Tampereen ammattikorkeakoulu

Sähkömagneettisen säteilyn läpäisy eri rakennusmateriaaleissa

Kinnunen Lauri

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2023

Tieto- ja viestintätekniikka
Tietoliikennetekniikka ja tietoverkot

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tieto- ja viestintätekniikan tutkinto-ohjelma
Tietoliikennetekniikka ja tietoverkot

KINNUNEN, LAURI:
Sähkömagneettisen säteilyn läpäisy eri rakennusmateriaaleissa

Opinnäytetyö 52 sivua, joista liitteitä 3 sivua
Huhtikuu 2023

Energiatehokkaan uudis- ja saneerausrakentamisen yleistyttyä matkaviestinverkkojen sisäkuuluvuus rakennuksissa on heikentynyt. Opinnäytetyön päämääränä oli selvittää eri rakennusmateriaalien sähkömagneettisen säteilyn läpäisyvaimennukset ja esittää ratkaisuja sisäkuuluvuusongelmiin.

Opinnäytetyössä on neljä osa-aluetta, joista kolme ensimmäistä on kirjallisuustutkimuksia. Ensimmäisessä osassa on selvitetty, miten sähkömagneettinen puheensiirto on saanut alkunsa ja mitkä ovat matkaviestinverkkojen kehitysvaiheet NMT-matkapuhelinverkoista 5G-matkaviestinverkkoihin asti. Toisessa osassa esitellään yleisimpien rakennusmateriaalien käyttökohteita rakentamisessa. Kolmas osa käsittelee rakennusmateriaalien signaalien vaimennuksia eri taajuusalueilla ja erilaisia rakenteellisia ratkaisuja sisäkuuluvuuksien parantamiseksi. Viimeisessä osassa on tutkittu sähkömagneettisen säteilyn läpäisyvaimennus 50 mm paksusta Kingspan Therma TP10 -lämmöneristyslevystä tehdystä ilmatiiviistä laatikosta. Mittaus on toteutettu Tampereen ammattikorkeakoulun häiriösuojatussa tilassa.

Opinnäytetyön tuloksien mukaan uusien energiatehokkaiden talojen, joissa on käytetty SPU-eristelevyjä ja selektiivilaseja, signaalien vaimennukset ovat vähintään 20 desibeliä. Teräsbetonista rakennetussa kerrostalossa, jossa on selektiivilasit, signaalien vaimennukset ovat pienimmillään 30 desibeliä.

Uusien rakennusten suunnitteluvaiheessa pitäisi ottaa huomioon, että tulevaisuudessa matkaviestinverkkojen taajuudet menevät korkeammille taajuusalueille ja energiatehokas rakentaminen tulee lisääntymään. Rakennusvaiheessa voitaisiin mm. ulkovaippaan jättää RF-aukkoja, sijoittaa rakenteisiin passiivisia toistimia sekä jättää suojaputkivaraus, jos tulevaisuudessa on tarve tuoda tukiasema rakennuksen sisään sisäpeiton parantamiseksi.

Asiasanat: sähkömagneettinen säteily, läpäisy, vaimennus, rakennusmateriaali, SPU-eristelevy

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in ICT Engineering
Telecommunications and Networks

KINNUNEN, LAURI:
The Propagation of Electromagnetic Radiation through Different Building Materials

Bachelor's thesis 52 pages, appendices 3 pages
April 2023

As energy-efficient new and renovation construction has become more common, the indoor coverage of mobile networks has weakened. The aim of this thesis was to investigate the electromagnetic radiation attenuation of different building materials and present solutions to indoor coverage problems.

The thesis is divided into four parts, the first three of which are literature reviews. The first part explains how electromagnetic speech transmission originated and the development stages of mobile networks, from NMT mobile networks to 5G mobile networks. The second part presents the uses of the most common building materials in construction. The third part deals with the signal attenuations of building materials in different frequency ranges and presents different structural solutions to improve the indoor coverage. In the last part, the attenuation of electromagnetic radiation through an airtight box made of 50-mm thick Kingspan Therma TP10 insulation board has been investigated.

According to the results of the thesis, the attenuation of signals in new energy-efficient buildings using SPU insulation boards and selective glasses is at least 20 decibels.

Finally, it has been considered how energy-efficient construction and the coverage provided by mobile networks could go hand in hand in the future.

Key words: electromagnetic radiation, propagation, attenuation, building material, SPU-insulation board

SISÄLLYS

1 JOHDANTO 7
2 TAUSTAA 8
2.1. Langattoman tiedonsiirron kehitys 9
2.1.1 ARP-verkko 11
2.1.2 NMT-verkko 11
2.1.3 GSM 13
2.1.4 Hajaspektritekniikan matkaviestinverkot 13
2.1.5 UMTS 14
2.1.6 LTE 15
2.1.7 5G 16
3 RAKENNUSMATERIAALIT 18
3.1. Betoni 19
3.2. Puu 19
3.3. Tiili 20
3.4. Teräs 21
3.5. Väliseinät 21
3.6. Peltikatto 21
3.7. Tiilikatto 22
3.8. Huopakatto 22
4 RAKENNUSMATERIAALIEN VAIMENNUS 23
4.1. Selektiivilasit 24
4.2. Matkaviestinverkkojen sisäkuuluvuus rakennuksissa 26
4.2.1 SPU-eristeinen talo 27
4.2.2 RF-aukko 27
4.2.3 Sisäantenniverkko 27
4.2.4 Antennilasi 28
4.2.5 Passiivinen toistin 29
5 MITTAUSMENETELMÄT 31
5.1. Mittaus ympäristö 34
5.2. Mittalaitteet 34
6 MITTAUSTULOKSET 37
7 YHTEENVETO 39
LÄHTEET 44
LIITTEET 50

Liite 1. Havainnekuva matkaviestinverkkojen peittoalueiden toteutuksesta tulevaisuudessa. 50
Liite 2. Antennilasin toimintaperiaate ja laboratoriomittaustulokset. 51
Liite 3. Antennilasin vaimennus, tuoteominaisuudet ja yleisohje. 52

LYHENTEET JA TERMIT

ARP	Autoradiopuhelin
bps	Tiedonsiirtonopeus, bittiä per sekunti
CDMA	Code Division Multiple Access, koodijakokanavointi radiotien kanavanvaraustekniikassa
dB	Desibeli on dimensioton yksikkö, joka vertailee tehosuureiden suhteita logaritmisella asteikolla
dBm	Vertailee tehosuureiden suhteita logaritmisella asteikolla, kun referenssinä on yksi milliwatti
FDD	Frequency Division Dublex, päätelaitteella ja tukiasemalla on omat 5 MHz:n taajuusalueet myötä- ja paluusuunnalle
FF-PIR	Finnfoam:in valmistama alumiinipintainen lämmöneristelevy
GSM	Global System for Mobile Communications on digitaalinen matkapuhelinjärjestelmä
ITU	International Telecommunication Union, kansainvälinen televiestintäliitto
Mcps	Mega Chips Per Second, levityskoodin bittinopeus WCDMA-järjestelmässä
M2M	Machine-to-Machine, koneiden välinen kommunikointi ja koneiden väliseen tiedonsiirtoon tarkoitetut M2M-liittymät
NMT	Nordisk Mobiltelefon oli pohjoismaiden yhteinen analoginen radiopuhelinverkko
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access, modulointitekniikka, joka mahdollistaa tiedonsiirron usealla käyttäjällä samanaikaisesti
SC-FDMA	Single Carrier Frequency Division Multiple Access, modulointitekniikka, jossa OFDM-lähete muistuttaa yksittäistä kantoaaltoa
TDD	Sama taajuusalue, jossa siirto tapahtuu vuorosuuntaisesti
TDMA	Time Division Multiple Access on GSM-verkoissa käytetty radiotien kanavan varaustekniikka
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access on UMTS-verkoissa käytettävä radiorajapinta

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä käydään läpi, kuinka sähkömagneettinen puheensiirto on saanut alkunsa ja sen kehitys vuosien saatossa aina matkapuhelinverkkojen käyttöönottoon. Perehdytään, kuinka matkapuhelinverkot ovat kehittyneet ja mihin suuntaan tulevaisuus matkaviestinverkkoja johdattaa.

Opinnäytetyössä on läpileikkaus yleisimpiin rakennusmateriaaleihin, joita Suomessa käytetään. Työn keskiössä on sähkömagneettisen säteilyn läpäisyvaimennus eri rakennusmateriaaleissa, sekä esitelty erilaisia rakenteellisia tapoja, joilla voidaan vaikuttaa matkaviestinverkkojen kuuluvuuteen sisätiloissa. Työssä on mitattu sähkömagneettisen säteilyn läpäisy 50 mm paksusta Kingspan Therma TP10 -lämmöneristyslevystä, jossa on kuituvapaa ydin ja diffuusiotiivis alumiinilaminaattipinta molemmin puolin levyä.

Tiedossa on, että matkaviestinverkkojen taajuudet tulevat menemään korkeammille taajuusalueille ja energiatehokkaat talot tulevat lisääntymään, joka tarkoittaa suoraan, että sisäkuuluvuudet tulevat heikkenemään. Lopuksi on pohdittu ja esitelty erilaisia tapoja, kuinka tähän haasteeseen voitaisiin vaikuttaa jo rakennusten suunnitteluvaiheessa.

2 TAUSTAA

”Olipa kerran…” Kaikki hyvät tarinat alkavat näillä sanoilla, kuin myös tämä opinnäytetyö.

Sähkö ja magnetismi kulkevat käsi kädessä. 1800-luvun alkupuolella näitä pidettiin erillisinä ilmiöinä. Skotlantilainen matemaatikko ja fyysikko James Clerk Maxwell kehitti vuonna 1860 yhtälöt, jotka kuvaavat sähkön ja magnetismin toimintaa. Nämä yhtälöt yhdistävät aikaisemmin erilliset sähkön ja magnetismin teoriat yhdeksi kokonaisuudeksi, jota kutsutaan elektromagnetismiksi. Maxwellin jalan jäljissä saksalainen fyysikko Heinrich Rudolf Hertz osoitti vuonna 1888 sähkömagneettisen säteilyn olemassaolon ja rakensi laitteen, joka tuotti radioaaltoja. Hertz oli ensimmäinen, joka osoitti, että radioaaltoja voidaan luoda hallitusti ja lähetetyt signaalit voidaan ottaa vastaan. Näillä signaaleilla saatiin tiedonsiirrossa suuri harppaus, kun niitä alettiin käyttää radio- ja televisiolähetyksiin. Tunnustuksena hänen saavutuksistaan kansainvälisessä yksikköjärjestelmässä värähtelytaajuuden yksikön nimeksi on annettu hertsi. (Sähkömagnetismi 2023.)

Puhelimen keksiminen sijoittuu 1800-luvun toiselle puoliskolle. Sähkömagneettisten teorioiden vakiinnuttua oli monta eri seppää suunnittelemassa ja kehittelemässä erilaisia laitteita. Kunnia puhelimen keksimisestä on yleensä annettu yhdysvaltalaiselle Alexander Graham Bellille. Syyskuussa vuonna 2001 Yhdysvaltain kongressi tunnusti, että ensimmäisen puhelimen on kehittänyt amerikanitalialainen Antonio Meucci. Meucci kehitti ensimmäisen puhelimen pitääkseen yhteyttä liikuntakyvyttömään vaimoonsa vuonna 1854. Vuonna 1860 Meuccin keksintö esiteltiin New Yorkin italiankielisessä sanomalehdessä. Meuccilla oli hankaluuksia saada rahoitusta, jotta olisi voinut patentoida keksintönsä. Vuonna 1871 Meucci ilmoitti Yhdysvaltain patenttivirastolle keksineensä sähkömagneettisen puheensiirron jo vuonna 1854. (Puhelin 2023.)

Alexander Graham Bellillä oli pääsy Meuccin materiaaleihin ja 16 vuotta myöhemmin hän sai patentin omaan puhelimeensa. Vuonna 1925 Bell perusti tutkimuskeskuksen nimeltään Bell Telephone Laboratory. Hänen mukaansa on myös

nimetty yksikkö Bel, nykyään käytössä on Belin kymmenysosa eli desibeli. Bell oli tunnetuimpia ja menestyneimpiä puhelimien kehittäjiä. (Desibeli 2022; Puhelin 2023.)

Taulukossa 1 on signaalin tehotason muutos desibeleinä logaritmisella asteikolla lähtötasoon verrattuna.

TAULUKKO 1. Signaalin tehotason muutos desibeleinä.

Signaalin muutos (kerroin)	Desibeli
1 x	0 dB
2 x	3 dB
4 x	6 dB
10 x	10 dB
20 x	13 dB
100 x	20 dB
1000 x	30 dB
10 000 x	40 dB

2.1. Langattoman tiedonsiirron kehitys

Aina kun tekniikan alalla keksitään jotain uutta ja mullistavaa, löytyy aina epäilijöitä, jotka lyttäävät uudet keksinnöt maihin. Sotateknologian parissa toimivat ihmiset ovat ajatusmaailmallisesti tästä poikkeava ryhmä. Vaikka uusi teknologia olisi suunniteltu hyvään tarkoitukseen, hyvin usein armeijan väki on kädet ojossa ottamassa keksityn teknologian ja uudet lelut tarkasteluun, ajatellen, kuinka tätä voisi hyödyntää sodan käynnissä ja maanpuolustuksessa. Näin kävi myös langattoman tiedonsiirron kanssa. Radiolaitteet tulivat ensimmäisenä laivastojen käyttöön. Maavoimien osalta käyttöönottoa hidasti laitteiden suuri koko, joka heijastui käyttökelpoisuuteen kenttäolosuhteissa. Vuonna 1904 Saksan sotaharjoituksissa radiolaitteilla saatiin jopa 150 km:n yhteysetäisyys. (Lehto, 81.)

Radiopuhelimet olivat merkittävä osa sotateknologian kehitystä, ja niillä oli tärkeä rooli ensimmäisen ja toisen maailmansodan aikaan. Ne mahdollistivat nopean ja

tehokkaan viestinnän tukikohtien välillä, tiedustelun tiedonvälityksessä ja hätätilanteiden hallinnassa. Toki vastapainona, radiopuhelinten ollessa analogisia, vihollisella oli mahdollisuus kaapata signaalit ja käyttää tietoa vihollista vastaan.

Jos jotain positiivista maailmansodista haluaa hakea, ne siivittivät sodan käynnissä käytettyjä teknologioita siviilikäytön puolelle. Sota-aikana kehitettyjen tutkalaitteiden ja -tekniikoiden kehitys on ollut todella nopeaa ja etenkin toisessa maailmansodassa niillä oli merkittävä rooli sodan käynnissä. Lähes kaikkien tutkalaitteiden kehitys ja käyttö juontaa juurensa sotilaallisiin käyttötarkoituksiin. Siviilikäytön puolella tutkatekniikka on nykypäivänä arkisissa asioissa läsnä. Hyvinä esimerkkeinä mainittakoon säätutka, liikenteenvalvontatutka, laiva- ja lentoliikenteessä käytössä olevat tutkatekniikat ja autojen tutka-avusteiset turva- ja ohjausjärjestelmät. (Tutka 2022.)

Siviilikäytössä langattomien järjestelmien viihdekäytön osalta tunnetuimpia oli televisio- ja radiolähetykset. Suomen Yleisradio on perustettu vuonna 1926. Radiolähetykset olivat alkuaikoina AM-modulaatioon perustuvia. ULA-taajuusalueella toimivat FM-lähetykset syrjäyttivät AM-lähetystoiminnan 1960-luvun aikana. (ULA 2023; YLE 2020.)

