



Karelia-ammattikorkeakoulu  
Insinööri (AMK)  
Talotekniikka

# Mobiiliverkon signaalin vahvistaminen rakennuksessa

Eetu Löppönen

Opinnäytetyö, huhtikuu 2024

[www.karelia.fi](http://www.karelia.fi)



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Huhtikuu 2024**  
**Insinööri (AMK) Talotekniikka**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
+358 13 260 600 (vaihde)

**Tekijä**  
Eetu Löppönen

**Nimeke**  
Mobiiliverkon signaalin vahvistaminen rakennuksessa

**Tiivistelmä**

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tarkastella mobiiliverkon signaalin vahvistamista rakennuksessa. Työssä käydään läpi, miten 4G- ja 5G-mobiiliverkot toimivat. Lisäksi työssä esitellään Suomessa toimivien operaattoreiden lakisäätteisiä palveluja ja toimintatapoja. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, miten rakennuksen sisäistä mobiiliverkon signaalia voidaan parantaa ja mistä signaalin vaimentuminen ilmiönä johtuu. Opinnäytetyössä esitellään lisäksi esimerkki pientalon sisäisen signaalin vahvistuksesta.

Opinnäytetyö toteutettiin kuvailevana kirjallisuuskatsauksena. Toteutustapa on narratiivinen yleiskatsaus, joka mahdollistaa työssä käytettyjen laajojen tutkimuskysymyksien käyttämisen. Tutkimusaineistoiksi on valittu operaattoreiden toimintaa ohjaavia lakeja ja asetuksia. Työssä on käytetty aineistona myös erilaisia aiheeseen liittyviä tutkimuksia ja selvityksiä.

Kirjallisuuskatsauksessa saatiin vastaukset asetettuihin tutkimuskysymyksiin. Rakennuksen sisäistä kuuluvuutta voidaan parantaa rakennushankkeen suunnittelu- ja toteutusvaiheessa. Mobiiliverkon signaalia voidaan parantaa olemassa olevaan rakennukseen passiivisilla tai aktiivisilla vahvistintoteutuksilla.

**Kieli**  
suomi

Sivuja 33

**Asiasanat**  
mobiiliverkko, signaalin voimakkuus, 4G-verkko, 5G-verkko



**THESIS**  
**April 2024**  
**Degree Programme in Building Services Engineering**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
FINLAND  
+ 358 13 260 600

Author  
Eetu Löppönen

Title  
Strengthening of the Signal Coverage of Mobile Network

#### Abstract

The aim of this thesis was to examine strengthening the signal coverage of mobile network. This thesis presents how 4G and 5G mobile networks work. The work also presents statutory services of operators operating in Finland. The aim of the thesis was to find out how to strengthen mobile network signal coverage and what causes signal attenuation. The thesis presents a practical example of a detached house internal signal amplification.

The thesis was conducted by using a descriptive literature review. The method of implementation is a narrative overview. This method enables the use of extensive research questions in the work. The research material of the thesis consists of selected laws and regulations governing the operators. Additionally, various studies related to the subject has been used as material in this thesis.

The literature review provided answers to the research questions. The internal signal of the building can be improved at the design and implementation phase of in the construction project. The mobile network signal can be improved in the existing building by passive or active amplifier implementations.

Language  
Finnish

Pages 33

Keywords  
mobile network, signal strength, 4G network, 5G network

# Sisältö

1	Johdanto .....	5
2	Mobiiliverkot.....	6
2.1	GSM-signaali .....	6
2.2	GSM-verkko.....	8
2.3	4G- ja 5G-verkot .....	11
2.4	Mobiiliverkon toiminta ja liittymätyypit .....	13
2.5	Rakennusmateriaalit ja sisäverkot .....	14
3	Tutkimusmenetelmä ja -aineisto .....	16
3.1	Kirjallisuuskatsaus .....	16
3.2	Tutkimusaineisto.....	17
4	Signaalin vahvistaminen .....	17
4.1	Signaalin voimakkuuden mittaaminen .....	17
4.2	Signaalin kattavuuden parantaminen.....	19
4.3	Aktiivinen ja passiivinen signaalin vahvistus .....	21
4.4	Rakennusvaiheessa käytettävät ratkaisut.....	22
4.5	Määräykset ja ohjeistukset.....	25
4.6	Signaalin kuuluvuusongelma omakotitalossa .....	26
5	Yhteenveto ja johtopäätökset.....	29
	Lähteet.....	31

# 1 Johdanto

Energiätehokkaamman rakentamisen yleistyessä sisäkuuluvuusongelmia ilmenee aiempaa useammin. Ilmiö johtuu rakennusmateriaalien metallipitoisuuksien lisääntymisestä ja rakennuksien seinärakenteiden tiivistymisestä. Rakentamisen trendit, kuten ikkunapinta-alan kasvaminen, vaikuttavat myös signaalin läpäisyominaisuuksiin. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2013.) Monet eri tekijät voivat aiheuttaa signaalin voimakkuuden heikentymistä. Tässä opinnäytetyössä on tarkoituksena tutustua näihin signaalin voimakkuuteen vaikuttaviin tekijöihin.

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, miten rakennuksen sisäisen langattoman tiedonsiirtoverkon kuuluvuutta voidaan parantaa. Työssä käydään läpi, miten mobiiliverkot toimivat ja mitkä seikat vaikuttavat mobiiliyhteyksien toimintakykyyn. Lisäksi tarkastellaan yleisimpien rakennusmateriaalien vaikutusta langattomaan tiedonsiirtoon. Opinnäytetyö sisältää myös esimerkin rakennuksen sisäisen signaalin voimakkuuden parantamisesta. Työn tavoitteena on tutustua sisäkuuluvuusongelmien aiheuttajiin ja esittää ratkaisuja kuuluvuuden parantamiseen.

Opinnäytetyössä tarkastellaan Suomessa toimivia 4G- ja 5G-tekniikoita, joita palveluoperaattorit tarjoavat. Työssä ei tarkastella 3G-tekniikkaa, koska se on poistunut käytöstä jo suuressa osassa Suomea. Myöskään 6G-tekniikkaa ei tarkastella, koska se on vasta kehitteillä, eikä sitä ole kaupallisessa käytössä saatavilla.

Tutkimustavoitteeseen vastaamiseksi asetetaan seuraavat tutkimuskysymykset:

1. Miten mobiiliverkon signaalin kuuluvuutta rakennuksen sisällä voidaan parantaa ja mistä signaalin vaimentuminen ilmiönä johtuu?
2. Miten yleisimmät rakennusmateriaalit vaikuttavat langattomaan tiedonsiirtoon?
3. Minkälaisia ratkaisuja rakennuksen sisäisen kuuluvuuden parantamiseen on tarjolla?

Opinnäytetyön tietoperustana käytetään kirjallisista lähteistä löytyviä langattoman tiedonsiirron perusteita, tiedonsiirtotekniikoiden yleisiä ohjeistuksia ja säännöksiä sekä signaalinvahvistusta tarjoavien laitteiden ja yritysten tarjoamia tietolähteitä. Aiheesta löytyy useita tutkimuksia ja erilaisiin rakennuksiin suoritettuja mittauksia.

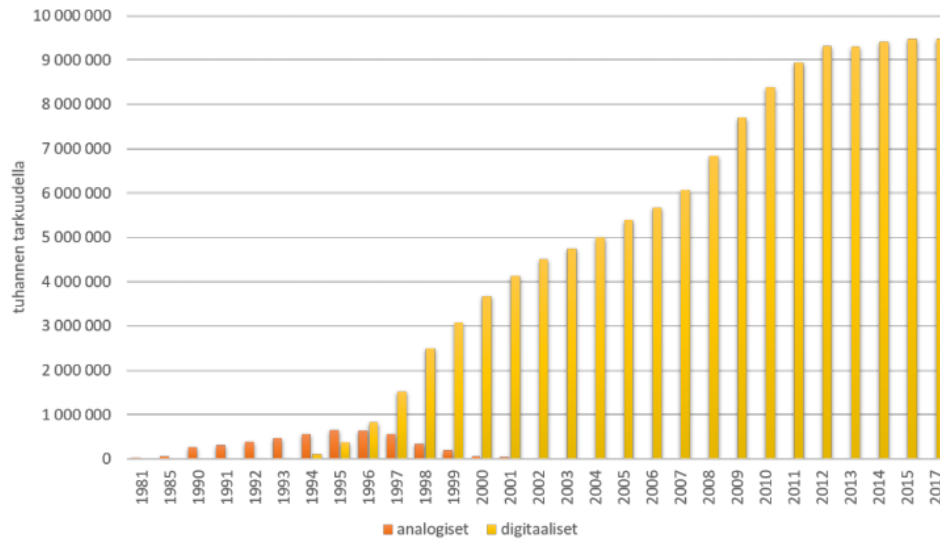
## **2 Mobiiliverkot**

### **2.1 GSM-signaali**

GSM eli Global System for Mobile Communication on matkapuhelimien väliseen viestintään tarkoitettu digitaalinen teknologia. Se korvasi yleistyessään NMT:n eli analogisen teknologian. Langaton tiedonsiirto kehittyi ja nopeutui maailmassa todella nopeasti. Vanhoja verkkoteknologioita poistuu käytöstä uusien tieltä vapauttaen käyttötaajuuksia uusiokäyttöön. (Ficom 2018.)

Mobiiliverkkojen kehitys on mahdollistanut kuvassa 1 esitetyn liittymämäärän kasvun. Analoginen NMT-verkko on maailman ensimmäinen mobiiliverkko, joka mahdollisti puheluiden soittamisen Suomen rajojen ulkopuolelle. NMT-verkko toimi Pohjoismaissa ja käytti taajuutta 450 MHz ja 900 MHz. (Ficom 2018.) NMT-verkosta on käytetty nimitystä 1G. Digitaalinen 2G-teknologia korvasi 1G-verkon nopeasti ja mahdollisti SMS-tekstiviestien lähettämisen puheluiden lisäksi. Kuva 1 osoittaa, kuinka digitaalisten liittymien käyttöönoton jälkeen liittymämäärät alkoivat kasvaa suuresti Suomessa. 2G-liittymät toimivat Suomessa 900 MHz ja 1800 MHz taajuusalueilla. (Ficom 2018.)

### Matkaviestiverkon liittymämäärän kehitys Suomessa



Lähde: Viestintävirasto / Tilastokeskus (vanhimmat tiedot)

Kuva 1. Matkaviestiverkon liittymämäärän kehitys vuosina 1981–2017 (Ficom 2018).

