollisuus sekä useamman antennin tekniikan parantaminen. Kapasiteetin lisääminen on pakollista siirtonopeuksien ja määrien kasvaessa. LTE Advanced (LTE-A)-järjestelmää kehittäessä haluttiin varmistaa yhteensopivuus edellisten julkaisujen kanssa. Tästä syystä kapasiteetin nosto toteutettiin yhdistämällä kantotaajuuksia. Suurin kaistanleveys on 100 MHz, joten yhdistettyjä kanta-aaltoja voi olla enintään viisi. Tämä antaa esimerkiksi puhelimesta mahdollisuuden vastaanottaa useampia signaaleja eri taajuuksilla, kuitenkin enintään 100 MHz leveydellä. [14], [15], [16]

3.4 5G-verkko

Uusin verkkoteknologia eli 5G on tekemässä tuloaan. Uuden teknologian on tarkoitus auttaa tämänhetkisessä kapasiteettiongelmassa. Tämä kuitenkin koskee aluksi vain kaupunkeja, sillä toimiakseen 5G-verkko tarvitsee huomattavasti tiheämmän tukiasemaverkoston kuin mitä 3G- ja 4G-verkot. Tukiasemien etäisyys tulee olemaan 5G-verkossa vain kymmeniä metrejä, kun nykyisin pituudet voivat olla kymmenistä metreistä yli kilometriin. [17]

Lyhyempi peittoalue johtuu käytettävistä taajuuksista. Ensimmäisenä käyttöön otetaan 1 GHz:n ja 3,5 GHz:n taajuudet ja myöhemmässä vaiheessa 30 GHz:n taajuus. 1 GHz:n taajuudella on tarkoitus palvella haja-asutusalueita sekä IoT-käyttäjiä (Internet of Things). 3,5 GHz:n taajuus tulee olemaan käytössä kaupungeissa ja taajamissa. 30 GHz:n taajuudella aaltojen läpäisykyky sekä kantavuus ovat niin heikkoja, että tätä tullaan käyttämään rakennuksien sisällä ja todennäköisesti siten, että yksi tukiasema palvelee yhtä huonetta. [18]

Säteilylle altistuminen ei tämänhetkisen tiedon mukaan tule merkittävästi nousemaan nykyisestä. Matalimmilla taajuuksilla toimivat 5G-tukiasemat eivät poikkea 3G- ja 4G-tukiasemien säteilymäärästä. 30 GHz:n taajuuden tukiasemat ovat peittoalueiltaan niin pieniä ja lähetystehoiltaan alhaiset, että säteilyvaaraa ei ole. Koko 5G-verkon tukiasemien lähetystehot tulevat jäämään nykyisten tukiasemien lähetystehoja matalammiksi, koska tukiasemia tulee olemaan huomattavasti tiheämmin. [18]

5G:n etuna nykyisiin verkkoihin verrattuna on mahdollisuus suurempiin datansiirtonopeuksiin. Siirtonopeudet tulevat nousemaan jopa 1 Gbit/s, kun nykypäivänä normaalina nopeutena voidaan pitää 100 Mbit/s. 5G tuo verkkoon lisää kapasiteettia, sillä yksi tukiasema pystyy käsittelemään enemmän käyttäjiä kuin nykyiset verkot. Lisäksi 5G:n etuna on pienemmät viiveet verkossa. Esimerkiksi automatisoidun liikenteen kannalta on välttämätöntä, että viiveet ovat mahdollisimman pieniä. Taajuudet avaavat myös entistä laajemmat mahdollisuudet IoT-laitteiden käyttöön. 5G:n myötä tulevat yleistymään myös eSIM:t eli suoraan laitteen piirilevyille tehdyt SIM-kortit, jotka omalta osaltaan edistävät IoT-laitteiden käyttöä. [17], [19], [20]

5G tulee parantamaan myös valokuituverkon kattavuutta Suomessa. Tihentynyt tukiasemaverkosto vaatii toimiakseen valokuitua, jotta suurista datamääristä selvitään. Tästä

syystä valokuitua tulee rakentaa yhä useampaan paikkaan ympäri Suomen, niin yksityisiin kiinteistöihin kuin julkisiin rakennuksiin. [21]

4 MATKAPUHELINVERKON TUKIASEMAT

Tukiasemat ovat matkapuhelinverkon fyysisiä pisteitä, jotka mahdollistavat verkon toiminnan kaikkialla Suomessa. Kolmella suurimmalla teleoperaattorilla on Suomessa yhteensä tuhansia tukiasemia. Suomessa onkin yksi maailman kattavimmista mobiiliverkoista. Suomalaiset käyttävät mobiilidataa todella paljon, sillä jokainen teleoperaattori tarjoaa rajattoman datapaketin kotimaassa joko ilman erillistä maksua tai lisämaksua vastaan. Tukiasemien sijainteja voi tarkastella cellmapper.net-sivustolla. [22]