Televisio keksittiin 1920-luvulla ja alkuun ne olivat mustavalkoisia. Suomessa television kokeilulähetykset aloitettiin vuonna 1955, jolloin Suomessa oli 15 kappaletta televisiovastaanottimia (Yle 2020). Radioiden ja televisioiden yleistyessä löytyi Suomessakin vastustusta uutta teknologiaa vastaan. Vuonna 1975 leskirouva Pisan kylässä joutui tv-terroreiden uhriksi keskellä yötä. Kaksi paikallista miestä tekivät leskirouvalle tarjouksen, josta hän ei voinut kieltäytyä. Miehet painostivat ja nakkelivat sadan markan seteleitä rouvan eteen saadakseen vastaanottimen käsiinsä. Miehet ottivat rouvan kirveen, irrottivat television seinästä ja veivät television vajan taakse, jossa hakkasivat television palasiksi kirveellä. Kyseinen tapahtuma ylitti uutiskynnyksen ympäri maailmaa. (Kinnunen 2015; Markkula 1975.)

Matkapuhelinverkkojen kehitys Suomessa viimeisten vuosikymmenten aikana on tapahtunut nopeasti. Karkealla matematiikalla matkaviestinverkot ovat uudistuneet 10 vuoden sykleissä ja tiedonsiirtonopeudet kehittyneet huimasti.

2.1.1 ARP-verkko

ARP-verkon teknologiaa kutsutaan, nollannen sukupolven tekniikaksi, joka oli Suomen ensimmäinen kaupallisesti toiminut julkinen matkapuhelinverkko. Verkon rakensi silloinen posti- ja lennätinlaitos. Verkon suunnittelu alkoi vuonna 1966 ja sen käyttöönottovuosi oli 1971. Vuonna 1978 se kattoi koko Suomen ja toimi vain Suomessa. Verkko toimi 150 MHz:n taajuusalueella, jossa oli käytettävissä 80 kappaletta 25 kHz:n kanavaa. Matalan taajuutensa ansiosta yhdellä tukiasemalla saatiin peittoalueeksi 30 km:ä halkaisijaltaan oleva solu. Tukiasemia oli 140 kappaletta. (TKK | Tietoverkkolaboratorio 1999.)

ARP-verkko ei tukenut kanavanvaihtoa, vaan puhelut katkesivat siirryttäessä solualueesta toiseen. ARP-puhelimien akut tuhlasivat paljon virtaa ja käyttöaika ei ollut päivää pidempi. Puhelimien lähetystehot olivat 1-5 W ja tukiasemien teho oli 50 W. ARP-puhelimissa vastaanottaminen ja lähettäminen ei toiminut samanaikaisesti, johtuen semiduplex-tekniikasta. Myöhemmin markkinoille tarjolle tuli täysduplex-puhelimia. Puhelin otti vastaan tukiaseman taajuudella ja lähetti 5 MHz:ä korkeammalla taajuudella (TKK | Tietoverkkolaboratorio 1999).

ARP-verkon käyttäjien määrä lisääntyi vuosi vuodelta ja huippuvuosina käyttäjiä oli yli 35000. Käyttäjien lisäännyttyä ja tekniikan rajoitteisuuden vuoksi verkko ruuhkaantui, joten oli mentävä kehityksessä eteenpäin suuremmille taajuuskaistoille. Etelä-Suomessa verkko suljettiin vuonna 2000 ja Pohjois-Suomessa vuonna 2001. Pystyyn jääneet linkkimastot hyödynnettiin seuraavan sukupolven tukiasemille.

2.1.2 NMT-verkko

NMT-verkon suunnittelu alkoi 1970-luvulla ja Suomessa verkko otettiin kaupalliseen käyttöön 1982. Maailman ensimmäinen NMT-verkon käyttöönotto tapahtui

1981 Saudi-Arabiassa. Ensimmäisen sukupolven radiopuhelinverkko tunnetaan nimellä NMT tai 1G. Verkko oli maailman ensimmäinen täysautomaattinen matkapuhelinverkko. Käyttöönottovuotena NMT-verkko toimi 450 MHz:n taajuudella.

Verkosta tuli muutamassa vuodessa suosittu alhaisten hintojensa ansiosta. Ei tarvinnut olla ministeritason palkkaa ja autoa, jossa raskasta puhelinta kuljettaa mukana, vaan lähes jokaisella oli mahdollisuus hankkia puhelin. Suosion syynä oli myös laaja peittoalue ja tarjotut palvelut. Käyttäjiä ollessa paljon, etenkin kaupunkialueilla, tukiasemien kapasiteettia voitiin nostaa pienentämällä solun kokoa. Solun koko halkaisijaltaan oli välillä 2–30 kilometriä. (TKK | Tietoverkkolaboratorio 1999.)

Suuren suosionsa vuoksi 450-NMT alkoi Etelä-Suomen suurimmissa kaupungeissa tukkeutua jo parin vuoden sisällä käyttöönotostaan. Tämän takia suunnittelutyön lopputuloksena luotiin NMT-900, joka toimi nimensä mukaisesti 900 MHz:n taajuudella. NMT-900 verkon suunnittelussa sovellettiin olemassa olevan NMT-450-verkon tekniikkaa. (ARP ja NMT n. d..)

Alkuaikoina puhelimet olivat isoja ja painavia verraten tähän päivään. Puhelinten lähetysteho oli 15 W, 1,5 W, 125 mW ja tukiasemilla 20 W, 5 W ja 1,25 W. ARP-järjestelmään verrattuna NMT oli datasiirto-ominaisuuksiltaan parempi. Data liikkui nopeudella 1200/2400 bps. (TKK | Tietoverkkolaboratorio 1999.)

NMT-900-verkko tuli Suomessa tiensä päähän vuosituhannen vaihtuessa. Vaikka NMT-900 suljettiin, käyttöön jäi syrjäseudutkin kattava NMT-450-verkko.

Lappalaisten ei tarvinnut odotella kuin pari vuotta, kun NMT-450-verkko suljettiin vuonna 2003. Lapissa pelastusviranomaiset olivat huolissaan jäljelle jääneen NMT-450-verkon alasajosta. (Salmivaara 2002.)

2.1.3 GSM

Suunnittelutyön ansiosta päästiin loikkaamaan analogisesta tiedonsiirrosta digitaaliseen, toisen sukupolven verkkoon, joka tunnetaan nimellä GSM. Tiedonsiirrosta tuli huomattavasti turvallisempaa salauksien ansioista, joita ei analogisissa järjestelmissä ollut. 2G-järjestelmä mahdollisti tekstiviestien lähettämisen, mobiilidatan ja internetin käytön matkapuhelimilla.

Maailman ensimmäisen GSM-verkon ensimmäisen puhelun soitti vuonna 1991 Harri Holkeri Helsingistä Tampereelle. Puhelun vastaanotti apulaiskaupunginjohtaja Kaarina Suonio. 30 vuotta tapahtuman jälkeen Nokian Pekka Lundmark on paljastanut, että kyseessä ei ollut GSM-puhelu vaan se oli mennyt analogista varalinjaa pitkin. (Linnake 2021.)

Alkuaikoina GSM datansiirtomenetelmät ovat olleet käyttäjän kannalta piirikytkentäisiä. Kehityksen tuloksena luotiin GPRS, joka on pakettikytkentäinen datansiirtopalvelu. GPRS-yhteydessä data siirretään verkossa vain silloin, kun dataa lähetetään tai vastaanotetaan. Yhteys on tehokkaampi ja vie vähemmän verkon resursseja, kun yhteyden ei tarvitse olla päällä koko ajan, vaan se vapautuu muiden käyttöön, kun sitä ei tarvita. (GPRS 2022.)

2G-järjestelmä käyttää TDMA-tekniikkaa, joka on aikajakoinen radiotien kanavanvaraustekniikka. GSM-verkot toimivat 900 MHz:n taajuudella. Käyttäjämäärien noustessa liikenne ruuhkautui, joten jälleen taajuus tuplattiin ja otettiin käyttöön 1800 MHz:n taajuus käytössä olevan 900 MHz:n taajuusalueen rinnalle. Puhelinvalmistajat valmistivat puhelimia, jotka toimivat molemmilla taajuusalueilla. (TKK | Tietoverkkolaboratorio 1999.)

2.1.4 Hajaspektritekniikan matkaviestinverkot

Kansainvälinen standardointiorganisaatio tunnetaan nimellä 3GPP. Nimi juontaa juurensa 3G-verkon kehitysaikoihin vuoteen 1998, jolloin yhteistyöorganisaatio on saanut alkunsa. 3GPP yhdistää maailmanlaajuisesti 7 standardointijärjestöä. Suomi kuuluu Euroopan alueen standardointijärjestöön. Matkaviestinverkkoihin

liittyvät asiat ja niiden kehitysvaiheet hyväksytään organisaatiossa. Kun yhteisymmärrykseen on päästy, julkaistaan uusi standardi (*release*) ja teknologiaehdotus lähetetään kansainvälisen televiestintäliiton ITU:n arvioitavaksi. Standardien päätarkoitus on luoda yhteiset pelisäännöt maailmanlaajuisesti. Matkaviestinverkkojen kehityksessä on tärkeää ottaa huomioon, että uuden sukupolven verkot toimivat aikaisempien verkkojen kanssa sovussa. (Ollakka 2019; 3GPP 2023.)

Kehitys kolmannen sukupolven matkaviestinverkkojen maailman laajuisista standardeista alkoi ITU:n toimesta 1990-luvun lopulla ja projekti tunnetaan nimellä IMT-2000. Standardi suositukset sisälsivät mm. laitteiden yhteensopivuuden aikaisempien verkkojen kanssa, tiedonsiirtonopeus 384 kbit/s liikkuvalle jalankulkijalle ja terveyteen liittyvät määritelmät, esimerkiksi laitteiden turvallinen käyttö ja säteilytasot. (IMT-2000; SKMM 2007.)

2.1.5 UMTS

3G pohjautuu CDMA-tekniikkaan, joka taas perustuu hajaspektritekniikkaan. Hajaspektritekniikan ydinajatuksena on signaalin levittäminen hajotuskoodilla leveälle taajuuskaistalle, jolla se myös lähetetään. Signaalin levittäminen pienentää signaalin tehotiheyttä ja informaatiosignaalin tehotiheys voi painua pienemmäksi, kuin kohinan tehotiheys. Signaalin kaappaaminen on hyvin vaikeaa kohinan seasta, jos ei ole tiedossa hajotuskoodia. (HAJASPEKTRITEKNIIKKA 2023, 10.)

WCDMA-järjestelmässä on käytössä kanavointikoodit, hajotuskoodit ja levityskoodit. Jokaisella on omat käyttötarkoituksensa. Kanavointikoodeilla erotetaan erilaiset kanavat toisistaan uplink- ja downlink suunnissa. Uplink suunnassa kanavointikoodi erottaa päätelaitteen data- ja kontrollikanavan toisistaan ja downlink suunnassa kanavointikoodi erottelee eri käyttäjät samassa sektorissa toisistaan. (HAJASPEKTRITEKNIIKKA 2023, 33–36.)

Hajotuskoodin tarkoituksena on downlink suunnassa eri solujen erottaminen toisistaan ja uplink suunnassa päätelaitteiden erottaminen toisistaan. Hajotuskoodit

ovat valesatunnaisia. Jokaisella WCDMA solulla on downlink suunnassa normaalisti käytössä yksi hajotuskoodi, joka on paikallisesti uniikki ja se vastaa solun tunnistetta. (HAJASPEKTRITEKNIIKKA 2023, 37.)

Levityskoodit mahdollistavat eri käyttäjien samanaikaisen toimimisen samalla taajuusalueella. Levityskoodin bittinopeus WCDMA-järjestelmässä on 3.84 Mcps.

Japani oli ensimmäinen maa, joka otti 3G-verkon kaupalliseen käyttöön ja se toteutettiin FOMA-tekniikalla, joka ei ollut alkuun yhteensopiva UMTS-määritysten kanssa. Euroopassa käytössä oleva UMTS käyttää WCDMA-tekniikkaa. WCDMA-järjestelmä tukee FDD- ja TDD-tekniikkaa. (UMTS 2023; WCDMA 2020.)

Suomessa UMTS-verkot otettiin käyttöön vuonna 2004 ja ne toimivat 1900 MHz:n ja 2100 MHz:n taajuuksilla. Myöhemmin otettiin mukaan 900 MHz:n taajuus. Lapin erämaan katvealueita lukuun ottamatta, lähes koko muu Suomi on katettu 900 MHz:n taajuusalueella. 3G-verkkojen alasajo on suunnitteilla vuoden 2023 loppuun mennessä. (2G, 3G, 4G, 5G – mitä väliä IoT:ssa? 2022; UMTS 2023.)

2.1.6 LTE

Suurin ero edellisiin sukupolviin neljännen sukupolven matkaviestinverkoissa on, että ne ovat pakettikytkentäisiä ja toimivat täysin IP-pohjaisesti. LTE-verkossa downlink- ja uplink suunnassa on eri radiotekniikat käytössä. Tukiasemalta päätelaitteen suuntaan käytetään OFDMA-tekniikkaa. Ja päätelaitteelta tukiaseman suuntaan käytetään SC-FDMA-tekniikkaa. Pakettikytkentäinen standardi puheluiden välittämiseen on nimeltään VoLTE (Voice over LTE). (3G EVOLUUTIO, 63.)

Järjestelmä, joka sisältää useita antenniryhmiä kutsutaan termillä MIMO. MIMO-tekniikassa on vähintään kaksi antennia lähetyksessä sekä vastaanotossa. Useampia antenneja käytetään samanaikaisesti lähetykseen ja vastaanottoon, jolla

saadaan tiedonsiirtonopeutta radiokanavassa nostettua ja tiedonsiirron luotettavuutta parannettua. (OSA 1 MÄÄRITTELYJÄ 34–35.)

LTE-verkot alkuvaiheilla eivät yltäneet ITU:n määrittelemiin standardeihin asti ja se tunnettiinkin 3.9G:nä. Tästä huolimatta markkinamiehet ja -naiset kauppasivat liittymiä 4G:nä. Lopulta markkinoiden painostuksen alaisena ITU myöntyi ja LTE-verkkoja sai kutsua 4G:ksi. Seuraaja LTE Advanced (LTE+) on ITU:n hyväksymä ”Oikea 4G”. (LTE Advanced 2023.)

LTE-verkot Suomessa toimivat taajuuksilla 700 MHz, 800 MHz, 1800 MHz, 2000 MHz ja 2600 MHz (Matkaviestinverkkojen taajuudet ja luvanhaltijat 2022).

2.1.7 5G

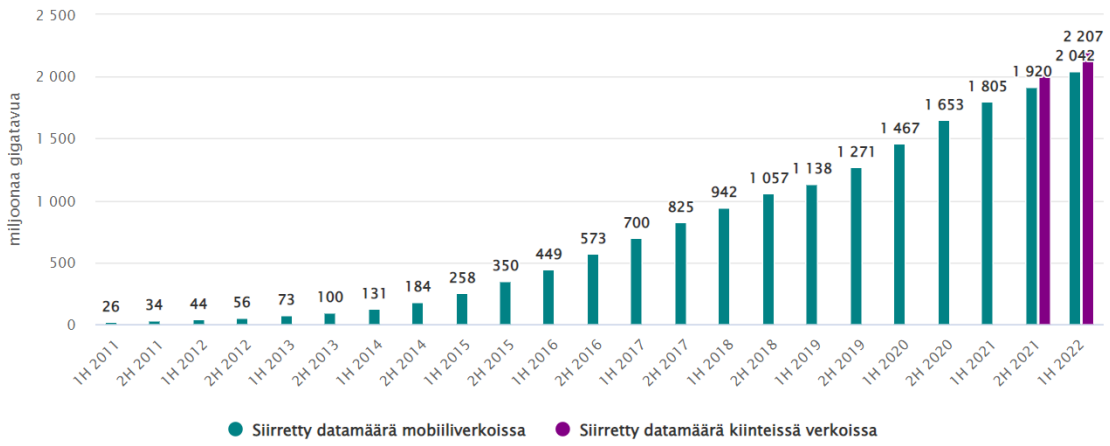
Suomi lukeutuu 5G:n käyttöönotossa maailman kärkimaihin. 5G-tekniikassa on kymmenkertainen tiedonsiirtonopeus 4G:hen verrattuna. Langattoman laajakaistan nopeuden voi saada jopa 10 Gbit/s. Suomessa kaikki operaattorit tarjoavat mobiililaajakaistan käytön 3,5 GHz:n taajuusalueella. Suuremmille taajuusalueille mentäessä tukiasemien tarve lisääntyy huomattavasti hyvien peittoalueiden saamiseksi. Suurimmissa kasvukeskuksissa käytössä oleva 3,5 GHz:n taajuusalueen kantama on noin 1,5 kilometriä. 700 MHz:n taajuusalueella toimivan 5G-verkkojen kantama on noin 10 kilometrin luokkaa. (Yhteisverkossa uusi 5G-taajuusalue käyttöön kesän aikana – paremmat yhteydet festareille, mökkireissuille ja matkoille 2022.)