Kolmannen sukupolven GSM-tekniikka eli 3G julkaistiin 2000-luvun alkupuolella. Se mahdollisti kevyen internetin käytön mobiiliverkossa olevalla laitteella. 3G-verkkotekniikka on käytännössä ajettu alas Suomessa vuoden 2023 aikana. Sitä käyttäneet laitteet siirtyvät käyttämään jäljellä olevaa 2G-verkkoa. Tällä mahdollistetaan nopeammat 4G- ja 5G-verkot, sillä ne käyttävät samoja taajuuskaistoja kuin 3G-verkot. (Elisa 2023.) 2G-verkko toimii vuonna 2024 lähinnä erilaisten mittareiden ja ohjauslaitteiden yhteysverkkona (Liikenne- ja viestintäministeriö 2023).

Neljännän sukupolven verkko 4G julkaistiin 2010-luvulla. Se mahdollisti edeltäjiään nopeammat mobiiliyhteydet ja pienensi verkon viivettä huomattavasti. Suomessa 4G-verkon kattavuus on todella hyvä, ja se on myös pohjana 5G-verkoille. Suomessa toimivat verkko-operaattorit ylläpitävät 5G- ja 4G-verkkoja sekä 2G-verkkoa. (STT 2021.)

Verkkoteknologiaan erikoistunut laitevalmistaja Cisco ottaa kantaa verkossa yhteydessä olevien laitteiden määrän kasvuun vuonna 2019 julkaistussa vastuullisuusraportissaan. Se arvioi, että 5G-tekniikan kasvun myötä verkossa yhteydessä olevia laitteita on vuonna 2030 yli 300 miljardia. 5G-tekniikan avulla lisäyksen internet-palveluiden käyttäjämäärää kuluva

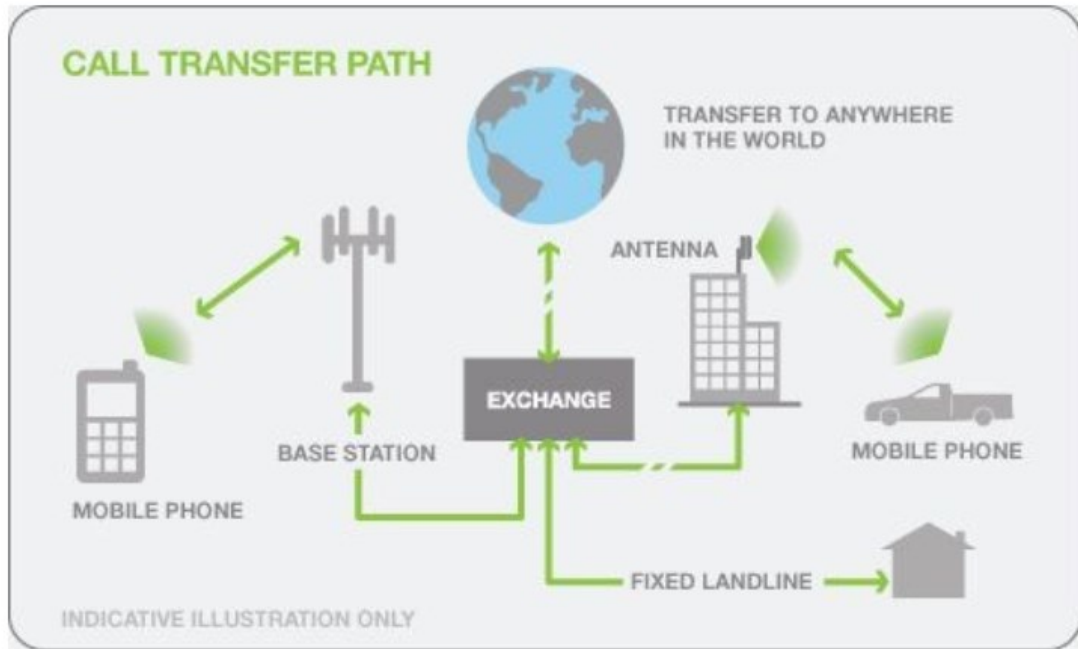
vuosikymmenenä yli 3,5 miljardilla. (El-shorbagy 2021.) 5G-verkon odotetaan mahdollistavan liikenneinfrastruktuurin automatisoitumisen tulevina vuosikymmeninä (Kauppinen 2021).

## 2.2 GSM-verkko

Matkapuhelimet ja muut mobiiliverkkoa käyttävät laitteet toimivat lähettämällä ja vastaanottamalla pienitehoisia radiosignaaleja. Radiosignaalit kulkevat niille määritetyillä taajuusalueilla. Taajuusalueiden käyttöoikeudet ovat Traficomien hallinnoimia ja määrittelemiä, joten verkosto-operaattorit eivät voi vapaasti valita taajuusalueitaan. Verkoston toiminta perustuu kaksisuuntaiseen kommunikointiin, jossa signaalit lähetetään ja vastaanotetaan antenneista. Verkossa toimivassa laitteessa tukiasemana toimivat laitteen sisäiset tai ulkoiset antennit, jotka on kiinnitetty radiolähtimiin ja vastaanottimiin. Maastossa sijaitseva tukiasema on linkitetty muuhun matkapuhelinverkkoon ja kiinteään puhelinverkkoon. Sitä kautta signaali välittyy muihin verkkoihin. (Amta 2024.)

Kuvassa 2 on esitetty matkapuhelinverkon toiminta yksinkertaisesti. Käytännössä mobiiliverkkoa hyödyntävän laitteen täytyy olla yhteydessä tukiasemaan, jotta tiedonsiirto laitteen ja tukiaseman välillä onnistuu. Mobiiliverkko koostuu tukiasemien muodostamasta soluverkosta. Soluilla on oma tukiasema, johon verkkoa solussa käyttävät laitteet yhdistyvät. Mikäli verkkoa käyttävä laite kulkeutuu toiseen soluun, se muodostaa yhteyden kyseisen solun tukiasemaan. Mobiiliverkon solut käyttävät eri taajuuksia siten, että viereiset solut eivät ole samalla taajuusalueella. Taajuuksien erolla verkko havaitsee laitteen siirtymisen solun alueelta toiselle ja osaa ohjata sen vaihtamaan käyttämänsä taajuutta. (Amta 2024.)





Kuva 2. GSM-verkon rakenne (Amta 2024).

Taulukossa 1 on esitetty eri verkkoja, sekä niiden käyttämiä taajuusalueita. Taulukosta selviää, kuinka nopeasti maksimikantama alkaa laskea verkon suurilla taajuuksilla. Taulukosta selviää myös teoreettinen spektritehokkuus, joka kasvaa merkittävästi suurille taajuusalueille siirryttäessä. Spektritehokkuus tarkoittaa lähettimen eli radiotien teoreettista välityskykyä. Sille on olemassa myös laskukaava, jossa taajuus MHz jaetaan teknologian teoreettisella spektritehokkuudella. (Jasso 2022.)

Taajuus- alue (MHz)	Verkko	Oletettu solun maksimikan- tama (km)	Kaistan- leveys (MHz)	FDD tai TDD	Teoreettinen spektritehok- kuus (bit/s/Hz) DL/UL	Nimellisa nopeus (Mbit/s)	
						Vastaan- otto	Lähetys
700	5G	10	10	FDD	11 / 5,5	110	55
800	4G	10	10	FDD	7,5 / 2,5	75	25
900	4G	10	11	FDD	7,5 / 2,5	75	25
1 800	4G	5	25	FDD	7,5 / 2,5	150	50
2 100	4G	4	20	FDD	7,5 / 2,5	150	50
2 600	4G	2	20 - 25	FDD (TDD)	7,5 / 2,5	150	50
3 500	5G	2	130	TDD	11 / 5,5	1200	400
26 000	5G	0,5	800	TDD	11 / 5,5	8 800	3 000

Taulukko 1. Signaalien taajuuksia ja ominaisuuksia (Sitowise 2020).

Vuonna 2024 Suomessa toimii kolme verkko-operaattoria, jotka ovat Telia, Elisa ja DNA. Muut palveluja tarjoavat operaattorit ovat niin sanottuja palveluoperaattoreita, jotka käyttävät verkko-operaattoreiden verkkoa palveluissaan. Jokaisella verkko-operaattorilla on omat mobiiliverkot ja oma tietoliikenneinfrastruktuuri. Mobiiliverkot on suunniteltu palvelemaan ihmisiä mahdollisimman tehokkaasti. Kaupungeissa ja tiheästi asutuilla alueilla tukiasemaverkko on kattavampi ja tehokkaampi, jolla pyritään mahdollistamaan vakaa ja toimiva yhteys kaikille käyttäjille. (5G-liittymä.fi 2024.)

Vuonna 2014 perustetun Suomen Yhteisverkon tarkoituksena on parantaa mobiiliverkkojen toimintaa Suomen harvaan asutuilla alueilla. Yhteisverkon toiminnassa on mukana DNA ja Telia Finland Oy, jotka tarjoavat Pohjois- ja Itä-Suomessa yhteistä verkkoa asiakkailleen (kuva 3). Yhteisverkon avulla samalla liittymällä saavutetaan suurempi määrä tukiasemia ja taajuuksia. Se parantaa alueen kuluttajien liittymien toimintavarmuutta. Myös palveluntarjoajalle yhteisverkko tarjoaa kustannustehokkuutta ja nopeampaa verkon kehittämistä. Suomen yhteisverkon tuomat edut korostuvat uutta 5G-verkkoa rakennettaessa, koska 5G-tiedonsiirtotekniikka tarvitsee tiheämmän tukiasemainfrastruktuurin. (Suomen Yhteisverkko 2024.)



Kuva 3. Suomen yhteisverkon toiminta-alue kuvattu vihreällä (Suomen Yhteisverkko 2024).

Jokaisella mobiiliverkko-operaattorilla on alueelliset prioriteetit, joihin verkoissa panostetaan. Tiheästi asutuilla alueilla jokaisen verkko-operaattorin palvelut toimivat ilman ongelmia. Sen sijaan haja-asutusalueilla verkkojen väliset kuuluvuuserot voivat olla suuriakin. Verkon ylläpitäjät tarjoavat erilaisia kuuluvuuskarttoja ja tukiasemien sijaintitietoja, joiden avulla kuluttajat voivat löytää itselleen parhaan palveluntarjoajan. Suomessa toimivilla verkko-operaattoreilla ei ole lakisääteistä velvoitetta rakentaa peittoalueeltaan aukotonta koko maan kattavaa verkkoa. (Line Carrier 2022.) Operaattoreiden täytyy kuitenkin varmistaa, että 2G-verkko kattaa 99 prosenttia Manner-Suomen väestöstä (Liikenne- ja viestintäministeriö 2023).

Suomessa on toiminut vuodesta 2002 lähtien erillinen Virve-verkko. Virve eli viranomaisverkko on viranomaisten käyttöön suunniteltu ja rakennettu viestintäverkko. Virveä käyttää Suomessa viranomaiset ja turvallisuuskriittisessä toiminnassa mukana olevat tahot. Viranomaisverkko on toteutettu omalla Tetra-verkolla, joka ei ole nykypäivän tiedonsiirtostandardeja vastaava teknologia. Virve 2.0 tullaan ottamaan käyttöön vuonna 2024, ja vanha Virve eli tetra-verkko tullaan ajamaan alas vuoden 2028 loppuun mennessä. (Erillisverkot 2024.)