4.1 Tukiasemat eli solut

Tukiasemia on erilaisia ja niiden sijoituspaikat vaihtelevat käyttötarkoituksen mukaan. Tukiasemista käytetään myös nimitystä solu. Soluja ovat makro-, mikro-, piko- sekä femtosolut. Makrosolut ovat peittoalueeltaan suurimpia ja niitä käytetäänkin lähes joka paikassa, erityisesti haja-asutusalueilla ja maaseudulla. Tyypillinen peittoalue makrosolulle on 5-32 km, riippuen maaston muodoista ja muista esteistä, kuten rakennuksista. Peittoalueeseen vaikuttaa myös tukiaseman lähetysteho. Lähetysteho on näissä enimmäkseen noin 200 W. Mobiiliverkkoa saadaan levitettyä kustannustehokkaammin ympäri maata makrosolujen avulla niiden suuren peittoalueen ansiosta. Kustannustehokkuutta on myös haettu teleoperaattoreiden yhteisverkolla etenkin Pohjois-Suomessa. [23], [24], [25]

Mikrosolu on peittoalueeltaan toiseksi suurin. Mikrosoluja käytetään kaupungeissa, julkisissa tiloissa, suurissa ostoskeskuksissa sekä tapahtumissa kuten festivaaleilla. Mikrosoluja asennetaan paljon rakennusten katoille ja seiniin. Mikrosolujen tehtävänä on parantaa kuuluvuutta ja tukea makrosolujen toimintaa katvealueilla. Mikrosolun peitto on enintään pari kilometriä, mutta useimmiten alue on satoja metrejä johtuen niiden käyttökohteista. Lähetysteholtaan mikrosolut ovat huomattavasti pienempiä, puhutaan enää vain muutamasta watista. Erilaisissa suurissa tapahtumissa, esimerkiksi festivaaleilla, alueelle tuodaan liikutettava tukiasema auttamaan kyseisen alueen pysyviä tukiasemia hetkellisen suuren käyttäjämäärän vuoksi. Tällä pyritään turvaamaan käyttäjille yhtä hyvä palvelu, kuin mihin he ovat yleensä tottuneet. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että puhelut pääsevät läpi, tekstiviestit lähtevät vastaanottajille ja netin käyttö onnistuu.

Samalla periaatteella hetkellisiä tukiasemia käytetään luonnonkatastrofien jälkeen, kun pyritään turvaamaan tietoliikenneyhteydet. [23], [24], [25]

Pikosoluja käytetään vastaavasti tukemaan mikrosolujen toimintaa näiden katvealueilla. Tällaisia käyttökohteita ovat esimerkiksi hotellit, suuret rakennukset sekä parkkihallit. Pikosolujen peittoalue on enintään 100 - 200 m. Pikosoluja asennetaan yleensä rakennusten seinille parantamaan sisätilojen kuuluvuuksia. Lähetystehoja pikosoluilla on alle watin verran ja sen vuoksi niitä voidaankin asentaa lähelle käyttäjiä, vaikka rakennusten sisälle. [23], [24], [25]

Pienintä solua eli femtosolua käytetään kodeissa ja toimistoissa. Femtosolujen peitto on vain noin 20 m ja niiden tarkoituksena on saada tuotua kuuluvuus rakennusten sisälle käyttäjien lähelle. Näin turvataan katkeamaton kuuluvuus. Solujen tukena käytetään myös toistimia, joilla rakennetaan pienempiä sisäverkkoja. Toistimet tuovat verkkoon lisäkapasiteettia. Toistimet ovat myös täysin riippuvaisia tukiasemien toiminnasta. Toistin toimii kaksisuuntaisesti eli se vahvistaa ulkoa tulevaa signaalia käyttäjän suuntaan ja vastaavasti sisältä soitettaessa se vahvistaa matkapuhelimen signaalia ulospäin. [23], [24], [25]