Erillisverkkoja voidaan toteuttaa paikallisesti kohteen mukaan 4G- ja 5G verkoilla. Paikallisesti räätälöityjen erillisverkkojen tyypillisiä kohteita ovat sairaalat, oppilaitokset, kauppakeskukset ja tehtaat. Kriittisiin erillisverkkoihin lukeutuvat mm. lentokentät, satamat ja ydinvoimalat. Paikalliset erillisverkot voidaan toteuttaa kohteen tarpeen mukaan. Erillisverkko voi hyödyntää valtakunnalliselta operaattorilta vuokrattuja tai erikseen osoitettuja taajuuksia tai toimia taajuuksilla, jotka ei ole luvanvaraisia. (Määräys viestintäverkon kriittisistä osista, 18.)

5G-verkossa tiedonsiirrossa on lyhyt viive, joka hyödyttää etenkin esineiden internettiä, joka tunnetaan paremmin nimellä IoT. IoT-laitteiden ennustetaan kasvavan paljon. Teollisuuden robotiikka- ja automaatioratkaisuissa IoT-laitteet ovat arkipäivää ja tulevat lisääntymään ajan myötä. IoT-laitteet hyödyntävät reunalaskentaa, jolla tarkoitetaan datan prosessointia mahdollisimman lähellä datan keräyspaikkaa. Teollisuudessa käytössä olevan IoT-laitteen käyttäessä reunalaskentaa, sen ei tarvitse siirtää kerättyä dataa palvelimelle, jolloin datan prosessointiin kuluva aika pienenee. (Staven 2019.)

Tulevaisuudessa käyttöönotettavat millimetriaallot, jotka toimivat taajuusalueella 26–28 GHz, eivät tule läpäisemään rakennusten seiniä. Tulevaisuuden suunnitelmissa on ottaa käyttöön myös taajuusalueet 40,5–43,5 GHz ja 66–71GHz (5G Suomessa, 3). Liitteessä 1 on havainnekuva, kuinka matkaviestiverkkojen tarjoamat peittoalueet saatetaan tulevaisuudessa toteuttaa.

Kuviossa 1 on nähtävissä viestintäverkoissa siirretty tiedonsiirtomäärä Suomessa aikavälillä 2011–2022. Luvut sisältävät kotitalous- ja yritysasiakkaiden datamäärät. Matkaviestinverkkojen osalta luvut sisältävät kotimaisten liittymien lähetetyn- ja vastaanotetun pakettikytkentäisen dataliikenteen, pois lukien roaming-liikenteen ja M2M-liittymien tiedonsiirron. Kiinteän verkon tiedonsiirtomäärät sisältävät lähetetyn- ja vastaanotetun tiedonsiirron. Aikavälillä 1.1.-30.6.2022 mobiiliverkoissa siirretty tiedonsiirtomäärä kuukaudessa asukasta kohden on ollut keskimäärin 61 Gt ja kiinteässä verkossa keskimäärin 66 Gt. (Tieto.Traficom 2023.)



KUVIO 1. Tiedonsiirtomäärät Suomessa (Tieto.Traficom 2023).

3 RAKENNUSMATERIAALIT

Ihmiset ovat hakeneet turvallisuuden tunnetta ja suojapaikkaa itselleen aina. Luolamaalauksista voidaan päätellä, että luolia on käytetty asumiseen. Luolissa on oltu suojassa sääoloilta ja petoeläimiltä. Samaa taisi ajatella englantilainen herra nimeltään Angelo Mastropietro, joka kaiverrutti kotinsa kallioon. Tosin hänen kodissaan ei tarvitse palella tai pelätä petoeläimiä, vaan sieltä löytyy kaikki nykyajan herkut, esimerkiksi lattialämmitys ja laajakaista. (Zitting 2016.)

Rakentamisessa usein materiaalien lopullinen valinta perustuu energiatehokkuuteen, kustannustehokkuuteen ja visuaalisuuteen. Suomessa rakennuskohteen materiaaleihin saattaa vaikuttaa myös byrokratia, museovirasto ja muut säännökset. Rakentamisessa tapoja on yhtä paljon, kuin on tekijöitä, ja tapoja voi myös yhdistellä mieltymysten ja sallittujen rajojen puitteissa. Rakentamisessa, kuten monessa muussakin asiassa pätee vanha sanonta: ”*Hyvin suunniteltu on puoliksi tehty*”.

Poliittinen tahtotila ilmastonmuutosta vastaan ja energian säästämisen tavoitteet valtioiden tasolla mullisti myös rakennusalaa. Täytyi alkaa kehittämään uusia ratkaisuja kohti nollaenergiataloja. Toki on niitä ennenkin tehty, poliittiset linjaukset vain vauhdittivat asiaa uudis- että saneerausrakentamisessa. Rakennusmääräykset ovat tiukentuneet ja menneet kohti nollaenergiataloja. Suomessa rakennusten käyttämästä energian kokonaismäärästä lämmitykseen menee noin neljäsosa, sähkölämmitteisessä omakotitalossa jopa yli puolet, joten matalaenergiatalo on Suomen talvioloissa hyvä. Huonona puolena nollaenergiatalolle, jossa on käytetty metallipintaisia eristelevyjä ja selektiivilaseja, talo on kuin Faradayn häkki. Toisin sanoen radioaaltoihin perustuvat signaalit eivät tule ulkoa sisälle, eikä mene sisältä ulos. Suomen valtion periaatepäätös on että: jokaisella suomalaisella on perusoikeus viestinnän perustarpeisiin, johon kuuluu mm. kohtuuhintainen kiinteä- tai langaton puhelinliittymä ja kahden megatavun laajakaistaliittymä. (Ilmasto-opas.fi 2022; Oikeutesi viestinnän peruspalveluihin 2019).

3.1. Betoni

Yleisimpiä rakennusmateriaaleja rakennuksissa kantavien seinien osalta ovat betoni, puu, tiili ja teräs. Betoni ja teräsbetoni ovat maailman eniten käytetty rakennusmateriaali. Teräsbetonia käytetään mm. talojen-, siltojen- ja erilaisten tukimuurien rakentamiseen. Betonin ominaisuuksien ja edullisuutensa vuoksi betoni on monesti paras vaihtoehto. Varsinkin jos kustannustehokkuutta haetaan esimerkiksi kerrostalojen rakentamisessa, on suotavaa käyttää esivalmistettuja elementtejä. Valmiita betonielementtejä käyttäessä ei kauaa nokka tuhise, kun rakennus on pystyssä ja katto päällä. 1970-luvun alussa kehitettiin ja valmistettiin ontelolaatat. Ne ovat teräsbetonista valmistettuja elementtejä, joita käytetään kantavana vaakarakenteena ala-, väli- ja yläpohjissa.

3.2. Puu

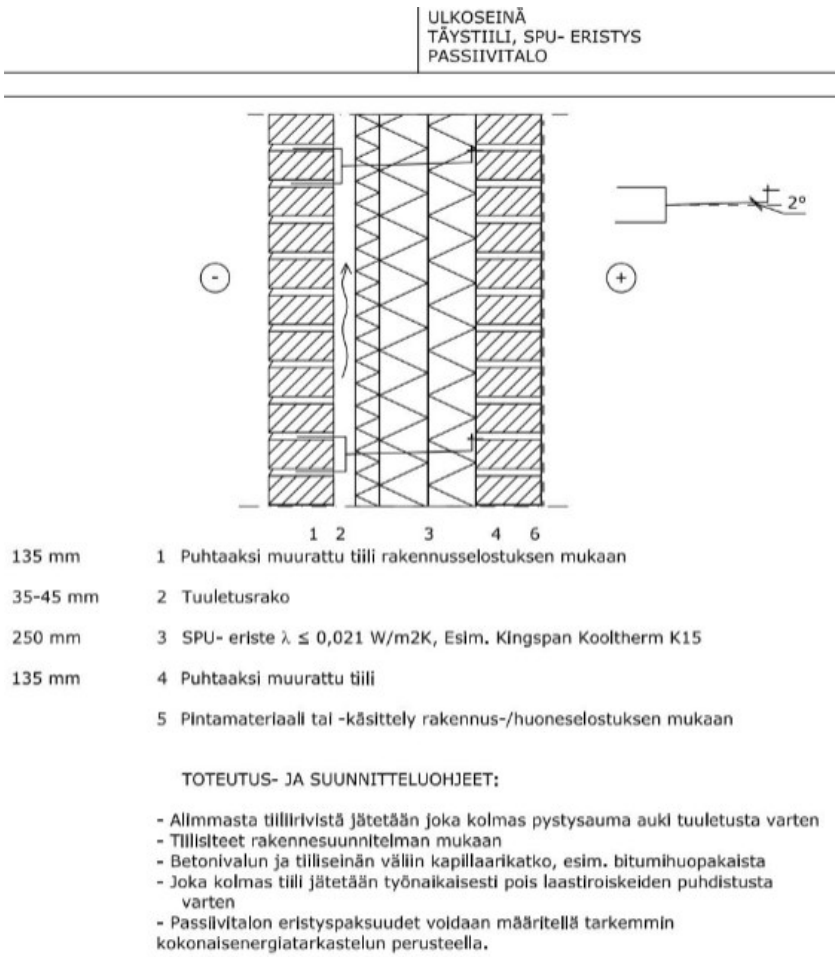
Puurakentamisessa hirsirakentaminen kuuluu perinteisiin puurakentamistapoihin. Yleisimmin hirsirakenteita on käytössä vapaa-ajan asunnoissa, rantasaunoissa ja omakotitaloissa. Hirsikehikolla voidaan toteuttaa kantavat linjat, joihin tavallisesti kuuluu ulkoseinät, huoneistojen väliset seinät ja osa väliseinistä. Puu itsessään toimii lämmöneristeenä. Käyttökohteesta toki kiinni, että laitetaanko lisäeristystä.

Puurakenteisen rakennuksen rungon tekemisessä on monia eri vaihtoehtoja. Yksi näistä on perinteinen pitkästä puutavarasta rungon tekeminen suoraan kohdilleen. Yleisesti runkotolppien jakoväli kantavissa seinissä on 600 mm ja rungon väliin ja pintaan tulevat rakennusmateriaalit ovat yleensä 600 mm:n jakovälille sopivia. Toisena vaihtoehtona on elementtirakentaminen, jossa tehdään seinäelementti vaakatasossa ja elementti nostetaan pystyyn. Vaihtoehtona elementtirakentamisessa, että talotehdas rakentaa ja toimittaa elementit. Sovittaessa tehtaan oma rakennusporukka tulee ja asentaa elementit paikalleen. Lopuksi tietenkin ns. avaimet käteen -periaate, jossa tilataan talo viimeistä listaa myöden paikalleen ja asunto on muuttovalmis.

Puurakenteisessa rungossa runkotolppien väliin laitetaan lämmöneriste. Yleisimpinä lämmöneristeinä käytetään mineraalivillaa, ekovillaa tai polyuretaanieristelevyä. Eristelevyn molemmin puolin on diffuusiotiivis alumiinilaminaattipinta. Helppokäyttöisyyden, asennuksessa säästetyn ajan ja tehokkaan lämmineristyksensä ansiosta eristelevyjä käytetään usein kohteissa, joissa edellä mainitut edut saavutetaan. Hirsitaloissa SPU-levyjä käytetään harvemmin hirsikehikon painumisen vuoksi.

3.3. Tiili

Tiilitaloissa toteutus vaihtoehtoja on monenlaisia. Täystiilitaloista puhuttaessa tarkoitetaan yleensä tiilitaloa, jossa ulkoseinärakenne on tiili, kivi-/mineraalivilla tai SPU-eriste ja tiili. Tiilitalot ovat hengittäviä, energiatehokkaita, paloturvallisia ja huoltovapaita. Kuviossa 2 on rakennekuva tiilitalon ulkoseinästä, jossa on ratkaisu SPU-eristystä käytettäessä.



KUVIO 2. Rakennekuva tiilitalon ulkoseinästä (issuu 2019).

3.4. Teräs

Teräsrunkoja käytetään etenkin suuremmissa rakennuksissa, kuten urheilu-, logistiikka-, varasto-, tuotanto- ja liiketiloissa. Isoja hallimaisia rakennuksia tehdessä vuorauksessa käytetään sandwich-elementtejä, joissa kerrokset ovat pelti, välissä uretaani tai mineraalivilla, ja pelti. Elementit ovat kustannustehokkaita ja nopeasti asennettavia. Elementtien paikalleen asennuksen jälkeen on valmiina rakennuksen katto-, sisä- ja ulkopinnat, sekä rakennuksen ulkovaipan eristys.

3.5. Väliseinät

Väliseinien kohdalla on monen tekijän summa, mitä materiaaleja käytetään. Käytetyt materiaalit vaihtelevat vaadituista oloista ja visuaalisuudesta riippuen. Suomessa yleisimmät materiaalit väliseinien rungossa ovat kertopuu, teräsranka, lasi tai kahitiili. Myös kosteiden tilojen väliseinien rungot voidaan toteuttaa edellä mainituilla materiaaleilla, kun vain pintamateriaalit valitaan ja toteutetaan oikein. Väliseinien sisällä ääneneristys materiaaleina yleisimmin käytetään mineraali- tai ekovillaa. Perinnerakentamisessa saatetaan käyttää tänäkin päivänä sahanpurua ja kutterilastua, kuten ennen vanhaan. Aikanaan sahanpurua tuli huomattavasti enemmän paikan päällä rakentaessa kuin mitä nykypäivänä, ja kannattihan se ottaa hyötykäyttöön. Huonona puolena sahanpurussa on maanvetovoimasta johtuva painuminen ja varsinkin jos sitä on käytetty lämmöneristeenä ulkoseinissä, ajan mittaan alkaa viima päästä sisään. Omien kokemusteni mukaan, purkuhommia tehdessäni, tuli paljon vastaan väliseiniä, joissa ääneneristysmateriaalia ei ollut ollenkaan. Eksoottisin ääneneristysmateriaali mihin olen törmännyt, oli haitarimalliin taiteltu pahvi väliseinän sisässä.

3.6. Peltikatto

Suomessa käytetyin vesikattomateriaali on teräs eli pelti. Syinä ovat mm. kestävyys, edullinen hankintahinta, rakenteeltaan kevyt ja se on nopea asentaa. Peltikatto hyvin hoidettuna ajaa asiansa jopa 50 vuotta. Pelti ei sovellu käytettäväksi tasakattoihin tai kattoihin, joissa kattokulma on pieni. Lumet valuvat liukkaasti

alas peltikatolta, joten on suotavaa laittaa lumiesteet vähintään kulkuväylien kohdalle.

3.7. Tiilikatto

Tiilikatto on peltikattoon verrattuna huomattavasti hiljaisempi vaihtoehto. Tiilikatossa on huomioitava, ettei se pudota lumia alas kovinkaan helposti. Alusrakenteiden on kestettävä tiilien tuoma paino, sekä lumikuorma talvella. Tiilikatto ei sovellu laiskalle ihmiselle, vaan se vaatii huoltoa säännöllisin väliajoin, ettei pääse sammaloitumaan. Hyvin hoidettuna tiilikatolla pärjää yli 50 vuotta eteenpäin.