Virve 2.0 on laajakaistapohjainen teknologia, ja se käyttää samoja 4G- ja 5G-verkkoja kuin kuluttajille suunnatut kaupalliset palvelut. Virve-verkossa kulkeva liikenne eroaa kuluttajien liikenteestä salauksen ja priorisointivaatimuksien osalta. Virve-verkon toimintaa ohjaa ja hallinnoi valtion omistama Suomen Erillisverkot Oy. Uudessa Virve 2.0 verkossa erillisverkot toimivat palveluoperaattorina, ja Virve käyttää Elisan mobiiliverkkoa. (Erillisverkot 2024.) Virve-liittymiä on Suomessa arviolta 51 000, ja niiden kautta kulkee viikoittain 74 miljoonaa viestiä (Lähdetluoma 2022).

### **2.3 4G- ja 5G-verkot**

Kun nopeus verkosta päätelaitteeseen ylittää 50 MBit/s, voidaan yhteydestä käyttää nimitystä 4G eli neljännen sukupolven mobiiliverkkotekniikka. 4G-verkolla mahdollistettiin kuluttajien päätelaitteisiin jopa yli sadan megabitin sekuntivauhti tiedonsiirrossa. 4G-verkot toimivat Suomessa taajuusalueilla 700

MHz, 800 MHz, 1800 MHz ja 2600 MHz. Suomessa 4G-verkoista käytetään myös nimityksiä LTE ja Dual Carrier, vaikka alkuperäisen määritelmän mukaan ne ovatkin vain 3G-tekniikan laajennuksia. (Yle 2014.) Vuonna 2024 verkko-operaattoreiden 4G-verkot kattavat 99 prosenttia koko Suomen asutuksesta. (Yli-Korhonen 2024).

LTE eli Long Term Evolution on julkaistu vuonna 2009. Sen tavoitteena oli parantaa datan siirtonopeuksia, lyhentää viiveaikoja sekä kehittää palveluja. LTE erosi edeltävistä teknologioista ollen ensimmäinen, jossa liikenne tukiaseman ja laitteen välillä toteutettiin erilaisella radiotekniikalla kuin vastakkaiseen suuntaan tuleva liikenne. LTE-verkossa arkkitehtuuri on yksinkertaistettu, jolloin verkon rakentamis- ja ylläpitokustannukset ovat edeltäjiään alhaisemmat. LTE-verkko mahdollisti verkon solujen kasvattamisen halkaisijaltaan yli 100 km kokoisiksi. (Kilkki 2018.)

5G eli viidennen sukupolven mobiiliverkkoteknologia on suunniteltu edeltäjiään nopeammaksi, toimimaan pienemmällä viiveellä ja suuremmalla kapasiteetilla. Merkittävin ero 5G-verkon ja 4G-verkon välillä on lähetystaajuuksissa, jotka ovat suurempia ja mahdollistavat nopeamman datansiirron päätelaitteen ja tukiaseman välillä. 5G-verkon suurin tekninen haaste on taajuuskaistojen kattavuuden pienentyminen. 5G-verkot tulevat vaatimaan paljon edellisiä verkkoja enemmän lähettämiä eli tukiasemia, jotta verkko saadaan kattamaan isoja maantieteellisiä alueita. (Kilkki 2018.) Aluksi 5G-verkko toimi osittain 4G-verkossa, mutta nykyään se toimii omana itsenäisenä verkkona. Verkon itsenäistyminen tarkoittaa, että verkossa toimivien päätelaitteiden tulee olla 5G-verkkoa tukevia. (Elisa 2024a.)

5G-verkko toiminta voidaan jakaa kolmelle eri taajuusalueelle. 700 MHz aluetta käytetään laajojen maaseutu- ja haja-asutusalueiden verkon toteutukseen. 3.6 GHz aluetta käytetään parantamaan tiedonsiirtonopeutta ja kapasiteettia taajama-alueilla. Lisäksi 5G-verkot ottavat käyttöön 26 GHz taajuusalueen, jolla mahdollistetaan tiheästi asuttujen alueiden erittäin suuri tiedonsiirto kapasiteetti. (European Commission 2022.)

## 2.4 Mobiiliverkon toiminta ja liittymätyypit

Mobiiliverkossa on useita verkon toimintanopeutta heikentäviä tekijöitä, joten mobiiliyhteyden laatu käytettävässä laitteessa voi vaihdella suuresti. Kuluttajan hankkimalle liittymälle ja siihen kuuluvalle nettiyhteydelle on usein kirjattu käyttöehtoihin vaihteluväli. Se tarkoittaa minimi- ja maksimiarvoja, joiden välillä liittymällä käytettävä nopeus vaihtelee. Vaihteluväli voi olla esimerkiksi 10–200 Mbit/s. Verkon käyttäjän on tärkeää ymmärtää, että liittymä ei aina toimi palveluntarjoajan ilmoittamalla maksiminopeudella. Jokaisella palveluoperaattorilla on tarjoamilleen liittymille erikseen eritellyt vaihteluvälit, jotka voivat vaihdella suuresti eri operaattoreiden välillä. (Kilkki 2018.)

Verkon nopeuteen vaikuttaa suuresti verkon käyttöaste. Esimerkiksi iltaisin suurella kuormituksella oleva mobiiliverkko voi hidastua, koska samaa kaistaa ei riitä kaikille käytettäväksi. Yleisesti tätä voidaan kuvata mobiiliverkon tiedonsiirtokapasiteetilla, ja paljon sitä on käytettävissä pinta-alayksikköä kohden. Jokaisella taajuuskaistalla on oma kapasiteetti. Verkon solun tiedonsiirtokapasiteetti paranee, kun käytettävissä oleva taajuusalue suurenee. Mobiiliverkon kokonaiskapasiteettiin vaikuttaa kolme tekijää, jotka ovat taajuuskaista, spektritehokkuus ja tukiasemien määrä. (Kilkki 2018.) 2010-luvulla mobiiliverkossa olevien laitteiden määrä kasvoi suuremmin kuin tukiasemaverkosto. Tämä tarkoitti 4G-verkon paikoittaista hidastumista. (West, Fagerström & Siironen 2020.)

Verkon kuormituksen aiheuttamat ongelmat ovat yleisempiä pienemmällä kaistanleveydellä toimivilla 4G-yhteyksillä kuin 5G-verkossa. Uuden sukupolven 5G-verkko on rakennettu tiheämmällä solurakenteella kuin edeltäjänsä. Korkeampien taajuuksien säteily vaimenee nopeammin kuin matalataajuinen säteily. Korkeilla taajuuksilla lähetetty säteily vaimenee esteiden kohdalla enemmän kuin matalammat taajuudet. (Kilkki 2018.)

Yleisesti puhutaan mobiililaitteen kuuluvuudesta, eli päätelaitteen ja tukiaseman välisestä signaalista. Sillä on suuri vaikutus yhteyden toimintaan. Signaali kulkee ilmassa suoraan tukiaseman lähettävän elementin ja päätelaitteen antennin välillä. Tämän vuoksi kaikki esteet, kuten maasto, rakennukset ja kasvillisuus, voivat heikentää signaalia. Käytettävän laitteen sijainti suhteessa

tukiasemaan on otettava huomioon. Pääsääntöisesti tukiaseman läheisyydessä yhteys eli signaali on vahvempi kuin kauempana tukiasemasta, koska signaali heikkenee matkan kasvaessa. Myös sääolosuhteilla voi olla vaikutusta signaalin voimakkuuteen. (Kilkki 2018.)

Suomessa mobiiliverkkoja hyödyntävät kaikkien operaattoreiden langattomat laajakaistaliittymät. Laajakaistaliittymäksi kutsutaan operaattorin tarjoamaa palvelua, jossa internetyhteys tarjotaan asiakkaan käytettäväksi. Kaikki myynnissä olevat internetyhteydellä varustetut liittymät ovat laajakaistaliittymiä. Yleisin laajakaistaliittymä on langaton liittymä. Se mahdollistaa verkossa käytettävien laitteiden joustavan liikkumisen. Langaton laajakaista on käytössä lähes kaikissa nykyaikaisissa matkapuhelimissa. Yhteyttä varten tarvitaan SIM-kortti sekä voimassa oleva liittymä. (Kannisto & Kangasniemi 2022.)

Langattomat laajakaistaliittymät ovat hintatasoltaan ja hankintakustannuksiltaan kilpailukykyisiä vaihtoehtoja. Erityisesti kiinteät laajakaistaliittymät, kuten valokuitu, kasvattavat markkinaosuutta suuresti. Usein kuluttajat kuitenkin harkitsevat edelleen mobiililaajakaistaa kiinteiden laajakaistaliittymien suurten hankintakustannuksien takia. Mobiililaajakaistaliittymän yhtenä etuna voidaan myös pitää päätelaitteen helppoa siirrettävyyttä. (Ussa 2020.)

## **2.5 Rakennusmateriaalit ja sisäverkot**

Rakennusmateriaalien, rakentamissäädösten sekä rakennuksien energiatehokkuuteen pyrkivien toimintatapojen on havaittu lisäävän rakennuksien kuuluvuusongelmia. Uusissa rakennuksissa on mahdollista, että käytettävä laite ei vastaanota tai lähetä ollenkaan signaalia rakennuksen sisätiloissa. Kuuluvuusongelmiin on tärkeää kiinnittää huomiota jo rakennushankkeen alkuvaiheessa. (Traficom 2021.)

Rakentamiseen vaikuttavissa säädöksissä on useita vuosia pyritty parantamaan rakennuksien energiatehokkuutta. Uusien matala- ja passiivienergiatalojen energiatehokkuus perustuu usein rakenteiden tiiviyteen ja materiaaleihin, joiden läpi matkapuhelinverkossa kulkevat radiosignaalit eivät pääse kulkeutumaan.

Yleisesti tämänkaltaisia ongelmia havaitaan rakennuksissa, jotka sijaitsevat kaukana lähimmästä tukiasemasta tai signaalin kulkulinjalla on suuria maastoesteistä. (Traficom 2021.) Samankaltaisia radiosignaalien läpäisyvaikeuksia ei lähtökohtaisesti esiinny televisioverkkojen kohdalla. Tämä johtuu siitä, että televisioverkoissa signaali vastaanotetaan ulkoisen antennin avulla. Tällöin uusien rakennusmateriaalien vaikutus ei ole olennainen. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2013.)