4.2 Liikuteltavat tukiasemat

Teliällä on käytössään myös liikuteltavia tukiasemavaunuja (Kuva 1), joita voidaan tarvittaessa viedä esimerkiksi isoihin yleisötapahtumiin. Tarvittaessa tukiasemavaunuja voidaan käyttää myös hätätilanteissa silloin, kun alueen normaali tukiasemaverkosto ei syystä tai toisesta toimi. Teliällä näitä vaunuja on viisi kappaletta ja ne ovat ahkerassa käytössä etenkin kesäisin. Vaunun laitteistosta riippuen tukiasemavaunu pystyy palvelemaan joko kaikkia verkkoja (2G, 3G ja 4G) samanaikaisesti tai haluttaessa keskittymään yhteen verkkoon. 5G-verkon tehdessä tuloaan kuluttajamarkkinoille tulee vaunuihin tulevaisuudessa myös valmius palvella 5G-verkossa. Vaunu tarvitsee toimiakseen sähkön syötön sekä kuituyhteyden. Monesti nämä hoidetaankin väliaikaisilla kaapeloinneilla alueelle, sillä jatkuvaa tarvetta sähkölle ja kuituyhteydelle ei ole esimerkiksi festivaalialueella.

Tukiasemavaunua voi liikuttaa henkilöautolla ja sen käyttöönottoon tarvitaan kaksi henkilöä. Vaunun masto nousee maksimissaan 24 m:n korkeuteen ja mastoon saadaan kiin-

nitettyä enintään 6 antennia, jolloin pystytään toteuttamaan ympärisäteilevä ratkaisu. Antennit ovat pareittain V:n muotoisena pakettina ja haluttaessa tai tarvittaessa voidaan käyttää vaikka vain yhtä antennia, esimerkiksi silloin, kun on tarve saada suuntaava antenni tietylle alueelle. Kun vaunu on saatu toimintakuntoon, sen ylläpitoon ei tarvita henkilökuntaa eli vaunu voi olla esimerkiksi koko tapahtuman ajan ilman ihmisen tekemiä toimenpiteitä. Vika- tai häiriötilanteissa paikalliset asentajat käyvät tarkistamassa tilanteen ja tekemässä tarvittavat toimenpiteet.



Kuva 1. Kuvassa olevia tukiasemavaunuja voi nähdä esimerkiksi festivaaleilla.

Tukiasema koostuu laitteistosta, joka on yleensä sijoitettuna pieneen mökkiin. Laitteistoon kuuluvat voimalaitteet – akut ja sähkönsyöttö – sekä kytkimet, joiden kautta hallinoidaan verkkoliikennettä ja tukiaseman toimintaa. Mökin vieressä on masto, johon antennit kiinnitetään. Antennit voidaan kiinnittää myös talojen katoille tai seiniin. Tällöin laitteistot ovat rakennuksen teletiloissa. Lisäksi antennien ja laitteiston välillä kulkee kaapeleita datansiirtoa varten sekä sähkökaapeleita laitteiston virransyötön, jäähdytyksen ja laitteiston toiminnan varmistamista varten. Lisäksi tukiasemille tulee runkokaapeli, joka mahdollistaa asemien toiminnan datansiirron kannalta. [23], [24], [25]

4.3 Tukiasemien aiheuttama säteily

Tukiasemien aiheuttamista haitoista on keskusteltu ja tehty tutkimuksia eri tahoilla, varsinkin viime vuosina, kun tukiasemien määrä on kasvanut. Aihetta ovat tutkineet riippumattomat tahot, kuten SCENIHR, ICNIRP ja WHO. Kaikki ovat julkaisseet laajoja tutkimuksia, joiden lopputulema on se, ettei tukiasemien säteilystä ole haittaa. [26]

Tukiasemat ja matkapuhelimet lähettävät radioaaltoja. Suurten tukiasemien lähetystehot ovat huomattavasti suurempia kuin matkapuhelimien ja tukiasemien asentamiseen on tarkat määräykset ja ohjeistukset. Suurimpien tukiasemien altistumisraja ulottuu noin 10 metrin päähän antennista. Sivulliset eivät pääse näin lähelle antennia. Mikrosolujen altistumisraja ulottuu noin 20 cm:n päähän antennista ja ne tuleekin asentaa siten, ettei niihin päästä käsiksi esimerkiksi parvekkeilta. 5G-tekniikan myötä tukiasemia joudutaan asentamaan todella tiheään, jopa kymmenien metrien päähän toisistaan, joten keskustelu säteilyn haitoista tulee jatkumaan. [26]

5 TUKIASEMAN RAKENTAMINEN

Tässä luvussa käydään läpi tukiaseman rakentamista kiinteistökohteeseen. Asiaa käsitellään tapauskohtaisesti ja eroavaisuuksia voi olla erilaisissa kohteissa. Rakentamisen prosessi käydään läpi vaiheittain ja pyritään luomaan kokonaiskuva tämänkaltaisen kohteen tekemisestä. Tässä luvussa käsiteltävän prosessin kuvaus perustuu kolmen vuoden työkokemukseeni projektipäällikkönä Telia Finland Oyj:ssä ja samassa organisaatiossa työskentelevän radioverkkosuunnittelija Jussi Setälän kanssa käytyihin keskusteluihin.