3.8. Huopakatto

Huopakatteiden käyttö ulottuu 1800- luvun alkuun, kun katteet koostuivat tervaan kastetuista paperiarkeista, jotka naulattiin aluslaudoitukseen, kaadettiin päälle tervaa ja hiekkaa, jonka jälkeen poljettiin alustaan kiinni. 100 vuotta myöhemmin katteen tukikerroksena käytettiin tekstiili- ja selluloosakuiduista valmistettua raakahuopaa, joka oli kartongin tapaista materiaalia. Raakahuovan ominaisuus oli, että se imi kosteutta itseensä, joten ennen pinnoitusta kosteus täytyi saada kokonaan pois. Nykyajan huopakatto tunnetaan myös nimellä bitumikermikate ja se on SBS-kumibitumia eli SBS-modifioitua bitumia. (Kerabit n.d..)

Huopakatto on hiljainen ja soveltuu käytettäväksi lähes kaikissa katoissa. Jos katon kaltevuus on 1:3 tai loivempi, on bitumikermikate paras vaihtoehto. Materiaaliltaan taipuisa, kestävä ja kiinnittyy tiiviisti. Huopakaton pinta on karhea ja talvella lumet jäävät katolle, joten lumikuorma on otettava huomioon alusrakenteissa. Karheutensa vuoksi huopa roskaantuu ja sammaloituu herkästi. Hyvin hoidettuna kestää jopa yli 50 vuotta eteenpäin. Hyvä puoli huopakaton uusimisessa on, että vanhan huopakerroksen päälle voi lyödä uuden kerroksen huopaa, mikäli rakenteet sen kestävät eikä muuta poikkeavaa ole esteenä.

4 RAKENNUSMATERIAALIEN VAIMENNUS

Yhdysvaltain standardisointi- ja teknologiainstituutin päämaja sijaitsee Gaithersburgissa, Marylandin osavaltiossa. 1990-luvun puolivälissä siellä on tehty kattava tutkimustyö sähkömagneettisen säteilyn läpäisystä yleisimmin käytetyissä rakennusmateriaaleissa. Taulukossa 2, mittauksissa ollut betoni ja raudoitettu betoni on ollut paksuudeltaan 203 mm, korkeudeltaan 1000 mm ja leveydeltään 1000 mm. Raudoitusverkot on ollut 19 mm paksua ja silmäkoot verkoissa on ollut 70 mm ja 140 mm. Raudan osuuden ollessa yksi prosentti, betonilaatan sisällä on ollut 19 mm raudoitusverkko, silmäkoon ollessa 140 mm. Raudan osuuden ollessa kaksi prosenttia, betonilaatan sisällä on ollut 19 mm raudoitusverkko, silmäkoon ollessa 70 mm. (Stone 1997, 47.)

TAULUKKO 2. Sähkömagneettisen säteilyn vaimennus eri rakennusmateriaaleissa. (Stone 1997, 65–175.)

Rakennus materiaali	Taajuus/Vaimennus desibeleissä [dB]							
	1 GHz	2GHz	3GHz	4 GHz	5 GHz	6 GHz	7GHz	8 GHz
Tiili								
178 mm	-5	-8	-16	-24	-32	-28	-26	-14
267 mm	-7	-10,5	-27	-29	-32	-40	-42	-28
Kevytsoraharkko								
203 mm	-11	-11	-15	-15	-15	-15	-16	-18
406 mm	-17	-18	-24	-24	-27	-33	-35	-30
Lasi 13 mm	-2	-3	-0,5	0	0	-0,5	-1	-2
Kuiva puu								
114 mm	-4	-7	-13	-13	-13	-14	-15	-16
152 mm	-6	-8,5	-19	-19	-20	-22	-24	-26
Märkä puu								
114 mm	-5	-8	-20	-20	-20	-22	-23	-25
152 mm	-7	-11	-26	-26	-27	-29	-32	-34
Raudoitusverkko								
70 mm	-14	-10	-6	-4	-3	-2	-2	-2
140mm	-3	0	-3	-2	-1	-0,5	-0,5	-1
Betoni 203 mm	-28	-35	-50	-52	-55	-59	-66	-73
Betoni 203 mm (Raudan osuus 1 %)	-27	-31	-50	-52	-53	-57	-63	-69
Betoni 203 mm (Raudan osuus 2 %)	-30	-37	-53	-54	-57	-62	-68	-71

Väliseinien läpäisyyn vaikuttaa kipsilevyn lisäksi äänineristysmateriaali väliseinän sisällä. Suomessa yleisin käytetty materiaali äänieristeenä väliseinissä on

lasi- tai ekovilla. Kipsilevyn vaimennus on ~0 dB (Stone 1997, 137–139). 100 mm lasivillan vaimennus on ~1 dB (Asp, Jaroslaw, Valkama, & Niemelä, 3).

WiFi-verkon, eli langattoman WLAN-verkon standardit ovat IEEE:n julkaisemia. Standardi 802.11 toimii 2,4 GHz ja standardi 802.11a toimii taajuudella 5,0 GHz. (Wi-Fi 2023.) Taulukossa 3 on kyseisten taajuuksien läpäisyjä eri materiaaleissa.

TAULUKKO 3. Vaimennuksia WiFi-verkon käyttämillä taajuuksilla (OEC Fiber 2023).

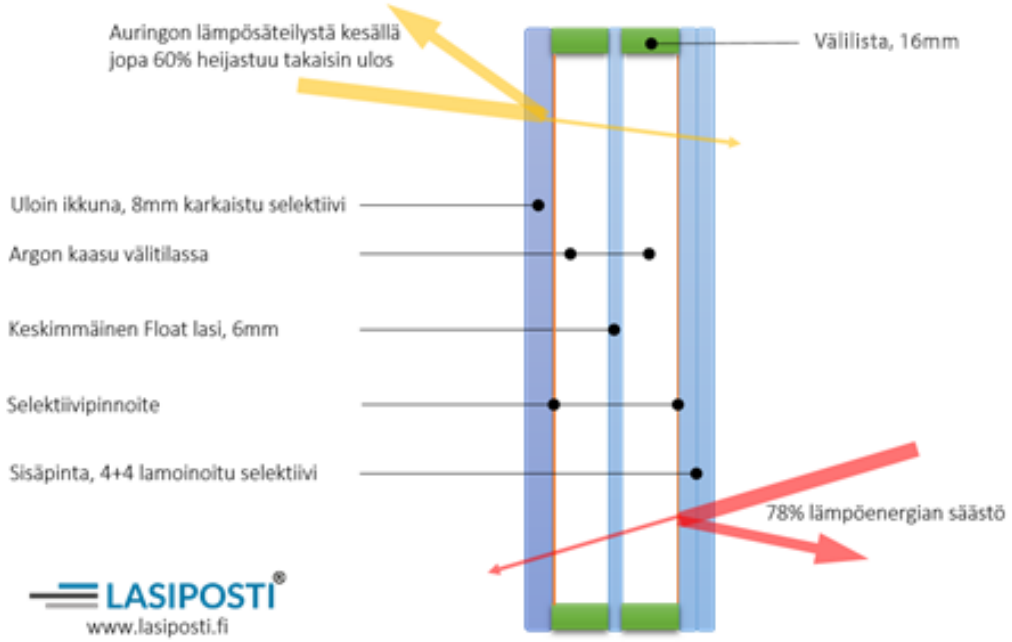
Attenuation Properties of Common Building Materials		
Building Materials	2.4 GHz Attenuation	5.0 GHz Attenuation
Solid Wooden Door 1.75"	6 dB	10 dB
Hollow Wooden Door 1.75"	4 dB	7 dB
interior Office Door w/Window 1.75"/0.5"	4 dB	6 dB
Steel Fire/Exit Door 2.5"	19 dB	32 dB
Steel Rollup Door 1.5"	11 dB	19 dB
Brick 3.5"	6 dB	10 dB
Concrete Wall 18"	18 dB	30 dB
Cubicle Wall (Fabrif) 2.25"	18 dB	30 dB
Exterior Concrete Wall 27"	53 dB	45 dB
Glass Divider 0.5"	12 dB	8 dB
Interior Hollow Wall 6"	9 dB	4 dB
Marble 2"	6 dB	10 dB
Bullet-Proof Glass 1"	10 dB	20 dB
Exterior Double Pane Window 1"	13 dB	20 dB
Exterior Single Pane Window 0.5"	7 dB	6 dB
Interior Office Window 1"	3 dB	6 dB

4.1. Selektiivilasit

Moderneissa ikkunoissa käytetään selektiivilasia, tunnetaan myös nimillä energiansäästölasi, lämpölasi ja eristyslasi. Selektiivilasi on pinnoitettu hyvin ohuella metallioksidikerroksella, joka päästää näkyvän valon läpi, mutta ei lämpösäteilyä. Selektiivilasien hyvät puolet korostuvat Suomessa vuoden aikojen mukaisesti. Kesällä auringonvalo läpäisee lasin, mutta pinnoite estää suuren osan lämpöenergian pääsystä sisäpuolelle. Talvipakkasilla suuri osa rakennuksen lämpö-

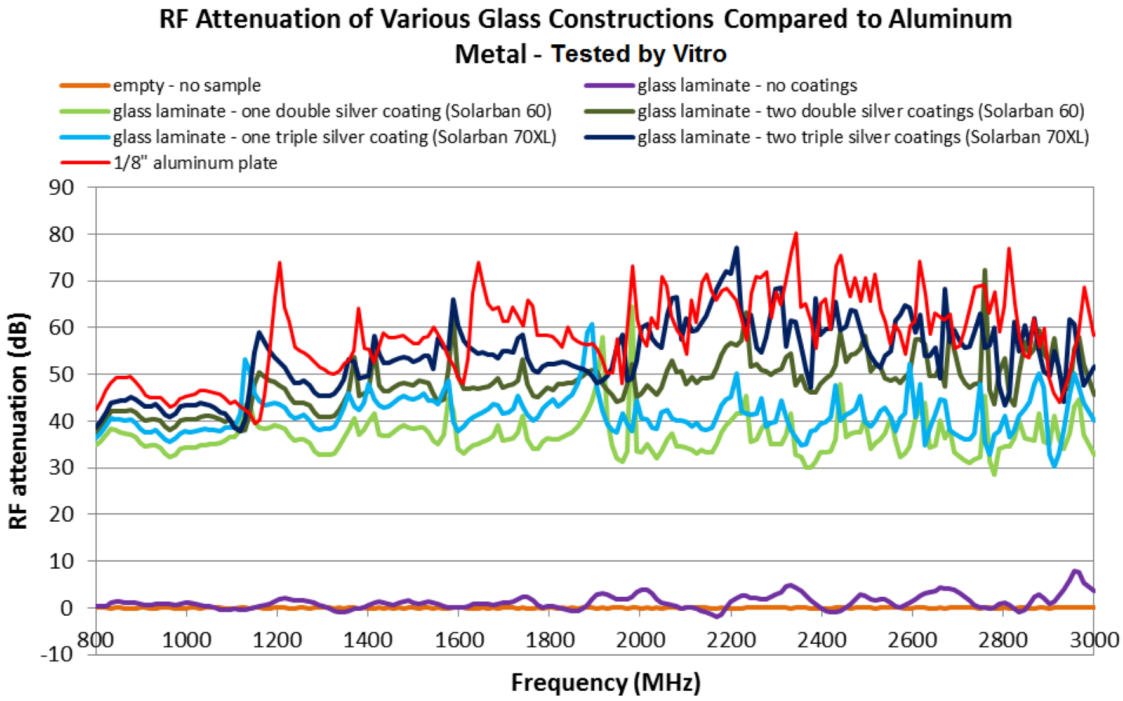
energiasta ei pääse karkaamaan ikkunaruutujen kautta ulkopuolelle, jolla saadaan rakennuksen lämmitys kustannuksia pienennettyä, sekä mukavuutta asuintilaan, kun ikkunaruudut eivät hohka kylmää. (Lasiposti 2023.)

Kolmikerroksisen lämpölasin rakenne on esitetty kuviossa 3. Kolmikerroksisessa lämpölasissa on kaksi oksidipinnoitetta. Ulommainen selektiivilasi estää lämpösäteilyn sisälle, välissä on tavallinen float lasi ja sisimmäinen selektiivilasi estää lämpösäteilyn karkaamisen ulos.



KUVIO 3. Kolmikerroksisen lämpölasin rakenne (Lasiposti 2023).

Lämpölasien haittapuolena on sähkömagneettisen säteilyn läpäisy metallioksidikerroksen vuoksi. Hyvin energiatehokkaassa lämpölasissa voi olla useita pinnoitekerroksia. Kuviossa 4 on sähkömagneettisen säteilyn vaimennuksia selektiivilaseista, joissa on eri määrä pinnoitekerroksia.



KUVIO 4. Signaalin vaimennus selektiivilaseissa (Vitro n.d.).

4.2. Matkaviestinverkkojen sisäkuuluvuus rakennuksissa

Kuuluvuus ongelmat ovat monen tekijän summa. Sähkömagneettinen säteily vaimenee jo ilmassa ollessaan, ilman diffraktiota tai heijastuksia aiheuttavia esteitä. Tätä kutsutaan vapaan tilan vaimennukseksi. Rakennuksen ulkopuolella kentänvoimakkuuteen vaikuttavia asioita on lukuisia. Näitä ovat mm. operaattorin tarjoama kuuluvuus alueella, etäisyydet tukiasemiin ja niiden suuntaukset, vuodenaika, kellonaika ja muiden käyttäjien määrä. Rakennuksen jollain puolella saattaa olla parempi kentänvoimakkuus, kuin toisilla puolilla. Nämä kaikki vaikuttavat myös sisäkuuluvuuteen.

Uusien rakennusten suunnitteluvaiheessa olisi hyvä ottaa huomioon matkapuhelinverkkojen sisäkuuluvuuteen vaikuttavat asiat. Merkittävä vaikutus on käytettävillä rakennusmateriaaleilla. Paksut raudoitetut betoniseinät ja teräsrakenteet julkisivussa ja rungossa vaimentavat signaaleja huomattavasti. Energiatehokkaat selektiivilasit, joissa on yleensä metalliset karmit, vaimentavat signaaleja voimakkaasti. SPU-eristelevyt alumiinilaminaattipintansa vuoksi vaimentavat ulkopuolelta tulevaa sähkömagneettista säteilyä huomattavasti verrattuna mineraali- tai ekovillaan.

4.2.1 SPU-eristeinen talo

Energiatehokkaaksi suunniteltu ja rakennettu rakennus, jossa on käytetty lämmöneristeenä SPU-eristelevyjä koko rakennuksen ympäri ja ikkunaruuduissa on käytetty selektiivilaseja, joissa on metalliset karmit, kuuluvuus sisätiloissa on heikko. Tämän kaltaista matalaenergiataloa rakentaessa olisi suotavaa joka puolelta taloa korvata vähintään yksi alumiinilaminaattipintainen eristelevy SPU-R-levyllä, joka ei sisällä metalleja. Sähkömagneettinen säteily pääsee levyistä läpi lähes vaimentumatta (SPU-ERISTEET n.d.). SPU-R-levyn voi halutessaan korvata mineraali- tai ekovillalla.

4.2.2 RF-aukko

Edellä mainittua tapaa kutsutaan RF-aukoksi, jossa rakennuksen ulkovaippaan jätetään sähkömagneettiselle säteilylle helpommin läpäisevä reitti. Puutalorakenteisessa talossa RF-aukot ovat suhteellisen helppo toteuttaa ulkovaipan rakenteiden ja tiiveyden kärsimättä. Kivirakenteisessa talossa RF-aukkojen toteutuksessa voidaan ulkovaippaan jättää/tehdä aukko signaaleille kantavuuden ja rakenteiden salliessa. RF-aukon kohdalla käytetään materiaalia, joka vaimentaa signaaleja vähemmän eikä heikennä ulkovaipan ominaisuuksia. RF-aukkoja tehtäessä täytyy olla tarkkana ulkovaipan tiiviyden kanssa, ettei jää kylmäsiltaa. Tampereen yliopistolla tehdyn tutkimuksen mukaan RF-aukon fyysinen koko olisi hyvä olla vähintään 60 cm korkea ja 30 cm leveä. Mittauksissa on käytetty 900 MHz:n aallonpituutta ja polarisaationa on ollut pystypolarisointi. (Rakennusten sisätiloissa esiintyvien matkapuhelinten kuuluvuusongelmien ratkaisuvaihtoehtojen kartoitus, 70–71.)