Uusien energiatehokkaiden ikkunoiden lasikerroksien ja niissä olevien metallisten pinnoitteiden, sekä metallista tehtyjen ikkunaverhouksien on havaittu heijastavan signaaleja. Heijastaminen estää signaalin kulkeutumista sisätiloihin. Myös lämmöneristeillä on todettu olevan suuri vaikutus, sillä esimerkiksi polyuretaanissa on metallikalvoja. Rakennusmateriaalien vaikutusta radiosignaalien kulkeutumiseen on tutkittu paljon. Tutkimuksissa on todettu signaalien vaimentuvan moninkertaisesti enemmän uusissa rakennuksissa verrattuna esimerkiksi kymmenen vuotta vanhoihin rakennuksiin. Traficomien teettämän selvityksen mukaan voidaan todeta, että kuuluvuusongelmia esiintyy erityisesti betoni- ja teräsrakenteisissa kerrostaloissa. (Traficom 2019.)

Traficom on laatinut uudisrakennuksien sisäverkkoa koskevat määräykset. Sisäverkon rakentamisvelvollisuus on julkaistu 1.1.2017. Sen mukaan jokaisen uudiskohteen on täytettävä joitakin poikkeustapauksia lukuun ottamatta tietyt edellytykset. Rakennukseen on esimerkiksi tehtävä nopeita laajakaistayhteyksiä tukeva sisäverkko. Tämän toteutumiseksi jokaiseen asuinhuoneistoon täytyy luoda edellytykset 30 Mbit/s yhteysnopeuteen downlink-suunnasta eli verkosta päätelaitteen suuntaan. Määräykset ohjaavat uudiskohteen sisäverkon rakennetta, kaapeloitavia yhteyksiä ja verkon toteutuksessa käytettäviä materiaaleja. Traficomien määräykset eivät kuitenkaan koske pientaloja. (Traficom 2022.)

Sisäverkon rakentaminen huoneiston sisälle toteutetaan samalla tekniikalla riippumatta siitä, onko käytössä kiinteä tai langaton laajakaistayhteys. palveluntarjoajilta ja viranomaislähteistä löytyy paljon hyödyllisiä ohjeita rakennuksien ja huoneistojen sisäverkon toteutukseen. (Traficom 2022.) Sisäverkosta voidaan käyttää nimitystä lähiverkko, joka on alueellisesti rajattu

tietoliikenneverkko. Lähiverkossa voidaan käyttää langattomia ja langallisia toteutustapoja. Lähiverkko liitetään verkko-operaattorin verkkoon. (Elisa 2024b.)

Traficom määrittää Suomessa toimivien operaattoreiden palveluiden tarjontaa. Jokaisella on Suomessa oikeus saada kotiinsa tai yrityksensä toimipisteeseen toimiva puhelin- ja internetyhteys. Traficom ohjeissa ei kuitenkaan ole määritelty käytettävää teknologiaa. Ohjeistukset eivät poissulje käyttäjien velvollisuutta signaalin voimakkuuden parantamiseen, esimerkiksi antennien ja vahvistimien avulla. (Traficom 2019.)

### **3 Tutkimusmenetelmä ja -aineisto**

#### **3.1 Kirjallisuuskatsaus**

Opinnäytetyössä käytettävä menetelmä on kuvaileva kirjallisuuskatsaus ja toteuttamistapana on narratiivinen yleiskatsaus. Kuvaileva kirjallisuuskatsaus on yleiskatsaus, eikä siinä ole tiukkoja ja tarkkoja sääntöjä. Narratiivisessa yleiskatsauksessa tarkoituksena on tiivistää aiempien aihetta käsittelevien tutkimusten tuloksia. Valittu menetelmä ei edellytä käytetyn tutkimusaineiston erityistä systemaattista seulontaa. (Salminen 2024, 8.) Toteutustapa on valikoitu, koska käytettävät aineistot ovat laajoja kokonaisuuksia. Tämä kirjallisuuskatsauksen tyyppi mahdollistaa myös työssä käytettyjen laajojen tutkimuskysymyksiä käyttämisen kirjallisuuskatsauksessa.

Kirjallisuuskatsauksella voidaan tarkastella käytännöllisiä ja teoreettisia tutkimuskysymyksiä. Sen avulla pystytään todentamaan tai testaamaan valmiita tutkimuksia ja laajentamaan niiden tuottamaa teoriaa. Narratiivinen kirjallisuuskatsaus sopii tilanteisiin, joissa tavoitteena on selvittää, mitä tutkittavasta ilmiöstä tiedetään, millaisia käsitteitä siihen liitetään ja miten ne ovat yhteydessä toisiinsa. Narratiivisen kirjallisuuskatsauksen heikkoutena pidetään kirjallisuuskatsauksen tekijän omia havaintoja ja ennakkoluuloja. (Vilka 2023, 1.2.1.)



## 3.2 Tutkimusaineisto

Tutkimusaineistoksi on valittu operaattoreiden omia tiedotteita sekä operaattoreiden toimintaa ohjaavia lakeja ja asetuksia. Lisäksi tutkimusaineistoon kuuluu erilaisia rakentamisen ohjeita ja määräyksiä sekä rakennuksien suunnitteluun tehtyjä ohjeistuksia. Työssä on käytetty Traficomien ohjeistuksia ja asetuksia, jotka on tehty liittymien käyttäjien ja palvelun tarjoajien tueksi. Työssä hyödynnetään aiempia tutkimuksia langattomasta tiedonsiirrosta ja signaalin käyttäytymisestä. Tutkimusaineisto on valittu, jotta voidaan vastata seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1. Miten mobiiliverkon signaalin kuuluvuutta rakennuksen sisällä voidaan parantaa ja mistä signaalin vaimentuminen ilmiönä johtuu?
2. Miten yleisimmät rakennusmateriaalit vaikuttavat langattomaan tiedonsiirtoon?
3. Minkälaisia ratkaisuja rakennuksen sisäisen kuuluvuuden parantamiseen on tarjolla?

## 4 Signaalin vahvistaminen

### 4.1 Signaalin voimakkuuden mittaaminen

Signaalin voimakkuutta mitattaessa käytetään termiä RSSI eli Received Signal Strength Indication tai RSRP eli Reference Signal Received Power. Signaalin voimakkuuden yleinen mittayksikkö on desibeli eli dB. RSSI-arvoa käytettäessä mittayksikkö on dB ja RSRP:stä käytetään tarkempaa yksikköä dBm. Arvon kasvaessa yhteys paranee. GSM-signaalia voidaan tulkita useilla voimakkuuteen ja laatuun liittyvillä parametreilla, kuten RSRP, RSRQ ja SINR. Kaikilla näistä parametreista on omat mittayksiköt. (Boiarynov 2024.)

Signaalin voimakkuuden luokittelussa käytetään usein viisiportaista RSRP-luokittelua. Useissa operaattoreiden myymissä päätelaitteissa ei saada tarkkaa RSSI-arvoa. Tällöin käytössä voi olla RSRP-arvo, jota kuvaa laitteessa olevat

signaalipalkit. Signaalipalkeilla mitattu signaalin taso ei ole tarkkuudeltaan erityisen luotettava. Jo yhden signaalipalkin sammuminen voi vaikuttaa käytettävään yhteyteen suuresti. Kuvassa 5 on esitelty yleisesti viisiportaisen 4G-päätelaitteen signaalitasoja. Kuvassa esitellyt viisi porrasta kuvaa laitteissa olevia signaalipalkkeja. (Vainio 2017.)

Signaalin voimakkuus RSRP	Yhteyden laatu	
-70 - (-79) dBm	Erittäin hyvä	Signaalissa ei häiriötä
-80 - (-89) dBm	Hyvä	Signaalissa vähän häiriötä
-90 - (-100) dBm	Keskitasoinen	Signaalissa kohtalaisia häiriötä
-101 - (-110) dBm	Huono	Signaalissa voimakkaita häiriötä
< -110 dBm	Erittäin huono tai ei yhteyttä	Pätkittäinen yhteys tai ei yhteyttä

Kuva 5. 4G-signaalin RSRP-arvot (Vainio 2017).

Signaalin voimakkuus on negatiivinen lukema. Kuvan 5 mukaisesti -100 dBm pienemmillä signaalin vahvuuksilla yhteys on huono. Yleisesti signaalin laskiessa -90 dBm alapuolelle kannattaa laitteen sijaintia tai erilaisia antennivaihtoehtoja kartoittaa. Oikeanlaisella antenniratkaisulla voidaan saavuttaa parempi yhteys. Mikäli kohde sijaitsee kaukana lähimmästä tukiasemasta, voi tilanne olla haasteellinen. (Vainio 2017.)

RSRQ eli Reference Signal Received Quality tarkoittaa solukohtaista signaalin laatua. Mobiiliverkon laitteet yhdistävät itsenäisesti eri solujen tukiasemiin, ja tämä arvo toimii yhtenä solun valintaperusteena. RSRQ, RSRP ja RSSI ovat arvoja, jotka ovat yhteydessä toisiinsa. Aihetta käsittelevässä tutkimuksessa osoitettiin, että kaikki signaalin laatuun ja voimakkuuteen vaikuttavat mittarit ovat merkittäviä. Yhteenvetona todettiin, että mitä puhtaampi signaali on, sitä enemmän yhteyden laatu kasvaa. (Afroz, Subramanian, Heidary, Sadrasegaran & Ahmed 2015.)

Ilmassa kulkee paljon erilaisia signaaleja ja ne voivat aiheuttaa häiriötä toisilleen. Häiriötä voi aiheuttaa myös ympäristötekijät, kuten kosteus ja lämpötila. Laitteen ja tukiaseman välisen signaalin suhdetta häiriöihin voidaan mitata SINR-arvolla eli Signal Interference Noise Ratio. SINR-arvo tarkoittaa signaalin voimakkuutta suhteessa ei toivottuun signaaliin. SINR-arvoa mitataan

desibeleillä. Suurempi desibeliarvo tarkoittaa puhtaampaa signaalia. SINR-arvoa voidaan parantaa valitsemalla vastaanottimiksi mahdollisimman kapeita taajuusalueita käyttäviä laitteita. Käytettävissä olevissa antennissa voidaan käyttää signaalisuodattimia, jotka suodattavat tiedonsiirtoalueiden ulkopuolista häiriösignaalia. (Sheldon & Burke 2021.)

## 4.2 Signaalin kattavuuden parantaminen

Verkon signaalin kattavuutta voidaan parantaa kahdella tavalla. Ne ovat tukiasemaverkoston tiivistäminen ja erilaiset sisäverkkoratkaisut. Uusilla kasvavilla taajama-alueilla operaattorit voivat kasvattaa tukiasemien peittoaluetta. Tukiasemainfrastruktuuria ohjaa Suomessa verkko-operaattorit. Verkko-operaattoreille ei lähtökohtaisesti ole kustannustehokasta rakentaa uusia tukiasemia yksittäisten signaalin kuluu ongelmista kärsivien rakennuksien läheisyyteen. (Traficom 2019.)