5.1 Tukiaseman tarve

Uusi tukiasema rakennetaan, mikäli sen tarpeellisuus katsotaan alueen palvelemisen kannalta tärkeäksi. Tukiasemaa ei välttämättä aleta rakentamaan alueelle, missä esimerkiksi uusittujen ikkunoiden takia sisäkuuluvuus on heikentynyt. Uudella tukiasemalla yritetään poistaa muiden muassa alueen kapasiteettiongelmaa tai katvealuetta.

5.2 Tukiaseman tekniset vaatimukset

Tukiaseman asentaminen kiinteistön katolle aiheuttaa rasituksen kiinteistön kattoon. Rasitus katolle on yleensä noin 100 kg/m^2 ja tämä tulee huomioida, kun suunnitellaan asennuksen paikkaa. Rasitus voi olla pienempi tai suurempi riippuen antennien määrästä ja asennettavan telineen koosta.

Kaapelointi radioilta antennille toteutetaan koaksiaalikaapelilla. Radiot ovat yleensä sijoitettuna kiinteistön sähköpääkeskukseen tai talojakamoon. Matka radioilta antennille tulee olla mahdollisimman lyhyt, sillä koaksiaalikaapeli on kuparia ja pitempi etäisyys tarkoittaa suurempaa vaimennusta eli paksumpaa kaapelia. Radioilta ja jakamosta tulee antennille myös kuitukaapeli sekä sähkönsyöttö. Tämän vuoksi suurin pituus radion ja antennien välillä on 150 metriä, sillä tätä pidemmälle matkalle kaapelivyyhdin paksuus kasvaa liian isoksi asennuksen kannalta. [27]

Telineitä on suunniteltu eri sääolosuhteille, antennille sekä kattotyypeille. Telineitä on muiden muassa pystymallia sekä riippuputkella varustettua mallia, jossa antennit tiputetaan katon reunan yli rakennuksen seinustalle. Katon reunan yli tiputtamalla saadaan rajattua sivulle lähtevää signaalia ja jossain tapauksessa syy tällaisen telineen käytölle on juuri näiden signaalien pienentäminen. Telineitä on melkein joka tilanteeseen ja tarvittaessa niitä saadaan myös teetettyä kohdekohtaisesti. [27]

Antennit ovat usein 1,5 metriä korkeita ja 40 senttimetriä leveitä. Keilan leveys on noin 60 – 65 astetta. 90 asteen kulmassa antennin teho on vain kolmanneksen täydestä ja näin ollen kohtisuoraan sivuille lähtevät signaalit eivät haittaa kovin paljon muita tukiasemia. Antennien suuntauksella ja teholla saadaan vaikutettua peittoalueeseen. Joissain tapauksissa antennit voidaan suunnata siten, että katon reuna estää osan signaalista ja näin ollen peittoalue saadaan haluttuun paikkaan. Yhteyden laatu alueella on sitä parempi, mitä heikompia muista tukiasemista tulevat sivusignaalit ovat. Tämän vuoksi tukiasemien suuntaaminen on tärkeää ja tarvittaessa voidaan käyttää rakennuksia tai maan muotoja estämään signaalia, kuten edellä annetussa esimerkissä kerrottu.

5.3 Sopimukset ja luvat

Tukiaseman rakentaminen vaatii aina luvan. Luvan saanti yleensä helpottuu, jos alueella on huono kuuluvuus. Tukiasemalle tarvitaan sähköä ja yleensä laitteille saadaan oma käyttöpaikka. Tapauskohtaisesti voidaan sopia kiinteistön omistajan kanssa asiasta, yhtenä vaihtoehtona on etäluettava sähkömittari. Kiinteistölle tai taloyhtiölle maksetaan sovituin aikavälein mittarin lukeman mukaan kulutetusta sähköstä aiheutuneet kulut.

Tukiasemaa varten tehtävät kaapeloinnit vaativat myös luvan. Nämä kuitenkin sisältyvät itse tukiaseman rakentamisen lupaan, joten erillistä luvan hakua ei tarvita. Tämä asia on kuitenkin tärkeä sisällyttää lupaan, ettei asennusvaiheessa tai jälkikäteen aiheudu ongelmia. Kaapelointia varten tulee tehdä läpivientejä seiniin ja kattoon sekä kiinnittää ja suojata kaapelit. Tämän vuoksi nämä asiat on hyvä tuoda ilmi lupaa hakiessa, ettei ulkoseinään tai verkkokellarin kattoon kiinnitetty kaapelisuoja-putki aiheuta taloyhtiössä ongelmia.