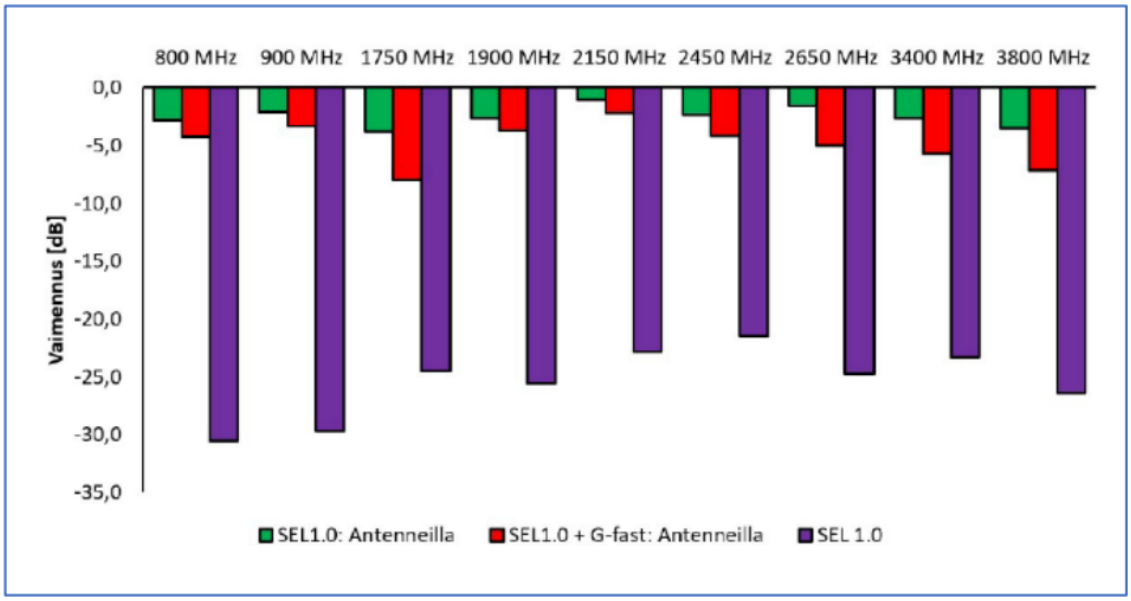
4.2.3 Sisäantenniverkko

Sisätilakuuluvuutta voidaan parantaa toteuttamalla sisäantenniverkko, mikäli kuuluvuuksia ei saada riittäviksi muilla rakenteellisilla ratkaisuilla. Kerrostaloissa sisäantenniverkko toteutetaan operaattoreiden kanssa yhteistyössä. Operaattori

asentaa tukiasemansa ja toistimensa talojakamoon, josta kaapelit vedetään porrastasanteisiin antenneille. Tukiasemia ja toistimia ei saa omin päin ottaa käyttöön, vaan ne ovat osa operaattorin verkkoa. Uuden kerrostalon ollessa kyseessä, kannattaa jo suunnitteluvaiheessa olla yhteydessä eri operaattoreihin, koska heillä saattaa olla erilaisia sopimusehtoja, teknisiä vaatimuksia ja kustannuksissa voi olla isojakin eroja. Huomionarvoista sisäantenniverkon toteutuksessa on, että se myös tukee eri operaattoreita. Vanhojen kerros- ja omakotitalojen osalta kustannukset voivat nousta hyötysuhteen ulkopuolelle, vaikka ne toteutettaisiin toisen remontin yhteydessä. Vanhempien rakennusten osalta kustannustehokkaampiakin sisäpeitto ratkaisuja on olemassa. (Traficom, 4–5.)

4.2.4 Antennilasi

Vanhojen rakennusten ikkunaremontin yhteydessä, vanhat lasit vaihdetaan yleensä energiatehokkaisiin selektiivilaseihin ja ihmetellään jälkikäteen, että mihin kentät hävisivät puhelimesta. Yhtenä ratkaisuna voisi signaalien tulosuunnan eli tukiaseman puolelle jättää selektiivikalvoton ikkuna. Asumismukavuuden, energiatehokkuuden ja kondenssi-ilmiön kannalta ei ole suotavaa, koska kalvottoman lasin pintalämpötila on talvella viileämpi ja hohkaa kylmää. Ratkaisuna selektiivilasien sähkömagneettisen säteilyn läpäisyyn on kehitetty erilaisia ratkaisuja. Antennilasi on ratkaisu, jossa antenni on integroitu lasiin. Kuviossa 5 on langattomien signaalien läpäisyt. Vihreä palkki on läpäisyvaimennus, jossa on mitattu yhden antennilasin läpi, punainen palkki on kahden antennilasin läpi, ja violetti palkki on läpäisyvaimennuksen suuruus selektiivilasin läpi, jossa ei ole antennia.



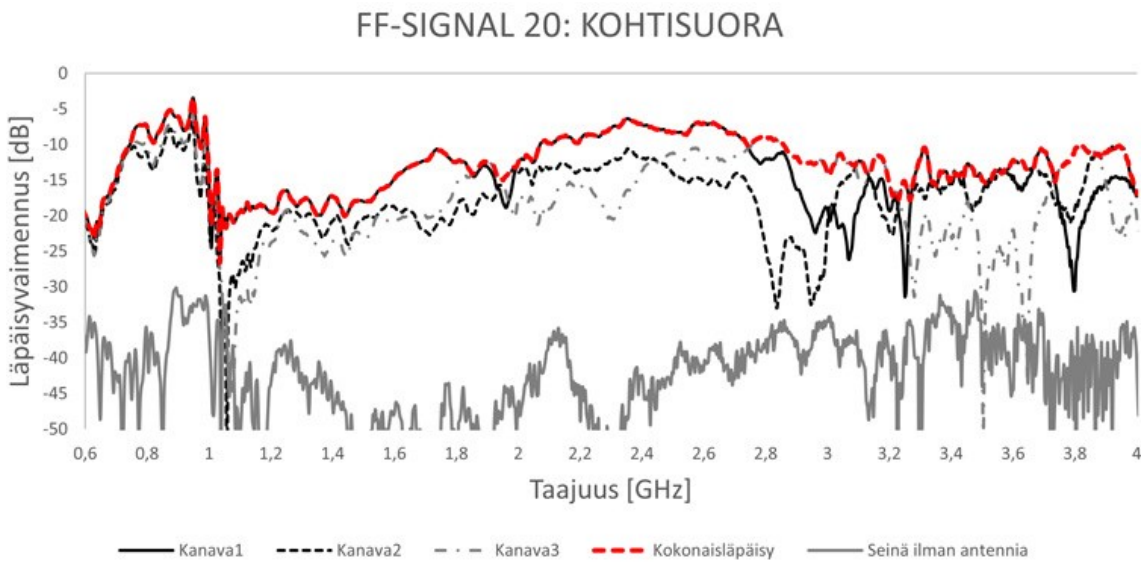
KUVIO 5. Antennilasin vaimennus (Pihla Group Oy 2021).

Liitteissä 2 ja 3 on lisätietoa antennilasin toimintaperiaatteesta ja esimerkki kuva, kuinka antennilasia voi hyödyntää rakennuksen sisäpeiton parantamiseksi. Suunnitteluohjeessa on nähtävissä mittaustulokset selektiivilasista, johon on integroitu passiivinen toistin.

4.2.5 Passiivinen toistin

FF-SIGNAL-signaalivahvistin on signaalia välittävä passiivinen elementti. Signaalivahvistin on tarkoitettu asennettavaksi rakenteiden sisään. FF-SIGNAL-elementissä on kaksi kappaletta Finnfoam Oy:n valmistamaa FF-PIR-eristelevyä, paksuudeltaan 20 mm, joiden välissä on antennielementti. FF-SIGNAL-elementin voi muun muassa asentaa kahden erillisen ikkunan karmien väliin, seinärungon ja ikkunan karmin väliin, oven pielen ja seinärungon väliin tai betoniseinään ohutrappauksen alle. Antennielementti voidaan piilottaa rakenteen sisään metallittomalla materiaalilla. (FINNFOAM n.d..)

Kuviossa 6 on nähtävissä FF-SIGNAL-elementin läpäisyvaimennus.



KUVIO 6. FF-SIGNAL-elementin läpäisyvaimennus (FINNFOAM n.d.).

5 MITTAUSMENETELMÄT

Mittauksissa käytetty ilmatiivis laatikko on tehty 50 mm paksusta Kingspan Therma TP10 -lämmöneristyslevystä, jossa on molemmin puolin diffuusiotiivis alumiinilaminaattipinta. Laatikon tekemiseen on käytetty Kingspan Therma TP10-eristelevyä, pullouretaania, alumiiniteippiä ja laudan pätkiä muottilautoina.

Laatikon kansilevy on neliön mallinen ja sivun pituus on 600 mm. Seinälevyjen leveys 600 mm ja korkeudeltaan 400 mm. Levyn eri seinälevyjen leikkaamiseen on käytetty mattopuukkoa. Kun kyseessä on ollut ihminen, jolla ei ole kirurgin tarkkaa leikkaustyyliä, leikkausten suoruus on kuitenkin pysynyt kahden millimetrin sisällä. Uretaanilevy tuoreena on lähes luotisuora. Kun levy leikataan pienempiin osiin, levyn jännitys katoaa ja levyn jäljelle jääneissä osissa saattaa tapahtua pientä elämistä, jolloin levy ei ole täysin suora. Levyn käyttötarkoituksessa lämmöneristeenä rakennuksissa tällaisella asialla ei ole merkitystä.

Laatikon kasauksessa levyjen kosketuspinnat on liimattu toisiinsa uretaanilla. Uretaanin tullessa purkista ulos se paisuu huomattavasti, jonka vuoksi levyjen liimaamisen yhteydessä on käytetty muottilautoja, joilla on sidottu laatikko haluttuun muotoonsa ja estetty levyjen irtaantuminen toisistaan uretaanin jämähtämisen ajaksi. Tällä tavalla on saatu varmistettua, että levyjen kosketuspinnat olisivat mahdollisimman kiinni toisissaan ja laatikon seinistä tulisi suorakulmaiset, eikä vuotokohtia jäisi reunoihin.

Uretaanin jämähdettyä ja levyjen liimaannuttua toisiinsa, ylimääräiset uretaanin räppäleet on leikattu pois sisä- ja ulkopuolelta. Ylimääräisten uretaanien poiston jälkeen liimatut reunakohdat on teipattu alumiiniteipillä sisä- ja ulkopuolelta.

Signaaligeneraattori ja antenni ovat olleet mittaustilanteissa 50 mm eristelevyn päällä. Signaaligeneraattorin RF-lähetysteho oli +10 dB moduloimatonta signaalia. Ennen suljettujen taajuusmittauksien suorittamista laatikon päällä on käytetty painona käytöstä poistuneita virtalähteitä. Painojen ansiosta on saatu laatikko tiiviimmin alustalevyä vasten. Reunat on teipattu alumiiniteipillä kiinni alustalevyyn

vuotokohtien välttämiseksi. Taajuusaluetta vaihtaessa signaaligeneraattorista laatikon luukku on teipattu alumiiniteipillä umpeen. Kuvassa 1 on mittauksista tilanne, jossa on nähtävissä taajuusalueen vaihtoon tarkoitettu luukku ja reunojen teippaukset alustalevyyn.

KUVA 1. Taajuusalueen vaihto mittaustilanteessa.

Jokainen sähköä käyttävä laite virran ollessa päällä laitteessa, lähettää ympärilleen sähkömagneettista säteilyä. Tästä syystä signaaligeneraattori on ollut suljettujen mittausten aikana laatikon sisällä lähettävän antennin kaverina, tällä tavalla on saatu signaaligeneraattorin lähettämät häiriösignaalit minimoitua. Laatikon hyvän lämmöneristävyytensä vuoksi, aika, joka meni laatikon teippaamiseen kiinni alustalevyyn, signaaligeneraattori on ollut pois päältä, jottei laite turhaan lämpiä. Näin toimimalla on keretty ottamaan 1–2 taajuusmittausta useampi, kuin laitteen ollessa päällä teippaukseen kuluvan ajan. Eri taajuusalueita on kerennyt ja uskaltanut mitata 5 kappaletta ilman pelkoa signaaligeneraattorin ylikuumenemista. Viiden taajuusalueen mittauksen jälkeen laatikko on poistettu ja annettu signaaligeneraattorin jäähtyä vähintään 10 minuuttia.

Ennen mittauksien aloittamista täytyi etsiä lähettävän antennin sijainti, jossa oli paras signaalin voimakkuus vastaanottavaan antenniin. Rajoittavana tekijänä oli signaaligeneraattorin viemä tila ja siitä heijastuvat häiriöt. Korkeuden puolesta antenni mahtui olemaan laitteen vierellä joka puolella laatikon ollessa päällä. Parhaan signaalin sai lähettävän antennin ollessa signaaligeneraattorin edessä. Vastaanottava antenni oli sijoitettuna ruostumattoman teräslevyn yläpuolelle, nähtävissä kuvassa 2. Rosterilevy oli 202 cm korkeudella lattiasta ja levyn halkaisija oli 590 mm. Lähettävä antenni oli lattiasta 77 cm:n korkeudella ja antennien etäisyys toisiinsa oli 225 cm.

KUVA 2. Vastaanottava antenni ruostumattoman teräslevyn päällä.

Mittaukset eri taajuusalueilla on pyritty toistamaan mahdollisimman samankaltaisina. Taajuusaluetta vaihtaessa laatikko ja antennien sijainnit pysyivät muuttumattomana. Mittaajan paikka oli rosterilevyn alapuolella, jolla saatiin minimoitua ihmisen kehon tuottama häiriö. Taajuusaluetta vaihtaessa mittaajan paikka ei ole pysynyt täysin identtisenä jokaisella eri taajuusalueella. Tämä pyrittiin ottamaan huomioon mittauspaikkaan palattua ja istumalla samaan kohtaan, kuin aiemmin. Lisäksi mittauksia tehdessä on kehoa liikutettu hiukan eri suuntiin mittauspaikalla ollessa ja samanaikaisesti ruudulta tulkittu signaalinvoimakkuutta ja pyritty minimoimaan ihmisen kehon tuoma häiriö.

5.1. Mittaus ympäristö

Mittaukset suoritettiin Tampereen ammattikorkeakoulun häiriösuojatussa tilassa, kuvassa 3. Leveydeltään tila oli 293 cm ja pituudeltaan 390 cm. Mittauksia tehdessä vain signaaligeneraattori ja spektrianalysaattori oli käynnissä. Tilassa oli myös muita mittalaitteita, läppäri ja puhelin, joista oli virta katkaistu. Sähkömagneettista säteilyä ei näin ollen pitäisi olla tilassa, kuin mittauksissa käytettyjen laitteiden tuomat vääristymät mittauksiin. Mystisiä haamupiikkejä spektrianalysaattorissa esiintyi satunnaisilla taajuuksilla 1,5 GHz:n asti. Häiriösuojattuun tilaan oli tehty yksi läpivienti suuruudeltaan 2–5 mm, joka saattoi osaltaan tuoda häiriösignaaleja tilaan.