Tukiasemien sijoittamista ohjaa kaupunkien erilupakäytännöt. Tukiasemien rakentaminen vaatii signaalin lähettävien elementtien lisäksi paljon muutakin infrastruktuuria ympärilleen. Tämän vuoksi yksittäisten tukiasemien rakentamisessa pätee yleisesti Suomessa vallitsevat rakennusmääräykset ja kuntien lupakäytännöt. Uuden tukiaseman pystyttäminen voi myös kaatua erilaisten valitusten takia. Yksittäisille asuinalueille suunnitellut verkoston parantamishankkeet ovat kaatuneet jopa yksityisihmisten tekemiin valituksiin. (Traficom 2019.)

Mobiililaajakaistan toimivuuden kannalta on suositeltavaa hankkia mobiilireititin. Reitittimen sijainnilla voi olla suuri vaikutus yhteyteen. Pääsääntöisesti reititin sijoitetaan rakennuksessa tukiasemasta katsottuna lähimmälle seinälle tai lähimpään huoneeseen. Reitittimiin on mahdollista asentaa erilaisia antennia. (Traficom 2019.) Sisäverkossa reitittimen ja käytettävän laitteen välille voidaan luoda WLAN-yhteys tai kiinteä yhteys. Mikäli käytössä on langaton WLAN-yhteys, vaimenee langaton signaali huoneiden ja kerroksien välillä. (Boiarynov 2024.) Tämän vuoksi reititintä ei suositella sijoitettavaksi suljettavien kalusteiden sisälle, esimerkiksi sähkökeskuksen teleosaan (Gigantti 2024). Markkinoilla on myös mobiilireitittimiä, jotka voidaan asentaa ulos (Sant 2024).

Ulkoantennit ovat nimensä mukaisesti rakennuksen ulkopuolelle asennettavia antennia. Antennit suunnataan haluttua, usein lähintä, tukiasemaa kohti. Ulkoantenni voi olla suunta-antenni tai ympärisäteilevä antenni. Suunta-antenni on sopiva vaihtoehto, jos tarkoitus on vahvistaa vain yhden operaattorin palveluita. Ympärisäteilevä antenni on vahvistuskyvyltään heikompi ratkaisu, mutta se tarjoaa mahdollisuuden hyödyntää eri toimijoiden palveluja. (Traficom 2019.) Ulkoantenni voidaan kiinnittää suoraan kaapelilla esimerkiksi huoneiston sisällä olevaan modeemiin. Antennin toiminta perustuu sen kykyyn kerätä ja säteillä sähkömagneettista säteilyä eli radiosignaaleja. (Dai, Ng, Li & Wu 2011.)

Ulkoantennit ovat mobiililaitteiden sisäisten antennien tavoin yleensä MIMO- eli Multiple-input-Multiple-output antennia. Ne pystyvät lähettämään ja vastaanottamaan signaalia eri taajuuksialueilta. Antennin fyysinen koko vaikuttaa sen ominaisuuksiin. Mikäli alueella on käytössä paljon antennia sisältäviä laitteita tai fyysisiä antennia, täytyy antennien kokoa suhteuttaa ympäristöön. Antennien kehitys ja käyttö on lisääntynyt laajasti mobiiliverkkoteknologioiden kehittyessä. Ne tarjoavat usein kuluttajalle kustannustehokkaita ratkaisuja mobiiliyhteyden parantamiseen. (Sharawi 2023.)

Suunta-antennin käytöllä saavutetaan muita antennityyppejä parempi lähetys- ja vastaanottokyky. Lähetys- ja vastaanottokykyä parantaa se, että antenni on yhteydessä vain tiettyyn suuntaan. Tästä johtuen se voidaan kohdistaa valittuun tukiasemaan, jolloin tiedonsiirto aiheuttaa vähemmän häiriöitä muiden vastaanottimien signaaleihin. Suunta-antennilla saavutetaan myös kattavampi lähetysalue, mikä johtuu signaalien kohdistamisesta yhteen suuntaan. Lisäksi sillä on parempi antennivahvistus ja pienempi lähetystehon tarve kuin monisuunta-antennilla. Suunta-antennin mahdollistama parempi lähetysalue mahdollistaa paremman reitityssuorituskyvyn eli pienemmän viiveen. Suunta-antenneilla pystytään myös kohtuullisesti vähentämään SINR-häiriöitä. Tämä johtuu sen kyvystä vastaanottaa vain kohdistetusta suunnasta tulevaa signaalia. (Dai ym. 2011.)

Suunta-antenneja on kahdentyyppisiä. Ne ovat perinteinen ja älykäs suunta-antenni. Perinteinen suunta-antenni säädetään mekaanisesti osoittamaan

tiettyä kohdepistettä. Älykäs suunta-antenni koostuu puolestaan antennielementeistä. Elementeillä on digitaalinen signaalinkäsittelykyky, joka tukee antennin signaalin lähetystä ja vastaanottoa. Älykäs antenni on perinteiseen antenniin verrattuna tehokkaampi. (Dai ym. 2011.)

Ympärisäteilevä eli monisuunta-antenni vastaanottaa ja säteilee radiosignaaleja nimensä mukaisesti moneen eri suuntaan. Monisuunta-antenni on yleensä kohdistettu ylöspäin, kun taas suunta-antenni kohdistetaan usein vaakatasoon. Monisuunta-antenni toimii yhtä tehokkaasti kaikista suunnista tuleville ja säteileville signaaleille. Tämän vuoksi ympärisäteilevää antennia käytettäessä SINR-häiriöt voivat heikentää signaalin laatua. (Carr 2024.) Ympärisäteilevää antennia ei tarvitse erikseen suunnata, jolloin asentaessa ei tarvitse selvittää tukiasemien sijainteja. Ympärisäteilevä antenni kannattaa sijoittaa rakennuksen katolle, jotta se pystyy vastaanottamaan signaalia jokaisesta ilmansuunnasta. (Finnsat 2021).

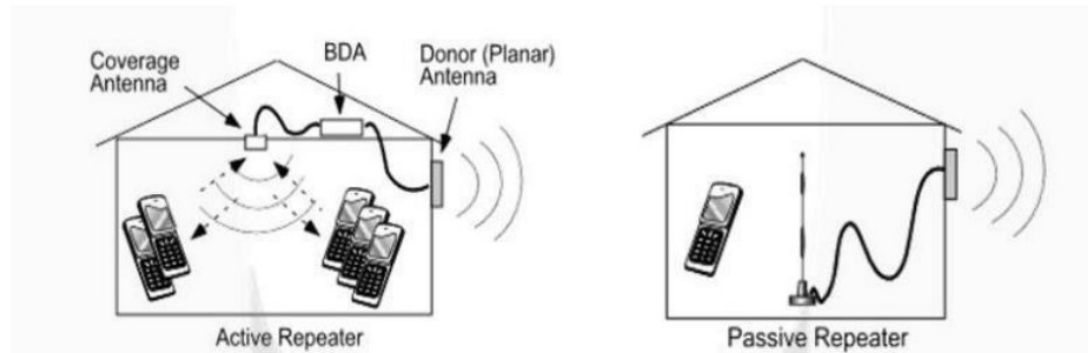
### **4.3 Aktiivinen ja passiivinen signaalin vahvistus**

Operaattorit tarjoavat asiakkailleen aktiivisia signaalinvahvistimia vastauksena verkonkuuluvuusongelmiin. Aktiivinen vahvistinyksikkö toimii vastaanottoantennin ja palveluantennin välillä vahvistaen signaalia. Vastaanottoantenni suunnataan kohti operaattorin tukiasemaa, ja palveluantenni rakennuksen sisällä kohti käyttöaluetta. Aktiivisella vahvistimella saadaan luotua vahva signaali käyttöalueelle. Aktiiviset vahvistinratkaisut toimivat luvanvaraisilla taajuuskaistoilla. Tämän vuoksi operaattorit myyvät ja hallinnoivat niiden myyntiä ja käyttöä, eikä operaattoreiden käyttämiä taajuuksia hallinnoiva Traficom myönnä lupia yksittäisille laitteille. (Niemelä, Asp & Sydorovasp 2012.) Edellä mainituista syistä johtuen aktiivinen signaalinvahvistin on pääsääntöisesti käyttäjälle kohtuullisen kallis investointi.

Signaalinvahvistin on elektroninen laite. Laitteen tehtävänä on vastaanottaa ja lähettää signaalia uudelleen suuremmalla teholla, jotta signaali saavuttaa laajempia alueita. Vahvistin koostuu vastaanottavasta antennista, vahvistimesta

ja lähettävästä antennista. Edellä mainitut laitteet voivat olla fyysisesti saman laitteen sisällä tai kuvan 6 mukaisesti kaapeleilla yhdistetyissä erillisissä yksiköissä. Tämä kuvan 6 mukainen aktiivinen signaalin vahvistaminen vähentää rakennuksen sisäistä kaapelointitarvetta laitteiden välillä. Vahva langaton signaali voi kuitenkin häiritä muita rakennuksen sisäisiä langattomia yhteyksiä. (Soim ym. 2021.)

Signaalin vahvistamista on mahdollista toteuttaa kuvan 6 mukaisesti myös passiivisilla antenniratkaisuilla. Passiivisessa signaalin vahvistuksessa vastaanotto- ja palveluantennin välille ei tule aktiivista vahvistinta, vaan antennit on yhdistetty toisiinsa kaapelilla. Vastaanottoantenni suunnataan kohti operaattorin tukiasemaa. Kuluttaja pystyy ostamaan tällaisia ratkaisuja vapaasti. Ilman aktiivista vahvistinta toimivat ratkaisut eivät kuitenkaan ole suorituskyvyltään yhtä tehokkaita, ja esimerkiksi elementtien välinen ylimitoitettu kaapelointi voi kumota saatavan hyödyn. (Niemelä, Asp & Sydorovasp 2012.)



Kuva 6. Aktiivinen ja passiivinen signaalin vahvistaminen (Soim ym. 2021).

#### 4.4 Rakennusvaiheessa käytettävät ratkaisut

RF-signaali eli radiosignaali kulkee rakennuksen rakenteiden läpi. Rakenteiden materiaali vaikuttaa signaalin vaimentumiseen. Vaimentumista eli radiosignaalin heikentymistä kuvataan yksiköllä desibeli. Rakennusten suunnittelu-, toteutus- ja korjausvaiheessa täytyy ottaa huomioon riittävä kuuluvuus rakennuksen sisällä. Paksut kivi- ja betoniseinät ovat voimakkaasti signaalia vaimentavia materiaaleja. Lähtökohtaisesti materiaalit, jotka sisältävät paljon metallia tai

metallipinnoitteita, ovat myös vaimennuksen kannalta ongelmallisia materiaaleja.