5.4 Tukiaseman suunnittelu ja rakentaminen

Suunnittelun ja rakentamisen toteuttaa Telian urakoitsija. Suunnittelussa on mukana myös Telian henkilökuntaa ja rakentamista ohjaa ja valvoo Telian projektipäällikkö. Kohteessa tapahtuva työ on kuitenkin täysin urakoitsijan tekemää. Mahdollisissa ongelmatilanteissa Telian suunnittelijat ja rakennuttajat ovat urakoitsijan apuna.

5.4.1 Tukiaseman suunnittelu

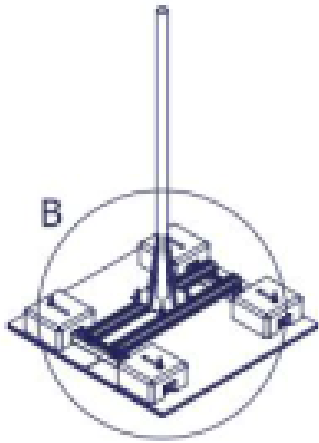
Suunnittelu tapahtuu paikan päällä kohteessa. Kohde katselmoidaan ja useimmiten mukana on myös kiinteistön tai taloyhtiön edustaja. Antennin paikalta (Kuva 2) pystytään katsomaan aluetta, jolle peitto halutaan.



Kuva 2. Kiinteistön katolla pystytään katsomaan mahdollisia esteitä sekä suunnittelemaan antennien suuntausta.

Rakennuksen katolta voidaan havaita esteitä, häiriöalueita ja muita kuuluvuuteen ja peittoalueeseen vaikuttavia tekijöitä. Myös keilojen suuntausta voidaan jo miettiä, mikäli fyysisten esteiden avulla on estettävä signaalia etenemästä jollekin alueelle.

Oleellinen osa suunnittelussa on antennin kiinnitys ja sijoittaminen (Kuva 3). Sijoituspaikka (Kuvat 4-6) täytyy valita siten, että yleisön tarpeeton altistuminen säteilylle on aina mahdollisimman vähäistä.



Kuva 3. Esimerkki katolle asennettavasta telineestä.



Kuva 4. Kiinteistön katolle suunnitellun ensimmäisen antennin asennuspaikka.



Kuva 5. Kiinteistön katolle suunniteltu toinen antenni.



Kuva 6. Toinen antenni katsottuna kiinteistön sisäpihalta.

Katolle suunnitellaan myös laitepeti (Kuva 7), jolle radiot asennetaan. Radiot tuottavat paljon lämpöä, mikä pitää ottaa huomioon sijainnissa. Ulos asennettaessa jäähdytystä ei tarvitse miettiä niin tarkasti kuin sisälle asennettaessa. Radiot voivat tuottaa 3 – 4 kilowatin eli pienen sähkökiukaan verran lämpöä. Ulos asennettavia radioita on ollut vasta 2010-luvulta lähtien ja tätä ennen asennukset tehtiin aina sisälle. 2G radioihin verrattuna 4G radiot tuottavat noin neljä kertaa enemmän lämpöä, joten mahdollisuus sijoittaa radiot ulos on helpottanut suunnittelua sekä asennusta.



Kuva 7. Suunniteltu laitepedin paikka katolla.

Kaapeloinnin suunnittelussa tulee ottaa huomioon etäisyys teletilasta katolle antennien ja radioiden luo. Matka tulee suunnitella lyhintä mahdollista reittiä, sillä etäisyyden kasvaessa koaksiaalikaapelin vaimennus kasvaa ja tarvitaan paksumpaa kaapelia. Tämä taas vaikeuttaa asennusta. Koaksiaalikaapelin lisäksi kaapelivyyhdissä on sähköt, maadoitus sekä kuitukaapeli. Kaapelireitti (Kuvat 8-12) on kriittinen, sillä myöhemmät kaapelin lisäykset aiheuttavat todella paljon työtä. Toisaalta tulevaisuutta varten ei voida varautua liikaa, sillä silloin kaapelivyyhdistä tulee liian iso aiheuttaen hankaluuksia

asennuksessa. Lisäksi kustannukset nousevat tarpeettomasti. Mitä lähempänä laitetila on antennia, sitä helpompi kaapelointi on suunnitella ja toteuttaa.