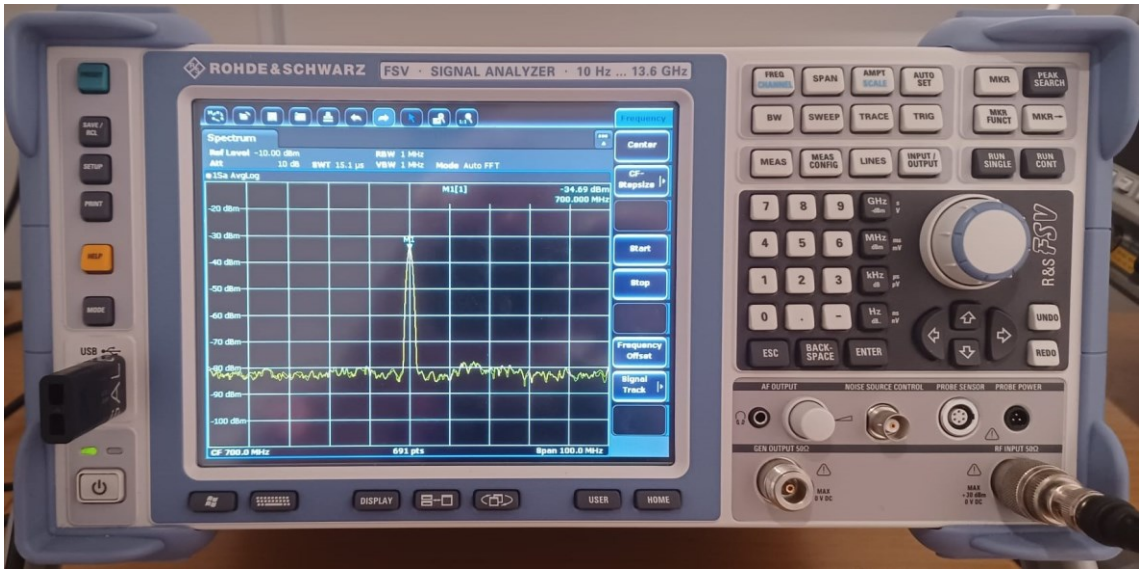
KUVA 3. Häiriösuojattu tila.

5.2. Mittalaitteet

Signaaligeneraattorina toimi Rohde&Schwarz SMBV100B Vector Signal Generator. Toimintataajuus signaaligeneraattorilla on 8 kHz – 6 GHz. Laitteen toimintaalue desibeleinä on välillä -145 dBm – +20 dBm, kun toimitaan taajuus väillä 1 MHz – 6 GHz. Laitteen lupaama virheraja on alle 1 desibeliä. (Rohde & Schwarz 2022, 8.)

KUVA 4. Signaaligeneraattori Rohde&Schwarz SMBV100B.

Lähetetty signaali napattiin kiinni Rohde&Schwarz:in valmistamalla spektrianalysaattorilla, jonka malli on FSV13 SIGNAL ANALYZER. Laitteen toimintataajuus on välillä 10 Hz – 13,6 GHz.



KUVA 5. Spektrianalysaattori Rohde&Schwarz FSV13 SIGNAL ANALYZER.

Signaaligeneraattorissa ja spektrianalysaattorissa oli molemmissa TP-Link Technologies Co:n valmistava antenni, malliltaan TL-ANT2408C, VER 1.2. Antenni on ympärisäteilevä ja toimii 2,4 GHz:in taajuudella (TP-Link 2023).

KUVA 6. Antenni TL-ANT2408C, VER 1.2 (TP-Link 2023).

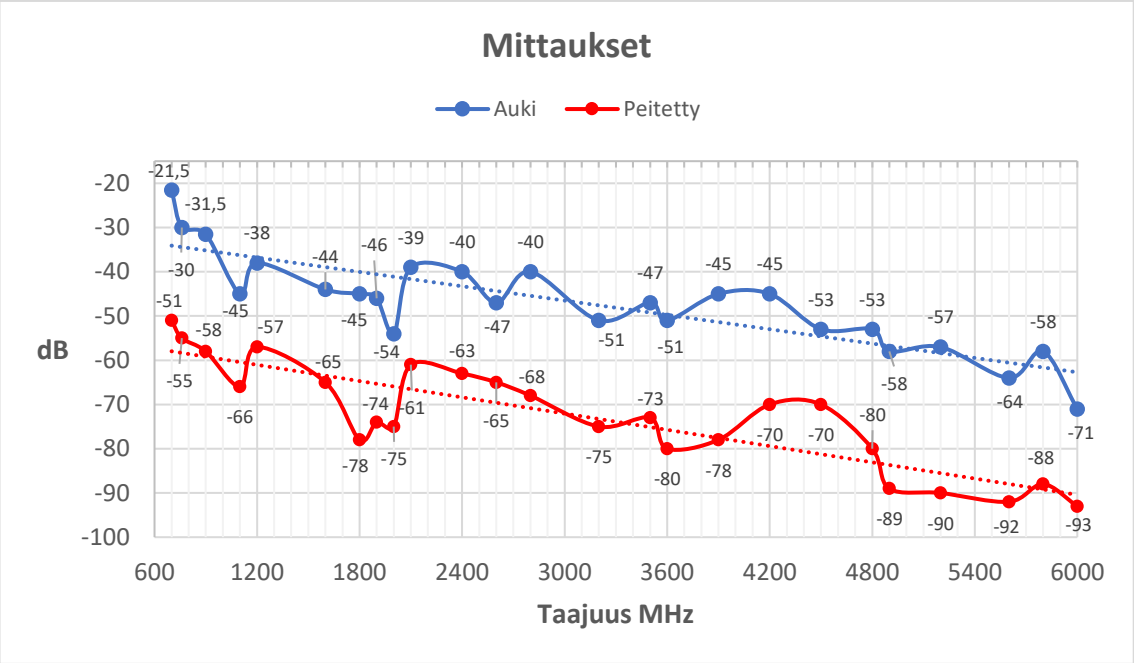
6 MITTAUSTULOKSET

Taulukossa 4 on työssä käytetyt taajuudet signaaligeneraattorin ollessa avoimena, peitettynä Kingspan Therma TP10 -lämmöneristyslevystä tehdyllä laatikolla ja laatikon aiheuttama läpäisyvaimennus desibeleinä.

TAULUKKO 4. Mittaustulokset.

Taajuus MHz	Auki [dB]	Peitetty [dB]	Ero [dB]
700	-21,5	-51	29,5
760	-30	-55	25
900	-31,5	-58	26,5
1100	-45	-66	21
1200	-38	-57	19
1600	-44	-65	21
1800	-45	-78	33
1900	-46	-74	28
2000	-54	-75	21
2100	-39	-61	22
2400	-40	-63	23
2600	-47	-65	18
2800	-40	-68	28
3200	-51	-75	24
3500	-47	-73	26
3600	-51	-80	29
3900	-45	-78	33
4200	-45	-70	25
4500	-53	-70	17
4800	-53	-80	27
4900	-58	-89	31
5200	-57	-90	33
5600	-64	-92	28
5800	-58	-88	30
6000	-71	-93	22

Kuviossa 7 on mittaustulokset tehdyistä mittauksista. Kuviossa sininen käyrä on avoin mittaus ja punainen käyrä on, kun signaaligeneraattori ja antenni on ollut peitettynä ja laatikon reunat teipattuna tiiviiksi.



KUVIO 7. Mittaustulokset.

50 mm:ä paksun Kingspan Therma TP10 -lämmöneristyslevyn vaimennuksen keskiarvoksi saatiin 25 dB. 25 dB:n signaalin muutos logaritmisella asteikolla on yli 300-kertainen lähtötasoon verrattuna.

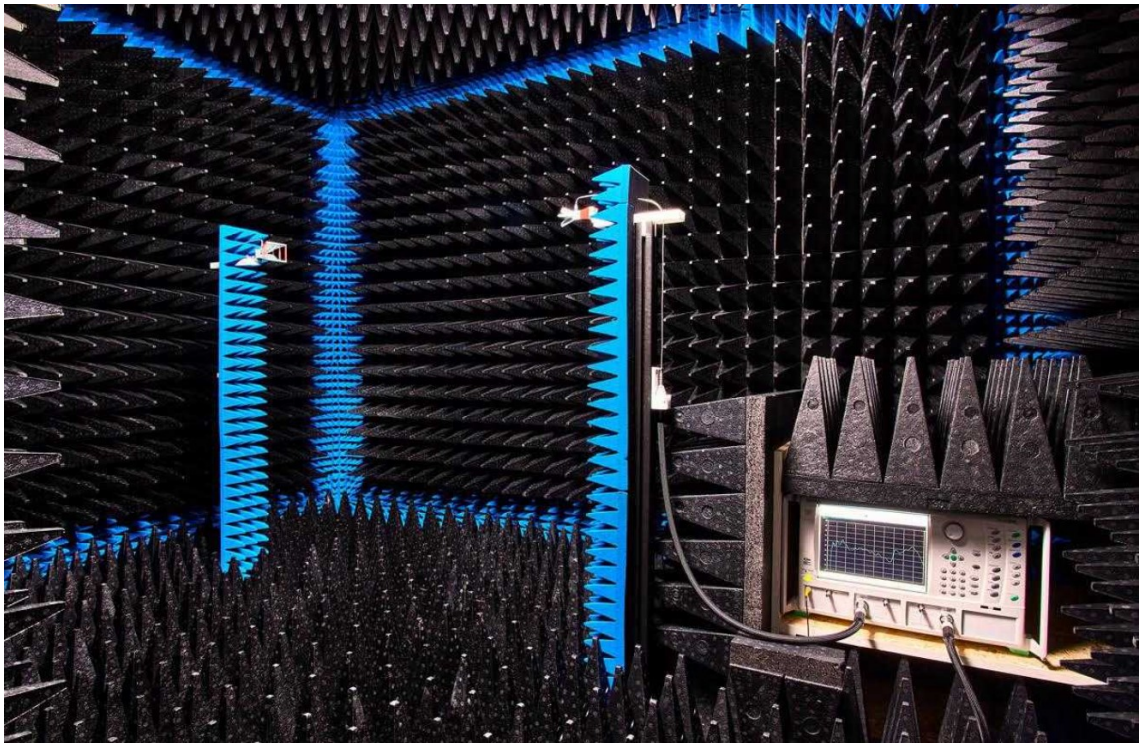
7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön aiheen valinta perustui omiin kokemuksiin, aikoihin ennen kuin tiesin edes hakeutuvani opiskelemaan IT-puolta. Rakennuspuolella työskenneltyäni olin mukana rakentamassa päiväkotia, joka on kierrepaalujen varaan rakennettu ja ulkovaipan osalta SPU-eristelevyistä tehty. Seinät ja katto kun saatiin paikalleen, kentät hävisivät puhelimesta lähes täysin. Ajatus jäi kalvamaan mieltä, että vaimentaako eristyslevyt todella näin paljon signaaleja. Sattumien kautta päädyin IT-alaa opiskelemaan, ja kun kerran mahdollisuus tuli selvittää asia, pitihän se myös toteuttaa.

Radioaaltoihin perustuvien signaalien mittaamisessa ei voida päästä absoluuttisesti täydelliseen mittaustulokseen. Sisätiloissa tehtävissä RF-mittauksissa käytettävät mittalaitteet, kaapelit, antennit, huoneen pintamateriaalit, tilassa oleva muu materiaali, sekä ihmisen inhimillisyys ja läsnäolo samassa tilassa ovat yleisimpiä asioita, jotka vääristävät mittaustuloksia. Kaikki mahdollinen silmin nähtävä materiaali etenevän signaalin edessä aiheuttaa diffraktiota ja heijastumista. Etenkin kaupungeissa on mahdotonta sanoa, kuinka monen heijastuman kautta radioaalto vastaanottimeen lopulta päätyy. Materiaalin ominaisuuksista on kiinni, läpäiseekö radioaallot materiaalin ja kuinka paljon diffraktiota ja heijastusta radioaallon edetessä määränpäähänsä lopulta tapahtuu. Parhaimpaan ja luotettavimpaan mittaustulokseen päästäisiin RF-mittauksessa avaruudessa, jossa radioaalto etenee vapaassa tilassa ilman ympäristön ja väliaineen vaikutusta. Antenneilla olisi suora näköyhteys toisiinsa, tällainen radiokanava on suoran näköyhteyden kanava (Line-of-Sight) ja etenevän signaalin tiellä ei olisi mitään estettä, eikä signaali pääsisi heijastuskanavan kautta määränpäähänsä, eli heijastumaan minkään materiaalin kautta. Sisätiloissa suoritetuissa mittauksissa matalien taajuusalueiden ollessa kyseessä, vapaan tilan vaimennuksella ei ole käytännön merkitystä lopputulokseen. Korkeilla taajuusalueilla ja etäisyyksien pidentyessä vapaan tilan vaimennus täytyy huomioida mittauksissa.

Työssä tehdyssä mittauksissa pyrittiin minimoimaan häiriöiden vaikutuksia, niiltä osin kuin keinoja oli käytettävissä. Häiriösuojatun tilan ovi ja seinät olivat metallipintaisia, joten signaalin eteneminen ei ole ollut suoraviivainen antennista antenniin, vaan mukana oli paljon heijastumia. Olisi ollut mukava toteuttaa työssä tehty mittaus kuvan 7 mukaisessa antennimittauksiin suunnitellussa huoneessa ja käyttää erilaisia antennipareja. Lisäksi olisi ollut mukava ulottaa työ kentälle asti ja käydä mittaamassa matkaviestinverkkojen tarjoamia kenttien voimakkuuksia ja mitata eri materiaaleista valmistettujen rakennusten läpäisyvaimennuksia. Mittaustulokset saattaisivat poiketa paljonkin tässä työssä saatuihin mittaustuloksiin.

Kuvassa 7 on antennimittauksia varten rakennettu huone, jossa huoneen seinissä, lattiassa ja katossa on käytetty pyramidin mallisia vaimentimia. Myös mittalaite on enimmäkseen vuorattu vaimentimilla. Vaimentimien tarkoitus on karsia huoneen pintamateriaaleista aiheutuvat heijastumat. Vaimentimien sisällä on käytetty sopivassa suhteessa hiiltä ja rautaa, jotka absorboivat sähkömagneettisen säteilyn itseensä, jopa -50 desibelin tehokkuudella.



KUVA 7. Antennimittaus kaiuttomassa huoneessa (DMC n.d.).

Sähkömagneettisen säteilyn läpäisyä rakennusmateriaaleissa on tutkittu paljon, vähemmän toki uusimpia materiaaleja. Yllättävän vähän löytyi vertaismateriaalia

tukemaan mittaustuloksia koskien alumiinipinnoitettuja SPU-levyjä. Löytämissäni tutkimuksissa oli mitattu matkaviestinverkkojen tarjoamien signaalien voimakkuuksia ja vaimennuksia valmiista tai keskeneräisistä taloista. Valmiin talon, jossa on käytetty eristysmateriaalina SPU-levyjä ja tässä työssä tehdyn mittauksen, pelkän levyn läpi häiriösuojatussa tilassa, suoraa vertausta mittaustuloksiin ei voi tehdä.

50 mm:ä paksun Kingspan Therma TP10 -lämmöneristyslevyn vaimennuksen keskiarvoksi saatiin -25 dB. Eristelevyn alumiinilaminaattipinnat ovat signaalin läpäisyvaimennuksen aiheuttavat tekijät, levyn polyuretaani ei vaimenemista juurikaan aiheuta. Puurakenteisen talon ollessa kyseessä tiedetään, että ulkovaipan osalta, eniten vaimentavat rakennusmateriaalit ovat alumiinipintainen SPU-lämmöneristyslevy ja lämpöenergialasit. Selektiivilasi, jossa on yksi metallioksidikerros, signaalin vaimennus on -20 dB – -30 dB väillä. Kolmikerros lämpölasissa, jossa on yleensä kaksi metallioksidikerrosta, vaimennusta on noin -40 dB. Jos rakennus on rakennettu edellä mainituilla materiaaleilla, maalaisjärjellä voidaan todeta, että vaimennusta on 20 dB tai enemmän. Signaalin voimakkuus on 100-kertaisesti heikompi sisäpuolella rakennusta.

Kuinka paljon vaimennusta rakennuksen ulkovaipan osalta olisi, kun SPU-eristelevyjä on käytetty eristeenä runkotolppien välissä ja lisäksi olisi vuorattu ulkopuolelta koko ulkovaippa tiiviiksi SPU-eristelevyillä. Tulisiko lopputulos olemaan seuraavanlainen, kun lämmöneristyslevyjä saattaa rakennukseen tulla kaksikerrosta ja jos mustavalkoisesti ajatellaan, vaimennus nousee vähintään 40 desibeliin, eli vaimennus on samalla tasolla selektiivilasien kanssa. Energiatehokas puutalo, jossa on kaksinkertainen eristevahvuus ja lämpöenergialasit, sisälle päätyvän signaalin voimakkuus on 10000-kertaisesti heikompi rakennuksen ulkopuolelle verrattuna. Edellä mainitun esimerkin pohjalta signaalien täytyy läpäistä yhteensä 4 kerrosta alumiinilaminaattipintaa, ellei ulkovaippaan jätetä RF-aukkoja tai käytetä muita menetelmiä sisäpeiton varmistamiseksi.