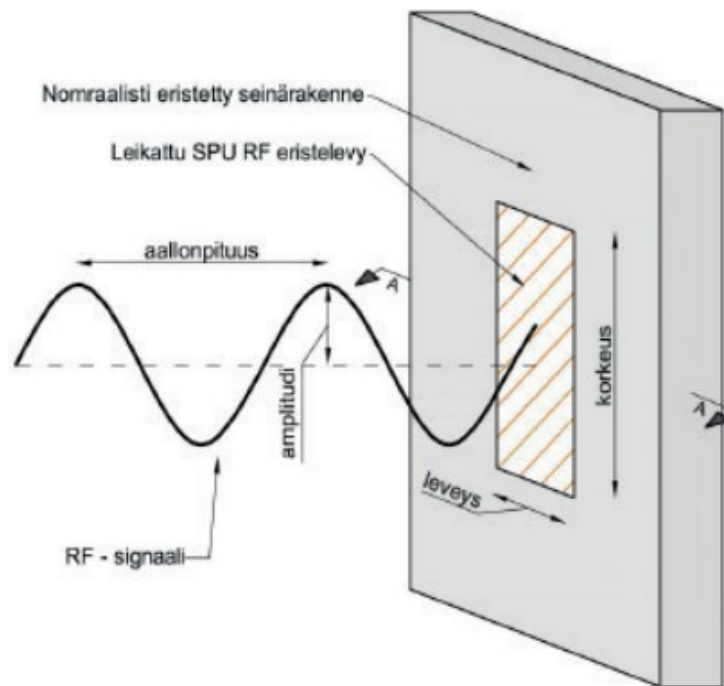
Rakenneratkaaisu	Tyypillinen vaimennus	Vaikuttavat tekijät
Puutalo	5...20 dB	metallikalvotukset
Rivitalo (betonirunko)	7...20 dB	keveiden rakennusosien käyttö
Kerrostalo (betonirunko)	20...35 dB	metallikalvotukset
Kerrostalo (matalaenergia)	25...40 dB	metallikalvotukset
Passiivitaloratkaaisu	10...40 dB	metallikalvotukset
Ikkunoiden vaihtaminen energiatehokkaiksi	3...20 dB	ympärysrakenne

Kuva 7. Yleisten rakennusmateriaalien signaalin vaimennusta (RT 80-11252, 2017).

Rakennushankkeen alkuvaiheessa voidaan tulevan rakennuksen paikalle suorittaa alustavia kuuluvuusmittauksia. Mittaukset ovat usein suuntaa antavia, mutta niillä voidaan ennakoida tulevia kuuluvuusongelmia. Jos alueella on jo lähtökohtaisesti huono verkon kuuluvuus, on se otettava huomioon rakennuksen suunnittelussa. Rakennusmateriaaleina voidaan käyttää vähemmän RF-vaimennusta aiheuttavia materiaaleja. Tämä vaihtoehto toimii kaikkien operaattoreiden palveluja parantavana toimenpiteenä.

Rakennusmateriaalien vaihtaminen tai korvaaminen jollain signaalia vähemmän vaimentavalla materiaalilla kasvattaa kuitenkin usein rakentamiskustannuksia. (RT 80-11252, 2017.)

Rakennukseen voidaan suunnitella RF-aukkoja. RF-aukko tarkoittaa yhtenäiseen ja paljon vaimentavaan rakenteeseen tehtyä aukkoa. Se tehdään materiaalista, joka vaimentaa signaalia vähemmän. Tällainen voi olla esimerkiksi kuvan 8 mukainen betoniseinärakenteeseen tehty puurakenteinen osa. On kuitenkin huomioitava, että RF-aukkojen lisäämisellä saattaa olla vaikutusta rakenteiden äänieristykseen. (Saarinen 2013.)



Kuva 8. RF-signaaliaukko betonirakenteessa (Saarinen 2013).

Ikkunat ovat rakennuksen energiatehokkuuden kannalta tärkeimpiä huomioon otettavia asioita. Niiden merkitys on kasvanut, koska rakentamisen trendeissä näkyy vahvasti ikkunapinta-alan kasvu. Energiatehokkuuden takia erilaiset selektiivilasit ja selektiivipinnoitteita sisältävät ikkunat ovat nykyisin yleistyneet. Ne kuitenkin vaikuttavat negatiivisesti rakennuksien sisäkuuluvuuteen. Tämä johtuu ikkunalasin pintaan asetetusta ohuesta metallipinnoitteesta, jonka tarkoitus on estää lämmön karkaamista ikkunoiden läpi. Selektiivilasien lisäksi markkinoilla on edelleen tarjolla sellaisia ikkunaratkaisuja, joilla sisäkuuluvuutta voidaan parantaa. (Pihla 2024.) Tällaisiin ikkunaratkaisuihin voi olla hyvä tutustua erityisesti silloin, kun rakennuskohde sijaitsee kuuluvuusongelmista kärsivällä alueella.

Ikkunavalmistajat ovat kehittäneet selektiivilasien aiheuttamiin signaalin vaimenemisongelmiin erilaisia ratkaisuja. Ikkunavalmistaja Pihla Group Oy on kehittänyt kuvan 9 mukaisen patentoidun ratkaisun, joka on antennilasi. Antennilasin pinnoitteeseen on uurrettu antennikuvio, jonka tehtävänä on päästää radiosignaali lasin lävitse. Valmistajan mukaan antennilasit toimivat kaikilla taajuualueilla. (Pihla 2024.)





Kuva 9. Pihla Group Oy:n patentoima antennilasi (Pihla 2024).

#### 4.5 Määräykset ja ohjeistukset

Useat eri säädökset ja määräykset koskevat rakennuksien sisäverkkoja ja sisäkuuluvuutta. Tällaisia ovat esimerkiksi maankäyttö- ja rakennuslaki, sähköisen viestinnän palveluita koskeva laki ja pelastuslaki. Tässä osiossa käsitellään muutamia kohtia edellä mainituista laeista.

Maankäyttö- ja rakennuslailla ohjataan alueiden käyttöä ja rakentamista. Sen tavoitteena on luoda toimiva elinympäristö. Operaattoreiden verkkoinfrastruktuurin rakentamista ohjataan rakennuslailla. Toimiva elinympäristö tarkoittaa myös toimivia operaattoriverkkoja. (Ympäristöministeriö 2024.) Lain mukaan rakennuksessa, jossa on asuin-, majoitus- tai työtiloja, tulee olla huomioitu tekniset ratkaisut, jotka mahdollistavat edellytykset matkaviestien sisätilakuuluvuudelle (Maankäyttö- ja rakennuslaki (812/2017) § 117 j.).

Operaattoreiden toimintaan vaikuttaa merkittävästi laki sähköisen viestinnän palveluista. Sen tarkoituksena on edistää kilpailua, ja varmistaa, että viestintäverkkojen käyttö on sähköisen viestinnän kannalta turvallista. Lailla ohjataan operaattoreiden kaupallista toimintaa. Se määrittää verkon haltijan ja ylläpitäjän vastualueet, joiden avulla luodaan kuluttajalle toimivia mobiiliverkkoyhteyksiä. Lain nojalla operaattoreilla on oikeus hyödyntää kiinteistöjen vapaata sisäverkkokapasiteettia. Se myös velvoittaa

viestintäpalveluja tarjoavia yrityksiä siten, että niiden tulee mahdollistaa palvelun käyttömäärän maksuton seuraaminen, jos palvelua laskutetaan käytön mukaan. (Laki sähköisen viestinnän palveluista 917/2014, 1–4.)

Viranomaisverkon toiminta on oltava mahdollista kaikissa viranomaisten näin vaatimissa rakennuksissa. Tämän vuoksi pelastuslaissa on erikseen kirjattu pelastusviranomaisten määräysvallasta mobiiliverkkopalveluja koskien. Laissa mainitaan pelastusviranomaisen määräysvallasta, joka astuu voimaan tilanteessa, jossa viranomaisverkon toiminta ei ole riittävällä tasolla rakennuksen sisällä. Tällöin pelastusviranomaisen voi velvoittaa kiinteistön omistajaa tekemään tarvittavat toimenpiteet, jotta viranomaisverkon käytettävyys ja toiminta onnistuu rakennuksessa. Pelastusviranomaisten määräyksen mukaisesti tehdyt verkon kuuluvuutta parantavat ratkaisut ovat kiinteistön omistajan vastuulla. (Pelastuslaki 1353/2018 §, 109.)

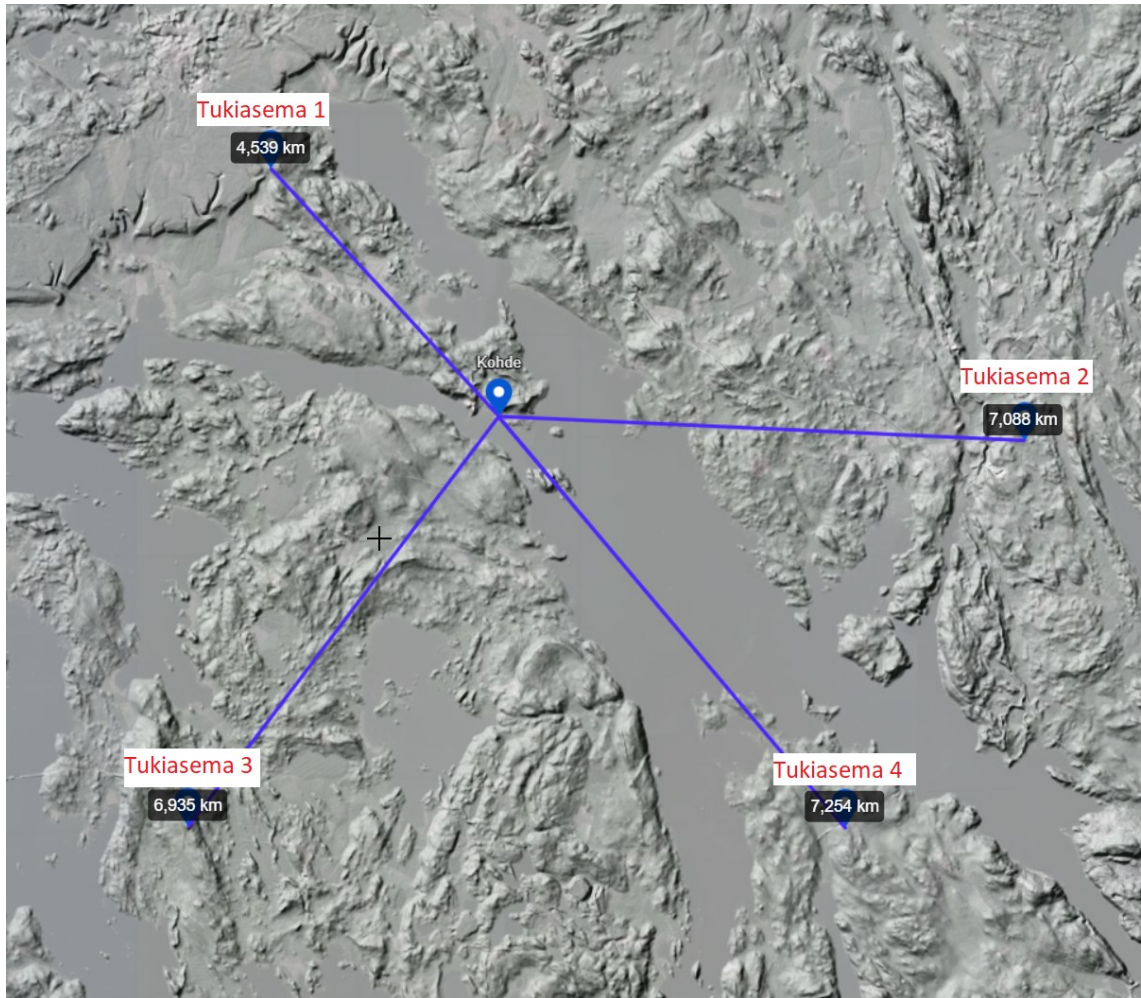
#### **4.6 Signaalin kuuluvuusongelma omakotitalossa**