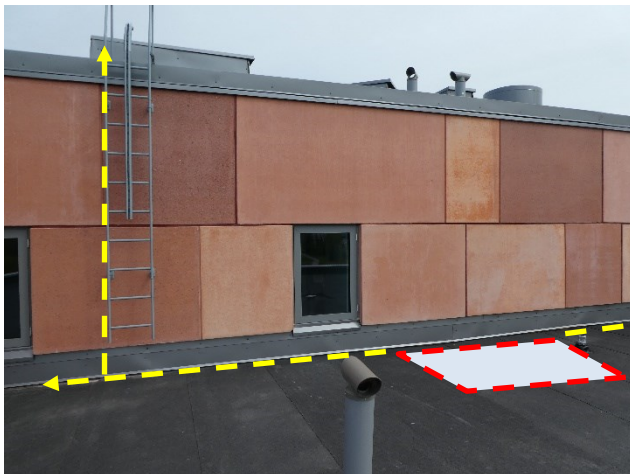
Kuva 8. Kaapeleiden läpivienti lämmönjakuhuoneesta kiinteistön seinälle.



Kuva 9. Kaapelireitti kiinteistön seinää pitkin ylös katolle.



Kuva 10. Kaapelireitti katolla antenneille ja laitepedille.



Kuva 11. Kaapelireitti katolla antenneille ja laitepedille.



Kuva 12. Kaapelireitti antennille.

5.4.2 Tukiaseman rakentaminen

Rakentamisen aikana tulee kiinnittää huomiota asennusten laatuun, turvallisuuteen sekä viranomaisten määräyksiin. Kiinteistökohteissa antennit joudutaan nostamaan talojen katoille ja usein nosto tapahtuu kadulta tai sisäpihalta. Kadulta nostaessa tarvitaan kaupungilta tai kunnalta katulupa, sillä todennäköisesti nostosta aiheutuu haittaa liikenteelle. Lisäksi on tehtävä nostosuunnitelma. Sen laajuuden määrittää nostettavien antennien paino sekä nostoalueen haasteellisuus. Nosto suoritetaan joko henkilönostimella tai nosturilla.

Työn aikana kiinnitetään huomiota turvallisuuteen ja ennen työn aloittamista tarkastetaan, että työn suorittajilla on voimassa olevat luvat ja ammattipätevyyttä todistavat kortit. Lisäksi katolla työskennellessä tulee käyttää valjaita. Muita tarvittavia henkilösuojaimia ovat kypärä, turvakengät, viiltosuojahanskat, suojalasit, kuulosuojaimet sekä huomiovaatetus.

Antennit pyritään maalaamaan kiinteistön kanssa saman värisiksi, jotta antennit sulautuisivat mahdollisimman hyvin ympäristöönsä. Myös kaapelikotelo pyritään maalaamaan kiinteistön sävyyn. Tehdyt läpiviennit massataan ja tehdään tarvittavat palokatkot voimassa olevien määräysten mukaan.

5.4.3 Tukiaseman kuidun rakentaminen

Etenkin uudiskohteissa joudutaan usein rakentamaan myös kuitu kiinteistöön. Kuidun suunnittelu tehdään samalla, kun tehdään tukiaseman suunnittelu. Kiinteistökohteissa kuitu suunnitellaan siten, että taloyhtiön halutessa sen kautta pystytään myös tarjoamaan yhteydet kiinteistön asukkaille. Usein tällaisiin kohteisiin rakennetaan vähintään 12 kuituinen kaapeli, mutta kaapeli mitoitetaan aina kohteen mukaan ja tarvittaessa rakennetaan esimerkiksi 24 kuituinen kaapeli. Kapasiteetti mitoitetaan myös tarpeen mukaan ja kerrostalon asukkaille tarkoitettuun yhteyteen riittää 1Gb runkoyhteys. Tukiasemia varten voidaan varata isompi, esimerkiksi 10Gb runkoyhteys. Kuituna käytetään yksimuotokuitua, koska sillä saadaan pitemmät siirtoetäisyydet. Yksimuotokuidussa valo etenee vain yhdessä muodossa, ja tämän takia ei synny pulssin levenemistä. Yksimuotokuidussa käytetty lasi on myös puhtaampaa, joten vaimennukset ovat pienempiä.

Myös kuidun suunnittelussa tehdään katselmus ja katsotaan paikan päällä, mitä kautta reitti on paras rakentaa. Suunnittelussa tulee ottaa huomioon alueen kapasiteetti kuitujen osalta sekä tulevaisuuden tarpeet mahdollisuuksien mukaan. Suunnittelun jälkeen haetaan kaapelin sijoituslupa. Mikäli reitillä pitää kaivaa, haetaan myös kaivuulupa. Luvat haetaan kaupungilta ja tarvittaessa myös kiinteistöltä, mikäli kaivetaan kiinteistön tontilla.