Matkaviestinverkkojen taajuuksien noustessa rakennussuunnittelussa täytyisi ottaa entistä enemmän huomioon, kuinka ulkoa tulevat signaalit saataisiin tule-

maan sisälle. Rakennuspuolella suunnittelupuolen opiskelijoille täytyisi jo opiskelu vaiheessa korostaa asian tärkeyttä. Uusien rakennusten suunniteltu elinkaari on kumminkin +50 vuotta ja matkaviestinverkot päivittyvät noin 10 vuoden välein. Jo suunnitteluvaiheessa uusien rakennusten osalta helppo ja halpa ratkaisu olisi kaivaa kristallipallo esiin ja katsoa tulevaisuuteen, että mihin suuntaan matkaviestinverkot ovat oletettavasti menossa. Kun tiedossa on, että tukiasemat ovat menossa aina vain lähemmäksi loppukäyttäjää. Esimerkiksi kerrostaloissa voisi jokaisen asunnon sähkökaapille tulevien kaapelien yhteydessä vetää suojaputkivaraus, jota kautta saisi syötettyä talojakamosta uutta kaapelia asuntoon tarpeen vaatiessa. Kokonaiskustannusten osalta ihan mitätön kuluerä. Tulevaisuudessa todennäköisesti sisäantenniratkaisut tulevat kerrostalojen osalta yleistymään. Varsinkin jos mennään yli 26 GHz:n taajuuksiin ja näillä taajuuksilla halutaan toimia, on melkein pakollista sijoittaa tukiasemat suoraan asuntoihin sisäpeiton saamiseksi.

Toinen juttu on, kuinka se saadaan toteutettua. Operaattoreiden täytyisi tehdä tiiviisti yhteistyötä, jotta jokaisen operaattorin tarjoamat palvelut toimivat ratkaisuja tehdessä. Sitten vielä lisänä korkeiden taajuuksien vastustajia löytyy ja koronapandemian alkuvaiheilla ihmiset jopa polttivat tukiasemia sen varjolla, että 5G:n käyttämät taajuudet levittävät koronaa. Ulkotiloissa tukiasemien tiheys tulee lisääntymään merkittävästi, jos ja kun autonomiset autot tulevat yleistymään. Tukiasemia on jo asennettu matalienkin rakennusten katoille. Tuleeko jatkossa tukiasemat jokaiseen valotolppaan tai liikennemerkkien kylkeen? Ideoinnissa vain taivas on rajana, joten tullaanko hyödyntämään droneja ja nostetaan tukiasemat taivaalle palvelemaan käyttäjiä? Tyhmiä ideoita ei ole olemassa. Joku toinen saattaa ”tyhmän” idean kuultuaan ymmärtää esitetyn asian aivan toisella tavalla ja jatkokehittää ideaa eteenpäin eri tavalla, kuin alkuperäisen ajatuksen ilmoille heittänyt on tarkoittanut. Tämän takia olisi tärkeää, että eri alojen ihmiset pitäisivät saunaillan ja istuisivat saman pöydän ääreen ja heittelisivät ajatuksia ilmaan, kuinka jatkossa asiat saadaan toimimaan kaikkia tyydyttävällä tavalla.

Opinnäytetyö oli viimeistelyjä vaille, kun tekijän tietoon tuli EU:ssa suunnitteilla olevasta direktiivistä, jonka mukaan jokaisen jäsenmaan olisi korjattava energiatehokkuudeltaan huonoimmat 15 prosenttia rakennuksista vuoden 2032 loppuun

mennessä ja vuodesta 2030 lähtien uusien rakennusten tulisi olla nollapäästöisiä. Energiatehokkaiden talojen määrän lisääntyessä saadaan energiaa säästettyä talvella lämmityksen puolelta. Vastakohtana on kesät, silloin energiaa menee jäähdytykseen. Energian kulutus matalaenergiataloissa on ollut korkeampi, kuin mitä laskelmissa on luvattu. Vuonna 2015 Tampereella järjestetyssä rakennusfysiikkaseminaarissa tämä on ollut yhtenä keskustelunaiheena. Vuodesta 2015 vuoteen 2030 mennessä, ilmastonmuutoksen kiihtymisen myötä energiaa säästyisi 17 %. Jäähdytystarve sen sijaan kasvaa 35 prosentilla edellä mainitulla aikavälillä. (Mölsä; Vinha 2015). Näiden lukujen valossa kannattaisi pitää jalat maassa ja järki päässä luodessa matalaenergiatalojen laskentamalleja ja ajaessa laput silmillä ilmasto ideologiaa eteenpäin. Suomalaisista lähes jokainen haluaa, että oma uusi talo olisi asumiskuluiltaan mahdollisimman halpa asua. EU:n komission ehdottama energiatehokkuuden tason nostaminen tulee tapahtumaan joka tapauksessa Suomessa pitkällä aikavälillä. Jos aletaan hätiköiden remontoimaan taloja, joissa ei välttämättä vielä olisi tarvetta tehdä remonttia, rakennuksessa vain sattuu olemaan laskentamallista johtuva heikompi energiatodistus lukema, ennenaikainen remontti ei lopulta ilmastoa palvele.

Historia on osoittanut, että neroja maailmaan syntyy, jotka murtavat vanhat opitut kaavat ja mullistavat fysiikan lait uuteen uskoon. Kuka tulee täyttämään edesmenneen herra Hertzin saappaat 2000-luvulla? Keksitäänkö uusia mullistavia ratkaisuja rakentamisen tai teknologian puolella? Millä tavoin tulevaisuudessa korkeiden taajuuksien peittoalueet toteutetaan? Aika näyttää.

Ihmiselle, jolle henkilökohtaiseen elämään liittyvien hommien aloittaminen on todella haastavaa. Mutta kun sen pienen kipinän tai potkun päähän saa, alkaa hommat edetä ja aloittamisen jälkeen ne myös tehdään kunnialla loppuun. Opinnäytetyön ensimmäiset sanat: ”Olipa kerran…” toimi ponnahduslautana työn aloittamiseen ja etenemiseen, ja ne myös kantoivat päätyyn asti. Kuten jokainen hyvä tarina alkaa edellä mainituilla sanoilla, yleensä hyvät tarinat päättyvät sanoihin: ”… ja eli elämänsä onnellisena loppuun saakka.”

LÄHTEET

ARP ja NMT. n. d. ARP ja NMT. Verkkosivu. Viitattu 10.2.2023. http://koiruudet.net/tli110/arpnmt.html

Asp, A., Jaroslaw, S., Valkama, M. & Niemelä, J. n. d. Radio signal attenuation measurements for modern residential buildings. Pdf-dokumentti. Viitattu 14.2.2023. https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/128789/Radio_signal_attenuation_measurements_for_modern_residential_buildings_2012.pdf?sequence=1

Asp, A., Keskikastari, M., Niemelä, J & Sydorov, Y. 2013. Rakennusten sisätiloissa esiintyvien matkapuhelinten kuuluvuusongelmien ratkaisuvaihtoehtojen kartoitus. Pdf-dokumentti. Viitattu 26.3.2023. https://www.rt.fi/globalassets/rakentamisen-kehittaminen/matkapuhelinten_kuuluvuusongelmat_raportti.pdf

CableFree. 2020. 5G Frequency Bands & Spectrum Allocations. Verkkosivu. Viitattu 24.3.2023. https://www.cablefree.net/wirelesstechnology/4glte/5g-frequency-bands-lte/

DNA. 2022. 2G, 3G, 4G, 5G – mitä väliä IoT:ssa?. Verkkosivu. Viitattu 22.2.2023. https://www.dna.fi/yrityksille/blogi/-/blogs/2g-3g-4g-5g-mita-valia-iot-ssa

DNA. 2022. Yhteisverkossa uusi 5G-taajuusalue käyttöön kesän aikana – paremmat yhteydet festareille, mökkireissuille ja matkoille. Verkkosivu. Viitattu 28.2.2023. https://www.sttinfo.fi/tiedote/yhteisverkossa-uusi-5g-taajuusalue-kayttoon-kesan-aikana-paremmat-yhteydet-festareille-mokkireissuille-ja-matkoille?publisherId=1881&releaseId=69945827

DMC. n.d. Antenna Anechoic Chamber. Verkkosivu. Viitattu 23.3.2023. https://www.dmcrf.com/antenna-anechoic-chamber/

FINNFOAM. n.d. FF-SIGNAL VIE VERKON VAHVANA LÄPI RAKENTEIDEN. Verkkosivu. Viitattu 16.2.2023. https://finnfoam.fi/tuotteet/ff-signal/

Ilmasto-opas.fi. 2022. Rakennusten lämmitys kuluttaa runsaasti energiaa. Verkkosivu. Viitattu 2.3.2023. https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/rakennusten-lammitys-kuluttaa-runsaasti-energiaa

issuu. 2019. Tiilijulkisivujen rakennedetaljit. Verkkosivu. Viitattu 24.2.2023. https://issuu.com/kivirakentaminen/docs/tiilijulkisivujen_ulkoseinarakenne/6

Kerabit. n.d. Bitumikatto vai huopakatto – onko niillä eroa?. Verkkosivu. Viitattu 25.2.2023. https://www.kerabit.fi/yritys/blogi/bitumikatto-vai-huopakatto

Kinnunen, M. 2015. Markkula, H. 1975. Televisiot murskaksi kirveellä (päivitetty 7.4.2017). Verkkosivu. Viitattu 21.2.2023. https://maurikin.blogspot.com/2015/06/televisiot-murskaksi-kirveella.html

Lasiposti. 2023. Selektiivilasi eli lämpölasi. Verkkosivu. Viitattu 16.2.2023. https://www.lasiposti.fi/rakentajan-lasiopas/selektiivilasi-eli-lampolasi/

Lehto. M. SUOMEN ILMAVOIMIEN JOHTAMISJÄRJESTELMÄN EVOLUUTIO ILMASOTATEORIAN, KANSALLISTEN INSTITUUTIOIDEN JA JOHTAMISJÄRJESTELMÄN ULKOMAISEN KEHITYKSEN NÄKÖKULMASTA. Pdf-dokumentti. Viitattu 18.2.2023. https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/78635/Lehto_Martti_V__itoskirja_netti.pdf?sequence=5&isAllowed=y

Linnake, T, IS. 2021. HS: 30 vuotta sitten soitetun ”ensimmäisen gsm-puhelun” takana oli kaksi huijausta – toisesta ei tiedetty aiemmin. Verkkosivu. Viitattu 10.2.2023. https://www.is.fi/digitoday/mobiili/art-2000008095175.html

OEC Fiber. 2023. Stop the Slowdown. Verkkosivu. Viitattu 14.2.2023. https://oecfiber.com/troubleshooting/

Ollakka, M. 2019. 5G-verkon kehityksen kolme vaihetta – kunnes tulee 6G. Verkkosivu. Viitattu 23.2.2023. https://www.erillisverkot.fi/5g-verkon-kehityksen-kolme-vaihetta-kunnes-tulee-6g/

Pihla Group Oy. 2021. Antennilasi. Pdf-dokumentti. Viitattu 16.2.2023. https://www.pihlapro.fi/app/uploads/sites/3/2021/09/antennilasi-ohje-2021-09.pdf

Mölsä, S. & Vinha, J. 2015. Rakennuslehti. Miksi sata vuotta sitten osattiin rakentaa parempia taloja kuin nyt?. Verkkosivu. Viitattu 2.3.2023. https://www.rakennuslehti.fi/2015/11/miksi-sata-vuotta-sitten-osattiin-rakentaa-parempia-taloja-kuin-nyt/#comments

Rantala, A. 2020. Kurssi: Langattomat tietoliikennejärjestelmät. Luentomoniste TAMK. 3G EVOLUUTIO. Pdf-dokumentti. Viitattu 27.2.2023.

Rantala, A. 2020. Kurssi: Langattomat tietoliikennejärjestelmät. Luentomoniste TAMK. OSA 1 MÄÄRITTELYJÄ. Pdf-dokumentti. Viitattu 27.2.2023.

Rantala, A. 2023. Kurssi: Radioverkkosuunnittelu. Luentomoniste TAMK. HAJASPEKTRITEKNIIKKA. Pdf-dokumentti. Viitattu 22.2.2023.

Rohde & Schwarz. 2022. R&S®SMBV100B VECTOR SIGNAL GENERATOR Specifications. Pdf-dokumentti. Viitattu 8.2.2023. https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/SMBV100B_dat-sw_en_3607-8201-22_v0901.pdf

SKMM. 2007. TECHNICAL SPECIFICATION FOR IMT-2000 THIRD-GENERATION (3G) CELLULAR MOBILE TERMINALS. Pdf-dokumentti. Viitattu 22.2.2023. https://www.mcmc.gov.my/skmmgovmy/files/attachments/WTS_IMT_MT.pdf

SPU-ERISTEET. n.d. Kännykkäkuuluvuuden varmistava ratkaisu. Pdf-dokumentti. Viitattu 1.3.2023. https://www.netrauta.fi/attachments/products/spu/yleinen/kannykkakuuluvuus_infokortti.pdf

Staven, H. 2019. Neljä käyttötapausta Edge Computingiin eli reunalaskentaan. Verkkosivu. Viitattu 28.2.2023. https://www.inmicsnebula.fi/fi/blogi/nelja-kayttotapausta-edge-computingiin-eli-reunalaskentaan

Stone, W. 1997. NIST Construction Automation Program Report No. 3 Electromagnetic Signal Attenuation in Construction Materials. Verkkosivu. Viitattu 13.2.2023. https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/IR/nistir6055.pdf

Tieto.Traficom. 2023. Viestintäverkoissa siirretty tieto. Verkkosivu. Viitattu 27.2.2023. https://tieto.traficom.fi/fi/tilastot/viestintaverkoissa-siirretty-tieto?_ga=2.163971515.548228749.1676977017-886110083.1676977017&toggle=Muita%20tietol%C3%A4hteit%C3%A4%20ja%20lis%C3%A4tietoja&toggle=Tilastokuvaus

TKK | Tietoverkkolaboratorio. 1999. Matkapuhelinten sukupolvet. Verkkosivu. Viitattu 9.2.2023. https://www.netlab.tkk.fi/opetus/s38118/s99/htyo/47/1sp.shtml

TKK | Tietoverkkolaboratorio. 1999. Matkapuhelinten sukupolvet. Verkkosivu. Viitattu 10.2.2023. https://www.netlab.tkk.fi/opetus/s38118/s99/htyo/47/1sp.shtml

TP-Link. 2023. Antennas | TL-ANT 2408C. Verkkosivu. Viitattu 8.2.2023. https://www.tp-link.com/us/home-networking/antenna/tl-ant2408c/#specifications

Traficom. 2020. 5G Suomessa. Pdf-dokumentti. Viitattu 28.2.2023. https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/5G%20Suomessa_20201229.pdf

Traficom. 2022. Matkaviestinverkkojen taajuudet ja luvanhaltijat. Verkkosivu. Viitattu 27.2.2023. https://www.traficom.fi/fi/viestinta/viestintaverkot/matkaviestinverkkojen-taajuudet-ja-luvanhaltijat

Traficom. 2020. Määräys viestintäverkon kriittisistä osista. Pdf-dokumentti. Viitattu 28.2.2023. https://www.kyberturvallisuuskeskus.fi/sites/default/files/media/regulation/M%C3%A4%C3%A4r%C3%A4ys%20viestint%C3%A4verkon%20kriittisist%C3%A4%20osista%20perustelumuistio.pdf

Traficom. 2019. Oikeutesi viestinnän peruspalveluihin. Verkkosivu. Viitattu 2.3.2023. https://www.traficom.fi/fi/viestinta/laajakaista-ja-puhelin/oikeutesi-viestinnan-peruspalveluihin

Traficom. 2019. Opas matkapuhelinverkkojen sisätilakuuluvuudesta. Pdf-dokumentti. Viitattu 1.3.2023. https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/publication/Opas-matkapuhelinverkkojen-sisatilakuuluvuudesta.pdf