Signaalin kuuluvuusongelmien huomioon ottaminen rakennushankkeessa on erityisen tärkeää. Tässä osiossa esitellään rakennushanke, jossa mobiiliverkon kuuluvuus rakennuksen sisällä oli heikko. Kohteena on Etelä-Karjalassa sijaitseva vuonna 2023 valmistunut omakotitalo. Rakennus on noin 120 neliön yksikerroksinen omakotitalo. Siinä on paljon ikkunapinta-alaa, ja se on toteutettu tiiviillä ja tehokkailla eristysmateriaaleilla.

Tontilla sijaitti aiemmin kevyteristeinen loma-asunto. Loma-asunnon sisällä mobiiliverkon kuuluvuudessa ei ollut havaittu merkittävää eroa rakennuksen ulkopuoliseen yhteyteen verrattaessa. Uudessa rakennuksessa havaittiin kuuluvuusongelmia, jotka ilmenivät puhelujen katkeamisina ja nettiyhteyden hitaana toimintana. Rakennuksen sisäiset signaalin kuuluvuusongelmat havaittiin niin myöhään, että rakennusmateriaaleilla tehtävät vahvistusratkaisut eivät olleet enää helposti toteutettavissa.

Rakennuksen sijaintia suhteessa tukiasemiin esitetään kuvassa 9 olevalla kohdemerkillä. Kuvasta nähdään, että tontti sijaitsee noin 4 500 metrin päässä lähimmästä tukiasemasta. Tontilla käytiin ammattilaisten toimesta

suorittamassa signaalinvahvuusmittauksia. Mittauksien jälkeen todettiin, että parhain signaali tulee tukiasemasta 2. Kuva 10 osoittaa kohteen lähimaastoissa olevien tukiasemien sijainnin ja etäisyyden kohteeseen. Tukiaseman 2 ja kohteen välillä on vähiten maastoesteitä, ja tukiasema sijaitsee kohdetta kohti laskevan rinteen päällä. Tukiasemat 1–4 ovat suomen yhteisverkkojen ylläpitämiä.



Kuva 10. Heikosta signaalista kärsivä kiinteistö suhteessa lähialueen tukiasemiin (mukaillen Maanmittauslaitos 2024).

Signaalinvahvistukseen valittiin suunta-antenni. Rakennuksen päädyssä olevaa antenniputkea jatkettiin, ja GSM-antenni sijoitettiin kuvan 11 mukaisesti noin 10 metrin korkeudelle maanpinnasta. Antennin sijoituskorkeudella oli kohteessa suuri merkitys signaalin voimakkuuteen. Tämä johtuu kuvassa 10 näkyvistä maanpinnan korkeuden vaihteluista tukiaseman ja kohteen välillä. Antenniputkessa oli myös TV-signaalia vastaanottava antenni. TV-signaalia

vastaanottavaan antenniin oli sijoitettu häiriösignaalia leikkaava suodin, joka mahdollistaa kuvan 11 mukaisen antennien sijoittamisen.



Kuva 11. GSM suunta-antenni mastoputkessa (Kuva: Eetu Löppönen 2024).

Rakennuksen sisälle sijoitettiin signaalinvahvistin ja palveluantenni. Laitteiden välit kaapeloitiin koaksiaalikaapelilla. Laitteet sijoitettiin siten, että niiden välinen kaapelimatka saatiin minimoitua. Käytetty vahvistin on Stella Doradus iRepeater, jolla pystytään samanaikaisesti vahvistamaan useita eri taajuusalueita. Palveluantenni sijoitettiin rakennuksen sisällä keskeiselle paikalle, jolla mahdollistettiin mobiiliverkon kuuluvuus tasaisesti rakennuksen sisällä. Rakennuksen sisäverkko toteutettiin kohteessa mobiiliverkkoon liitettävällä modeemilla. Järjestelmä on suunnattu yhden toimijan tukiasemaan, joten sen optimaalinen hyödyntäminen vaatii kyseisen toimijan liittymien käyttöä. Käytetyt laitteet vahvistavat kaikkien operaattoreiden signaalia.

## 5 Yhteenveto ja johtopäätökset

Rakennusmääräysten muutokset ovat lisänneet signaalin vahvistuksen tarvetta viime vuosina. Signaalinvahvistuksen tarvetta lisää myös langattomassa tiedonsiirrossa käytettävien taajuusalueiden siirtyminen uusille taajuusalueille. Taajuusalueen muutokset vaikuttavat verkko-operaattoreiden verkkoinfrastruktuuriin. Nämä muutokset tulevat lisäämään tukiasemien määrää. Suomessa signaalin kuuluvuusongelmiin vaikuttaa eniten käytetyt signaalinlähetystaajuudet. Korkeammilla taajuuksilla ongelmat lisääntyvät, mikä näkyy etenkin 5G-liittymissä.

Tässä opinnäytetyössä on tarkasteltu signaalin vahvistamiseen liittyviä tekijöitä. Signaalin kuuluvuutta pystytään parantamaan operaattoriverkkoa tiivistämällä. Tukiasemien määrä kasvaa verkko-operaattorien toimesta alueilla, joilla on kasvava ja lisääntyvä rakennuskanta. Verkko-operaattorit kehittävät verkkoja markkinaehtoisesti. Yksittäisten kiinteistöjen tapauksissa operaattorit voivat tarjota kuluttajille liittymän yhteyteen myös antenniratkaisuja. Kuluttajan kannattaa olla aktiivinen ja tutkia itsenäisesti eri operaattoreiden tukiasemien sijainteja. Toisella palveluntarjoajalla voi olla kiinteistölle toimivampi liittymäratkaisu.

Kuuluvuusongelmista kärsivän kuluttajan tulee osata ottaa huomioon monia eri signaalin kuuluvuuteen liittyviä asioita. Yksi keskeinen asia on kiinteistön sijainti suhteessa käytössä olevan palveluntarjoajan tukiasemaan. Rakennukselle parhaan signaalin vahvistamisratkaisun löytäminen vaatii laitteiston ja sen käyttötarkoituksen optimoimista. Edellä mainitut asiat tulevat esiin myös työssä esitellyssä esimerkkitapauksessa. Usein passiiviset ratkaisut eivät tuota haluttua tulosta ja aktiivisten ratkaisujen hankintakustannukset voivat olla huomattavia. Aktiiviset ratkaisut vaativat myös ammattilaisen asennuksen ja käyttöönoton. Toisaalta myös passiivisten ratkaisujen asentamisessa suositellaan käyttämään ammattilaista.

Tutkimusta arvioidaan tutkimuksen luotettavuuden kautta. Luotettavuutta tarkastellessa keskeistä on validius ja reliabelius. Ne sopivat kuitenkin paremmin määrällisen eli kvantitatiivisen tutkimuksen arviointiin. Laadullisessa

tutkimuksessa tutkimuksen luotettavuus on validiutta ja reliaabeliutta laajempi kokonaisuus. Tutkimuksen luotettavuuteen on vahvasti yhteydessä tutkijan huolellinen perehtyminen tutkittavaan ilmiöön sekä eri näkökulmien huomioon ottaminen. Luotettavuuden arviointia helpottaa tutkimusprosessin tarkka kuvaus. (Puusa & Juuti 2020, 11.) Tässä opinnäytetyössä on pyritty luotettavuuteen perehtymällä mahdollisimman laajasti erilaisiin signaalin vahvistamiseen liittyviin tekijöihin. Osoituksena aiheeseen perehtymisestä on erilaisten näkökulmien esiin tuominen ja niiden arvioiminen kriittisesti. Tutkimusprosessi on myös pyritty kuvaamaan selkeästi, jotta luotettavuuden arviointi on mahdollista.

Langattoman tiedonsiirtoverkon toimintaa ohjataan useilla eri laeilla. Työssä tarkastellaan lyhyesti keskeisiä lakeja ja säädöksiä, jotka ohjaavat verkko-operaattoreiden toimintaa Suomessa. Kaikkien lakien esitleminen opinnäytetyön rajaukset huomioon ottaen ei ole mahdollista. Opinnäytetyössä ei myöskään ole mahdollista käsitellä kaikkien rakennusmateriaalien vaikutuksia signaalin voimakkuuteen. Tässä työssä on käsitelty ainoastaan yleisimpiä kuuluvuusongelmien aiheuttajia ja niiden ratkaisuvaihtoehtoja.

Opinnäytetyön aihe tarjoaa useita jatkotutkimusmahdollisuuksia, jotka syventäisivät ymmärrystä signaalin vahvistamisesta. Tässä työssä rakennusmateriaalien vaikutusta kuuluvuuteen on käsitelty hyvin lyhyesti opinnäytetyön rajaukset huomioon ottaen. Tästä johtuen rakennusmateriaalien vaikutuksesta signaalin voimakkuuteen tarvittaisiin lisää tutkimusta. Myös laajempi vertailu eri antennityyppien välillä toisi tärkeää lisätietoa aiheesta. Tutkimus olisi myös myöhemmin hyvä laajentaa koskemaan 6G-verkkoa, joka on rajattu tämän työn ulkopuolelle.