Rakentamisen aikana kiinnitetään myös huomiota turvallisuuteen. Tarkistetaan työtä tekevien henkilöiden pätevyudet sekä pidetään perehdytykset tarvittaessa. Lisäksi työssä käytettävät koneet tulee tarkastaa ennen työn aloittamista.

Mikäli työssä on ollut kaivamista, palautetaan kaivuureitti siihen kuntoon, missä se oli ennen kaivuiden aloittamista. Lisäksi kaikki maa-aines, jota ei voida käyttää uudestaan, kuljetetaan pois. Mikäli on ollut tarpeen tehdä läpivientejä kiinteistöön sisälle mentäessä, läpiviennit massataan ja tehdään palokatkot asianmukaisella tavalla.

5.6 Tukiaseman käyttöönotto

Asennusten ja rakentamisen valmistuttua on vuorossa tukiaseman käyttöönotto. Asentajat tekevät heti paikan päällä muutamia testejä. He varmistavat esimerkiksi, että puhe-
lut yhdistyvät, data kulkee ja hätäpuhelut menevät läpi.

Seuraava tarkastus tehdään 48 tunnin kuluttua ja se tehdään etänä. Tässä vaiheessa tarkastetaan, onko tukiasemalta tullut hälytyksiä tai näkykö järjestelmissä muuta poikkeavaa. Tarvittaessa paikalle lähtee asentaja tekemään korjauksia.

Seuraava vaihe on kahden viikon monitorointijakso. Jakson aikana seurataan muun muassa katkoja sekä liikenteen määrää. Monitorointijaksolla pystytään varmistumaan siitä, että tukiasema toimii kuten sen kuulukin. Monitorointi antaa myös tietoa siitä, oliko tukiasemalle todella tarve ja palveleeko se aluetta niin kuin oli suunniteltu.

Työn aikana otetaan valokuvia asennuksista ja rakentamisesta ja tehdyt työt dokumentoidaan Telian tietojärjestelmiin. Urakoitsija palauttaa nämä työn aikana ja sen jälkeen laaditut dokumentit Telian projektipäällikölle, joka tarkastaa asennusten ja rakentamisen laadun. Mikäli tässä vaiheessa huomataan poikkeamia laadussa tai virheellisiä asennuksia, urakoitsija käy korjaamassa virheet mahdollisimman pian. Tukiaseman rakentaminen on lopullisesti valmis, kun Telian projektipäällikkö on työn hyväksynyt.

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoite oli avata tukiaseman rakentamista kiinteistökohteeseen. Työtä varten haastateltiin radioverkkosuunnittelijaa ja hyödynnettiin omaa työkokemusta alalta. Tukiaseman rakentaminen käytiin läpi kronologisessa järjestyksessä tarpeesta suunnittelun kautta asennukseen ja käyttöönottoon. Työstä saatiin kattava ja tiivis katsaus tukiaseman rakentamisesta.

Teoriaa työhön etsittiin suurimmalta osin internetistä muutamaa kirjaa lukuun ottamatta. Kirjallisuutta löytyi vanhemmista verkkotekniikoista, mutta uudemmissa ei. Sähköistä materiaalia internetistä löytyi paljon ja lähteet olivat luotettavia, esimerkiksi matkapuhelinjärjestelmien standardointijärjestön sivut. Työtä varten tehty haastattelu tehtiin Skypen välityksellä, koska työskentelen eri paikkakunnalla haastatellun henkilön kanssa. Haastateltava toimii Teliällä radioverkkosuunnittelijana ja on tekemisissä päivittäin työssä käsiteltävien asioiden kanssa.

Työhön olisi ollut mahdollisesti löydettävissä kirjallisuutta myös uudemmissa verkkotekniikoista. Sähköisen materiaalin löytäminen oli kuitenkin helppoa ja luotettavia lähteitä löytyi helposti. Tutkimuksia tai tieteellisiä tekstejä ei löytynyt tai ne olivat maksumuurin takana. Tällaisia tekstejä olisi varmasti ollut saatavana painettuna materiaalina ja ne olisivat tarjonneet todennäköisesti syvällisempää tietoa aiheesta. Haastattelu olisi ollut todennäköisesti kattavampi ja syvällisempi kasvotusten. Lisäksi useampi haastattelukerta olisi auttanut tuomaan esille asioita, jotka ovat saattaneet jäädä tässä huomaamatta.

Tulevaisuudessa tukiasemia rakennetaan enemmän ja sen vuoksi myös toteutukseen kiinnitetään entistä enemmän huomiota. Muutaman vuoden kuluttua uusi katsaus tukiaseman rakentamiseen tarjoaisi varmasti paljon uutta tietoa, sillä tihentynyt tukiasemien verkosto pakottaa varmasti toimintatapojen muuttamiseen. Lisäksi uusi tekniikka tuo tekemiseen omat haasteensa ja muutoksensa. Vastaavanlaisen katsauksen tekemiseen olisi suositeltavaa etsiä enemmän painettua kirjallisuutta ja tehdä haastattelut useamassa osassa muutaman eri henkilön kanssa.