Vitro. n.d. Radio and Microwave Frequency Attenuation in Glass. Pdf-dokumentti. Viitattu 16.2.2023. https://www.vitroglazings.com/media/1l1k3zcc/vitro-td-151.pdf

Wikipedia. 2022. Desibeli. Verkkosivu. Viitattu 5.3.2023. https://fi.wikipedia.org/wiki/Desibeli

Wikipedia. 2022. GPRS. Verkkosivu. Viitattu 17.2. 2023. https://fi.wikipedia.org/wiki/GPRS

Wikipedia. 2022. IMT-2000. Verkkosivu. Viitattu 22.2.2023. https://en.wikipedia.org/wiki/IMT-2000

Wikipedia. 2023. LTE Advanced. Verkkosivu. Viitattu. 27.2.2023. https://en.wikipedia.org/wiki/LTE_Advanced

Wikipedia. 2023. Puhelin. Verkkosivu. Viitattu 14.2.2023. https://fi.wikipedia.org/wiki/Puhelin

Wikipedia. 2022. Sähkömagnetismi. Verkkosivu. Viitattu 14.2.2023. https://fi.wikipedia.org/wiki/S%C3%A4hk%C3%B6magnetismi

Wikipedia. 2022. Tutka. Verkkosivu. Viitattu 21.2.2023. https://fi.wikipedia.org/wiki/Tutka#Sotilaallinen_k%C3%A4ytt%C3%B6

Wikipedia. 2023. ULA. Verkkosivu. Viitattu 20.2.2023. https://fi.wikipedia.org/wiki/ULA

Wikipedia. 2023. UMTS. Verkkosivu. Viitattu 22.2.2023. https://fi.wikipedia.org/wiki/UMTS

Wikipedia. 2020. W-CDMA. Verkkosivu. Viitattu 22.2.2023. https://fi.wikipedia.org/wiki/W-CDMA

Wikipedia. 2023. Wi-Fi. Verkkosivu. Viitattu 15.2.2023. https://fi.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi

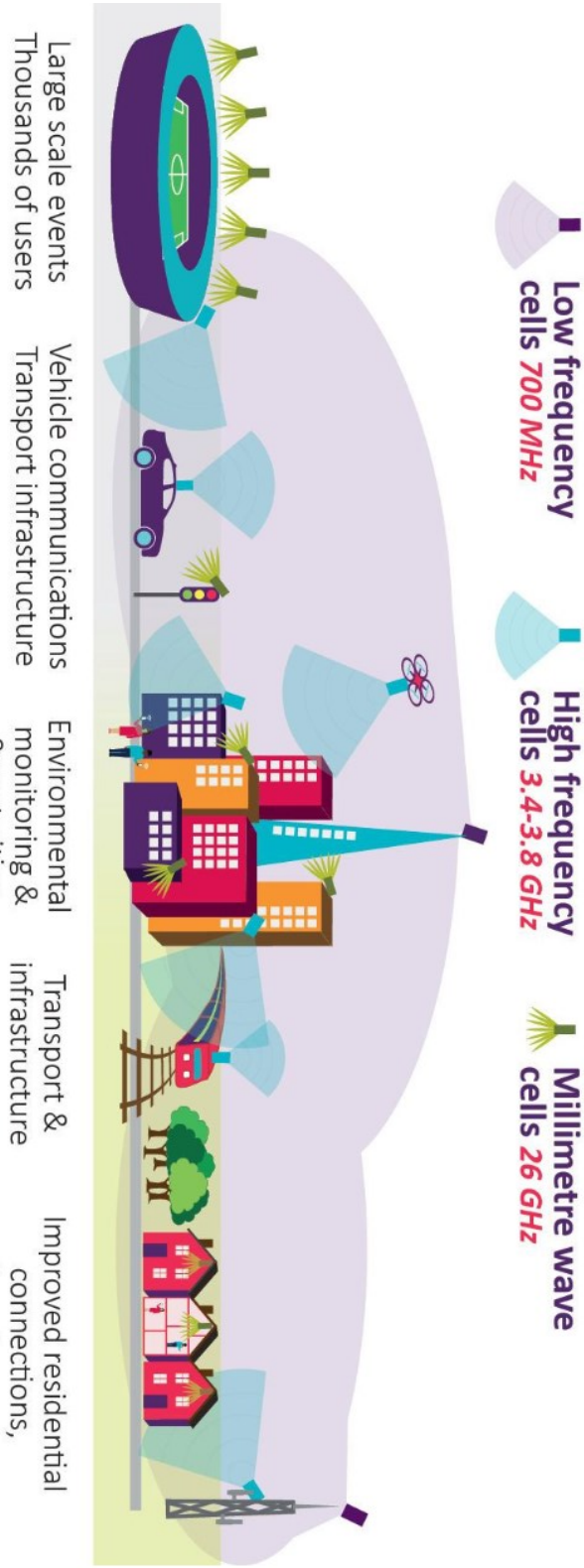
Wikipedia. 2023. 3GPP. Verkkosivu. Viitattu 23.2.2023. https://en.wikipedia.org/wiki/3GPP

Yle. 2020. Ylen vuosikymmenet. Verkkosivu. Viitattu 20.2.2023. https://yle.fi/aihe/artikkeli/ylen-vuosikymmenet

Zitting, M. Kallioon kaiverrettu koti - näin asuu nykypäivän luolamies. Verkkosivu. Viitattu 23.2.2023. https://www.iltalehti.fi/asuminen/a/2016011320952901

LIITTEET

Liite 1. Havainnekuva matkaviestinverkkojen peittoalueiden toteutuksesta tulevaisuudessa.



(CableFree 2020)

Liite 2. Antennilasin toimintaperiaate ja laboratoriomittaustulokset.

Antennilasi
Suunnitteluohje

20.8.2021
v1.4

1. Mobiiliteknologia ja rakennusvaipan vaimennus

Energiatehokkaiden talojen ulkoseinät, energiatehokkaat ikkunat ja tiivis kaupunkirakentaminen vaimentavat mobiilisignaaleja heikentämällä dataverkon toimintaa ja puhelimen kuuluvuutta sisätiloissa. Tämän seurauksena eteen saattaa tulla yllättäen tilanteita, joissa puhelin toimii vain tietyssä osassa rakennusta – tai pahimmillaan signaalit eivät pääse sisätiloihin lainkaan.

Rakennusten julkisivujen vaimennukset vaihtelevat välillä 5-30 dB, ja joskus jopa enemmän. Betonikerrostalojen rakennusvaipan mobiilisignaalin vaimennus vaihtelee myös laajalla alueella 20 – 40 dB (lisätietoja RT-kortti Matkaviestinkuuluvuus rakennuksissa, RT-80-11252).

Esimerkiksi, jos ulkona on 3G-verkossa keskimäärin tehotasona -80 dBm ja tämä vaimenee julkisivujen rakennevaimennuksen takia 20 dB, saadaan sisätiloihin keskimäärin -100 dBm tehotaso. Tämä tehotaso on jo heikompi, millä suuri osa kaupallisista puhelimista on suunniteltu toimimaan.

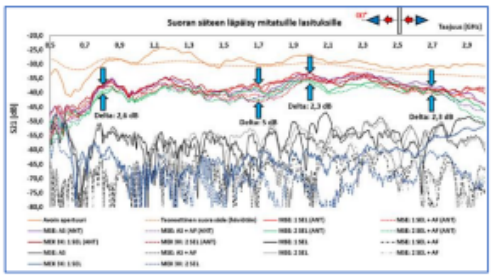
Matkapuhelinverkko on rakennettu niin, että sisällä oleva puhelin tukeutuu ulkona olevaan tukiasemaverkostoon ja liian heikko signaali saa puhelimen toiminnan epävakaaksi. Ongelmat ilmenevät mm. heikkeneenä yhteysnopeutena, puheluiden katkeamisena, puhelimen säteilevän tehon nousuna.

2. Antennilasin toiminta

Kuva 1. Antenni on työstetty jokaiseen selektiivilasiin lähes huomaamattomasti.

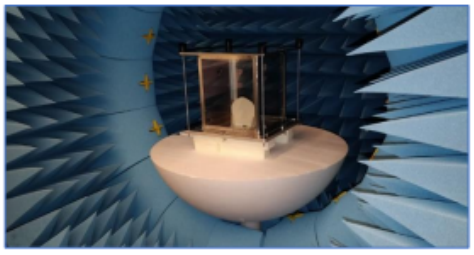
Antennilasi vähentää julkisivun vaimennusta ja päästää siten ulkoisen verkon kytkeytymään sisätiloihin tehokkaammin

Toisin kuin vanhat ratkaisut, uuden sukupolven Antennilasiratkaisu ei heikennä lasin visuaalista laatua, sillä se on valmistettu vain kapealle alueelle lasin reunassa.



Kuva 2. Laboratoriomittauksissa havaitaan, että antennilasirakenne toimii lähes samalla tasolla riippumatta selektiivilasien määrästä. Yleensä selektiivilaseja on ikkunoissa 1-3 kpl.

Kuvassa 2 on esitetty useimpien lasikombinaatioiden kohtisuora läpäisymittaus 4G taajuusalueilla. Voimakkaimmat vaimennukset havaitaan luonnollisesti ikkunoissa, joissa on 2 tai jopa kolme selektiivilasia. Antennin ja avoimen apertuurin mittauskäyrien ero johtuu osaksi vaimennuksesta ja osaksi signaalin tehon jakamisesta sivuille. Antenniosan vaimennusmittaus on esitetty kuvassa 3, jonka 3D-mittauksessa on keilan levittämisen vaikutus saatu poistettua. Antennilasikuvio on työstetty jokaiseen peräkkäiseen selektiivilasiin, jonka ansiosta koko lasirakenteen signaalinläpäisyvaimennus on pieni.



Kuva 3. Antennilasin vaimennus mitattiin langattomille signaaleille 3D-mittauksena käyttämällä Satimo Starlab-järjestelmää.

Mittauksessa määritettiin kokonaisteho, joka läpäisee antennilasin. Tarkoitusta varten valmistettiin lasikuutioita erilaisilla lasituksilla, ja lasikuutioiden sisälle sijoitettiin lähettävä testiantenni.

Lähettävän antennin säteilyhyötysuhde mitattiin ensin vapaassa tilassa, ja tämän jälkeen lasista valmistettujen kuutioiden sisälle sijoitettuna. Mittauksessa määritettiin ensin testiantennin kokonaishyötysuhde (3D), ja tästä poistettiin testiantennin impedanssiepäsovituksen vaikutukset. Näin saatu säteilyhyötysuhde eri mittaustilanteiden välillä käsittää vain lasiratkaisujen materiaalien aiheuttaman häviön, ja näin ollen eri mittaukset ovat vertailukelpoisia.

PIHLA GROUP OY

STEALTHCASE

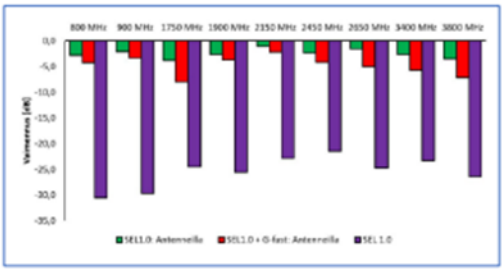
Varaamme oikeuden teknisiin tuotemuutoksiin ilman eri ilmoitusta.

(Pihla Group Oy 2021)

Liite 3. Antennilasin vaimennus, tuoteominaisuudet ja yleisohje.

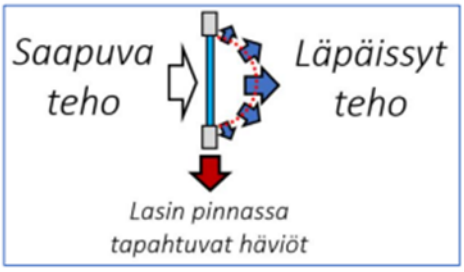
Antennilasi
Suunnitteluohje

20.8.2021
v1.4



Kuva 4. Antennilasin vaimennus langattomille signaaleille mitattiin sekä yhden selektiivilasin (SEL1.0), että kahden selektiivilasin läpi (SEL 1.0 + G-fast).

Passiivisilla signaalia toistavilla ratkaisuilla pyritään minimoimaan rakenteessa tapahtuvat häviöt ja maksimoimaan rakenteen läpäissyt teho. Läpäissyt teho leviää lasin toisella puolella sijaitsevaan tilaan (sisälle huoneeseen tai huoneesta ulkoilmaan). Tehon leviäminen on erilainen eri ratkaisuilla. Läpäissyt kokonaisteho saadaan mitattua vain 3D mittauksena, mutta eri suuntiin leviävän energian intensiteettiä (kuva 5. pienet siniset nuolet) voidaan mitata yksittäisillä vastaanottoantenneilla, kuten kuvan 2 mittauksissa on tehty kohtisuoraan läpäisseelle säteelle.



Kuva 5. Antennilasin levittää kokonaistehon viuhkamaisesti myös sivusuuntiin.

Leveä horisontaalinen antennikeila lisää todennäköisyyttä sille, että useamman matkapuhelinoperaattorin signaalit saadaan suoraan tai heijastusten kautta kerättyä sisälle rakennukseen. Vastaavasti myös rakennuksen sisätilaan muodostettu leveä antennikeila jakaa signaalia laajasti huonetilaan myös sivusuunnissa.

3. Tuoteominaisuudet

- Saatavilla kaikkiin uusiin ikkunoihin ja oviin, joissa on lasia.
- Ei tuoterajoituksia:
  - värityksessä
  - koossa (mieluiten > 3M korkea)
  - lisävarusteissa.
- Antennilasi on suunniteltu toimimaan myös metallisten säleverhojen kanssa.
- Ei rajoituksia tuotteiden mitoituksessa tai asentamisessa
- Ekologinen ratkaisu, ei vaadi sähköä tai huoltoa.
- Toimii 700 - 3800 MHz välisillä mobiililaitteiden toimintataajuuksilla

4. Antennien sijainti ja lukumäärä

4.1. Yleisohje

Suosittelemme antennilasin sijoittamista jokaiseen ikkunaan / lasipintaan.

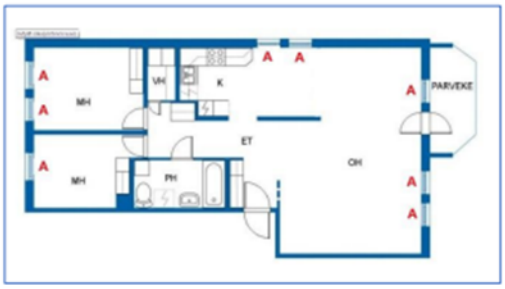
Kenttämittausten kokemuksien perusteella tiedämme, että operaattorien, tukiasemasijaintien, varjoalueiden ja häiriötasojen suhteen huoneistojen välillä on valtavia eroja. On tyypillistä, että yhdessä testipaikassa yhden tai kahden operaattorin verkkopeitto poikkeaa olennaisesti muista, mutta tilanne voi olla päinvastainen esimerkiksi korttelin päässä, tai jopa toisella puolella rakennusta.

Antenni toimii myös tehokkaana mobiilireitittimen lisäantennina, kun reititin sijoitetaan integroidun antennin läheisyyteen.

4.2. Esimerkki

Alla olevassa pohjakuvassa on esitetty ikkunaan integroituja antennilaseja (A) perusohjeen mukaisesti:

- yksi jokaiseen ikkunaan
- isompaan tilaan useampia
- useampaan ilmansuuntaan



Kuva 3 Kuvassa esimerkki ikkunaan integroitujen antennien sijainnista kerrostalokolmiossa (A = antenni ikkunassa). Kuvassa minimimäärä antenneja per huoneisto. Piirustuksiin yksilöidään esim. F1/ANT. Antenni sijaitsee ikkunayksikössä pystysivulla vasemmassa reunassa.

PIHLA GROUP OY

STEALTHCASE

Varaamme oikeuden teknisiin tuotemuutoksiin ilman eri ilmoitusta.

(Pihla Group Oy 2021)