## Lähteet

- 5G-liittymä.fi. 2024. Kuuluvuuskaartta ja tukiasemat kartalla. <https://5g-liittyma.fi/kuuluvuuskaartta-ja-tukiasemat/>. 16.1.2024.
- Afroz, F., Subramanian, R., Heidary, R., Sadrasegaran, K. & Ahmed, S. 2015. SINR, RSRP and RSRQ Measurement in Long Term Evolution Networks. *International Journal of Wireless & Mobile Networks* 7(4), 113–123.
- AMTA. 2024. How mobile networks work. <https://amta.org.au/1041-2/>. 13.1.2024.
- Becker, F. 2023. Kiinteä vs 4G/5G-mobiililaajakaista kumpi parempi? Broadband4europe. <https://www.broadband4europe.com/fi/kiinteä-laajakaista-vs-mobiililaajakaista/>. 22.1.2024.
- Boiarynov. 2024 Signaalin laatu [LTE/5G] -LTE- ja 5G signaalin laatuparametrit. <https://support.zyxel.eu/hc/fi/articles/360005188999-Signaalin-laatu-LTE-5G-LTE-ja-5G-signaalin-laatuparametrit>. 12.2.2024.
- Carr, J. 2024. Directional or Omnidirectional Antenna? Universal Radio Research.
- Dai, H., Ng, K., Li, M. & Wu, M. 2011. An overview of using directional antennas in wireless networks. *International Journal of Communications Systems* 26(4), 413–448.
- DNA. 2021. Kun 4G otettiin käyttöön, suomalaisille naureskeltiin maailmalla – DNA:n johtaja kertoo, kuinka nauru muuttui lopulta ihmettelyksi ja miksi Suomi on nyt 5G:n edelläkävijä – ja luopumassa vanhasta teknologiasta. <https://urly.fi/3pOT>. 12.1.2024.
- Elisa. 2023. ”Ryhdy langattomaksi” – näistä asioista historiaan siirtynyt 3G-verkko muistetaan. <https://elisa.fi/yhtiotieto/uutishuone/tiedotteet/%E2%80%9Dryhdy-langattomaksi%E2%80%9D-%E2%80%93n%C3%A4ist%C3%A4-asioista-historiaan-siirtynyt-3g-verkko-muistetaan/54290657907019/>. 9.1.2024.
- Elisa. 2024a. Itsenäinen 5G on täällä- tarjolla vakaampi ja viiveettömämpi netti. <https://elisa.fi/ideat/itsenainen-5g-on-taalla-tarjolla-vakaampi-ja-viiveettomampi-netti/>. 18.2.2024.
- Elisa. 2024b. Lähiverkko- ja WiFi-ratkaisut. [https://yrityksille.elisa.fi/lahiverkot?gad\\_source=1&gclid=Cj0KCQiAoeGuBhCBARIsAGfKY7yU4skIPFZIZ0wptzCekE3kFETdSCIK0MHyqqEoZLRHTUi8VpxcFpwaAkx6EALw\\_wcB](https://yrityksille.elisa.fi/lahiverkot?gad_source=1&gclid=Cj0KCQiAoeGuBhCBARIsAGfKY7yU4skIPFZIZ0wptzCekE3kFETdSCIK0MHyqqEoZLRHTUi8VpxcFpwaAkx6EALw_wcB). 18.2.2024.
- El-Shorbagy, A. 2021. 5G Technology and the Future of Architecture. *Procedia Computer Science* 182, 121-131.
- Erillisverkot. 2024. Uuden sukupolven Virve kehitty yhteistyössä organisaatioiden kanssa. <https://www.erillisverkot.fi/virve2-0/>. 7.2.2024.
- European Commission. 2022. 5G: Questions and answers. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/faqs/5g-questions-and-answers#ecl-inpage-5g-networks-and-technology>. 29.1.2024.
- FINNSAT. 2021. Mitä tarkoittaa ympärisäteilevä 5G tai 4G antenni? <https://www.finnsat.fi/news/104/mita-tarkoittaa-ymparisateileva-5g-tai-4g--antenni>. 18.2.2024.
- Gigantti. 2024. Opas: Kuinka sijoittaa WIFI-reitin oikein. [Opas: Kuinka sijoittaa WiFi-reitin oikein - Gigantti verkkokauppa](https://www.gigantti.fi/opaas-kuinka-sijoittaa-wifi-reitin-oikein). 24.3.2024.



- Jasso, A. 2022. 5G Frequency bands explained. Wilson Amplifiers. <https://www.wilsonamplifiers.com/blog/5g-frequency-bands-explained/>. 15.1.2024.
- Kannisto, O. & Kangasniemi, H. 2022. Laajakaistanasto: mesh, RJ-45 ja SSID, tiedätkö termien merkityksen? Elisa. <https://elisa.fi/ideat/laajakaistanasto/>. 17.1.2024.
- Kauppinen, A. 2021. Uusi 5G- teknologia tekee arjesta turvallisempaa ja toimivampaa. Erillisverkot. <https://www.erillisverkot.fi/uusi-5g-teknologia-tekee-arjesta-turvallisempaa-ja-toimivampaa/>. 16.2.2024.
- Kilki, K. 2018. Informaatioteknologian perusteet. Aalto-yliopisto. [https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/889534/mod\\_resource/content/8/Informaatioteknologian%20perusteet.pdf](https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/889534/mod_resource/content/8/Informaatioteknologian%20perusteet.pdf). 22.1.2024.
- Laine-Lassila, S. 2018. Langattomat sukupolvet 1G, 2G, 3G, 4G, 5G. FiCom. <https://ficom.fi/ajankohtaista/uutiset/langattomat-sukupolvet-1g-2g-3g-4g-5g/>. 19.1.2024.
- Laki sähköisen viestinnän palveluista 917/2014.
- Liikenne- ja viestintäministeriö. 2013. Matkaviestinverkon kuuluvuusongelmat matalaenergiarakennuksissa -työryhmän raportti.
- Liikenne- ja viestintäministeriö. 2023. Teleyritysten toimilupien ehdot muuttuvat: Velvoite ylläpitää 2G-teknologiaa jatkuu vuoden 2029 loppuun. <https://valtioneuvosto.fi/-/1410829/teleyritysten-toimilupien-ehdot-muuttuvat-velvoite-yllapitaa-2g-teknologiaa-jatkuu-vuoden-2029-loppuun>. 6.2.2024.
- Line Carrier. 2022. Matkapuhelinverkon palvelut - Onko operaattoreissa eroa? <https://www.linecarrier.fi/artikkelit/matkapuhelinverkon-palvelut/>. 25.1.2024.
- Lähdetluoma, M. 2022. Virve harppaa radiopuhelimesta älypuhelimeen - tällainen on elintärkeä viranomaisverkko, jonka kautta kulkee 74 miljoonaa viestiä viikoittain. Yle. <https://yle.fi/a/3-12593038>. 23.2.2024.
- Niemelä, J., Asp, A. & Sydorovasp, Y. 2012. Radiosignaalin vaimennusmittauksia nykyaikaisissa asuintaloissa. Tampereen teknillinen yliopisto.
- Maankäyttö- ja rakennuslaki 812/2017.
- Maanmittauslaitos. Karttapaikka. <https://asiointi.maanmittauslaitos.fi/karttapaikka/>. 6.3.2024.
- Pelastuslaki 1353/2018.
- Pihla. 2024. Pihla antennilasi. <https://www.pihla.fi/antennilasi/>. 29.1.2024.
- Puusa, A. & Juuti, P. 2020. Laadullisen tutkimuksen näkökulmat ja menetelmät. Gaudeamus Oy.
- Saarinen, S. 2013. Kännykkäkuuluvuus rakennuksessa on monen asian summa. Betoni-lehti 1, 70–74.
- Salminen, A. 2024. Mikä kirjallisuuskatsaus? Johdatus kirjallisuuskatsauksen tyyppeihin ja joihinkin hallintotieteellisiin sovelluksiin. Vaasan yliopisto.
- Sharawi, S. 2013. Printed Multi-Band MIMO Antenna Systems and Their Performance Metrics. IEEE Antennas and Propagation Magazine 55(5), 218–232.
- SANT. 2024. Pientalon antenniopas. Suomen antenni- ja teleurakoitsijaliitto ry.
- Sheldon, R. & Burke, J. 2021. Signal-to-noise ratio (S/N or SNR). <https://www.techtarget.com/searchnetworking/definition/signal-to-noise-ratio>. 13.2.2024.



- SITOWISE. 2020. Viestintäverkkojen kustannusselvitys.  
<https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/publication/Traficom%20Liikenne12%20viestint%C3%A4verkkojen%20kustannusselvitys.pdf>. 15.1.2024.
- Soim, S., Handayani, A., Hesti, E., Ciksadan, C., Husni, N., Hasan, A. & Rivaldo, R. 2021. Desing and Configuration of 4G Repeater Booster Device at 1800MHZ. Atlantis Highlights in Engineering 9(5), 331–338.
- Suomen yhteisverkko. 2024. Mikä on suomen yhteisverkko.  
<https://yhteisverkko.fi/suomen-yhteisverkko/>. 16.1.2024.
- Tolvanen, P. 2014. 4G ei takaa nopeaa nettiä. Yle. <https://yle.fi/a/3-7023655>. 18.1.2024.
- Traficom. 2019. Opas matkapuhelinverkkojen sisätilakuuluvuudesta. Traficomin julkaisuja.
- Traficom. 2021. Matkaviestiverkon toimivuus.  
<https://www.traficom.fi/fi/viestinta/laajakaista-ja-puhelin/matkaviestinverkon-toimivuus>. 13.1.2024.
- Traficom. 2022. Määräys 65 E/2022 kiinteistön sisäverkoista ja teleurakoinnista.  
<https://www.traficom.fi/fi/saadokset/maarays-65-kiinteiston-sisaverkoista-ja-teleurakoinnista>. 18.2.2024.
- Ussa, E. 2020. 5G-verkkojen aika on nyt alkanut suomessa. Teoksessa Poikonen, V. (toim.) Tele-, Turva- ja RAU- Urakointi käytännössä 2021. Espoo: Henkilö- ja yritysarvionti SETI Oy, 8–13.
- Vainio, S. 2017. Mistä tiedän onko nettiyhteyteni hyvä? Tele-tukku.  
<https://shop.tele-tukku.fi/ajankohtaista/mista-tiedan-onko-nettiyhteyteni-hyvalaatuinen/>. 11.2.2024.
- Vilka, H. 2023. Kirjallisuuskatsaus metodina, opinnäytetyön osana ja tekstilajina. Art House Oy.
- West, P., Fagerström, N. & Siironen, S. 2020. 4G-yhteydet ovat hitaampia kuin muutama vuosi sitten ja paikalliset erot ovat valtavia - Katso, kuinka nopea nettiyhteys on kotikunnassasi. <https://yle.fi/a/3-11174191>. 11.2.2024.
- Yli-Korhonen, J. 2024. Teleoperaattoreiden verkkojen kattavuus Suomessa. Puhelinliitymät.net. <https://xn--puhelinliitymt-elb.net/teleoperaattoreiden-verkkojen-kattavuus-suomessa/>. 16.2.2024.
- Ympäristöministeriö. 2024. Maankäyttö- ja rakennuslaki.  
<https://ym.fi/maankaytto-ja-rakennuslaki>. 31.3.2024.