LÄHTEET

- [1] <https://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/ict/suomalaiset-yha-maailman-kovimpia-mobiilidatan-kayttajia-6723432> 1.5.2019
- [2] <https://www.telia.fi/> 29.8.2018
- [3] <http://www.teleseniorit.fi/sivu/27> 29.8.2018
- [4] Jyrki Penttinen 2006, Tietoliikennetekniikka: Perusverkot ja GSM
- [5] Jyrki Penttinen 2006, Tietoliikennetekniikka: 3G ja erityisverkot
- [6] GSM/Edge: evolution and performance <https://ebookcentral.proquest.com/lib/turkuamk-ebooks/reader.action?docID=624727> 3.8.2017
- [7] http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/umts/umts_wcdma_tutorial.php 3.8.2017, 10.8.2017
- [8] <http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/umts/umts-wcdma-handover-handoff.php> 30.9.2017
- [9] <http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/umts/utra-utran-umts-radio-access-network.php> 30.9.2017
- [10] <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte> 30.9.2017
- [11] <http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/lte-long-term-evolution/lte-ofdm-ofdma-scdma.php> 30.9.2017
- [12] <http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/lte-long-term-evolution/3g-lte-basics.php> 1.10.2017
- [13] <http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/lte-long-term-evolution/lte-mimo.php> 1.10.2017
- [14] <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advanced> 1.10.2017
- [15] <http://www.4g.co.uk/4g-lte-advanced/> 1.10.2017
- [16] https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_application/application_notes/1ma169/1MA169_3e_LTE-Advanced_technology.pdf 1.10.2017
- [17] <https://www.netplaza.fi/2017/04/5gn-myota-valokuitu-tulee-jokaiseen-kotiin/> 1.5.2019
- [18] <https://www.stuk.fi/aiheet/matkapuhelimet-ja-tukiasemat/matkapuhelinverkko/5g-verkon-sateilyturvallisuus> 1.5.2019
- [19] <https://tekniikanmaailma.fi/5g-mobiiliverkko-tulee-mika-muuttuu-nopeus-jopa-10-gbit-s-data-liikenne-10-000-kertaistuu-verkko-tulee-kaikkialle/> 1.5.2019
- [20] <https://elisa.fi/asiakaspalvelu/aihe/mobiililaajakaista/ohje/5g/> 1.5.2019
- [21] <http://www.finnet.fi/mita-5g-tarkoittaa-tavallisen-kayttajan-tai-kodin-kannalta/> 1.5.2019
- [22] <https://www.cellmapper.net/map?MCC=244&MNC=91&type=LTE&latitude=61.477785399315856&longitude=23.77478728204459&zoom=12&showTow->

[ers=true&clusterEnabled=true&tilesEnabled=true&heatMapEnabled=false&showOrphans=false&showNoFrequencyOnly=false&showFrequencyOnly=false&showBandwidthOnly=false&DateFilterType=FirstSeen&showHex=false&bands=0,1,2,3,7,8,20,22,28&showVerifiedOnly=false&showUnverifiedOnly=false&showLTECAOnly=false&showBand=0](https://www.mobilenetworkguide.com.au/mobile_base_stations.html?ers=true&clusterEnabled=true&tilesEnabled=true&heatMapEnabled=false&showOrphans=false&showNoFrequencyOnly=false&showFrequencyOnly=false&showBandwidthOnly=false&DateFilterType=FirstSeen&showHex=false&bands=0,1,2,3,7,8,20,22,28&showVerifiedOnly=false&showUnverifiedOnly=false&showLTECAOnly=false&showBand=0) 29.8.2018

[23] http://www.mobilenetworkguide.com.au/mobile_base_stations.html 1.5.2019

[24] <http://www.stuk.fi/aiheet/matkapuhelimet-ja-tukiasemat/matkapuhelinverkko/matkapuhelinverkon-toiminta-ja-tukiasemat> 1.5.2019

[25] <https://www.techopedia.com/definition/5268/base-station-bs> 1.5.2019

[26] <http://www.stuk.fi/aiheet/matkapuhelimet-ja-tukiasemat/terveyshaitoista-ei-ole-nayttoa> 1.5.2019

[27] Setälä 2019. Haastattelu. Opinnäytetyön tekijä haastatteli Telian radioverkkosuunnittelija Jussi Setälän 12.6.2019