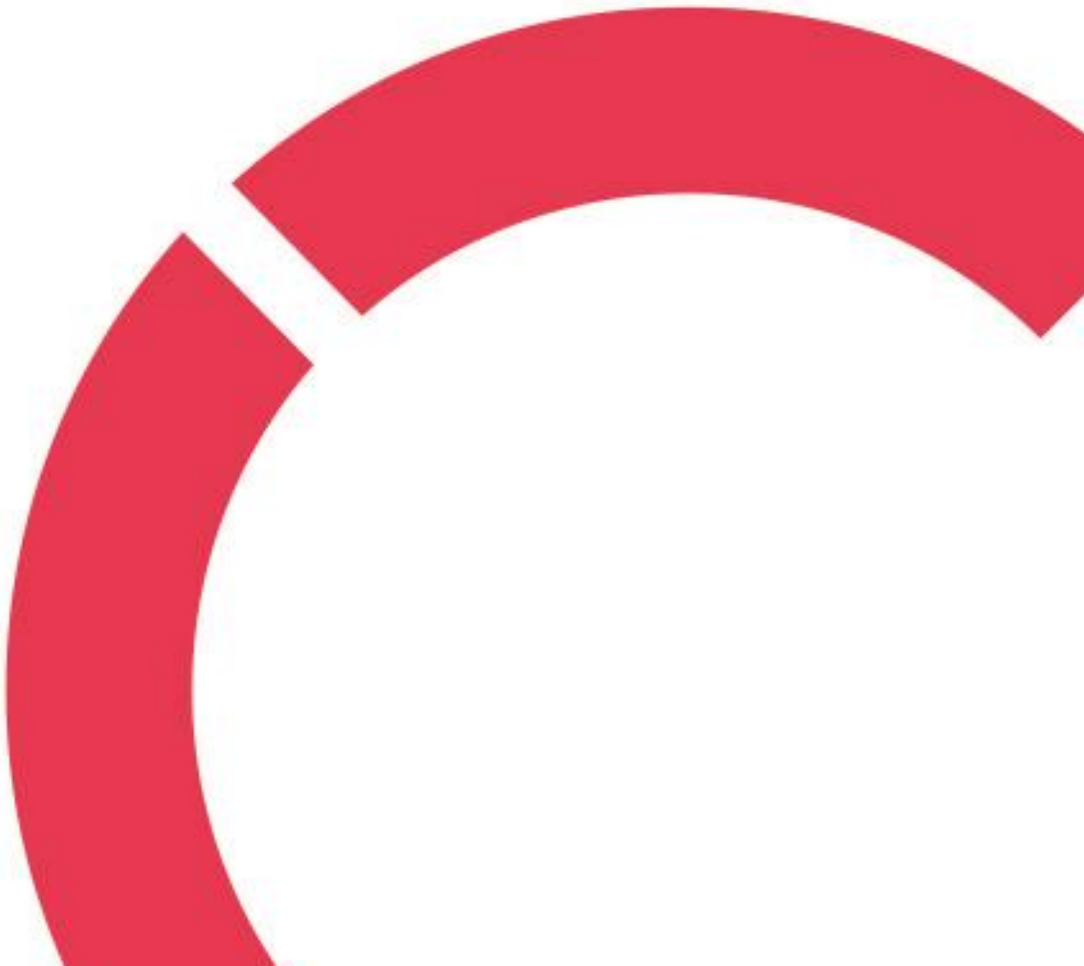
Santeri Julius Peltokangas

UBIQUITI WI-FI 6E MESH-VERKON KÄYTTÖÖNOTTO JA HYÖDYT PIENYRITYSYMPÄRISTÖSSÄ

Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Tieto- ja viestintätekniikan koulutus
Syyskuu 2023



TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Centria-ammattikorkeakoulu	**Aika** Syyskuu 2023	**Tekijä/tekijät** Santeri Julius Peltokangas
Koulutus Tieto- ja viestintätekniikka		☒ AMK ☐ YAMK
Työn nimi UBIQUITI WI-FI 6E MESH-VERKON KÄYTTÖÖNOTTO JA HYÖDYT PIENYRITYSYMPÄRISTÖSSÄ		
Työn ohjaaja Jari Isohanni		**Sivumäärä** 34
Työelämäohjaaja -		

Lähes jokainen pienyritys Suomessa omistaa WLAN-verkon. Verkkolaitteita päivitetään yleensä muutaman vuoden välein, minkä vuoksi on tärkeää tuntea uusimpien, usein kalliimpien, tekniikoiden käytännön hyödyt yrityksen toiminnalle.

Tässä työssä tutkittiin korkeammalla 6 gigahertsin taajuuskaistalla toimivan Wi-Fi 6E -tekniikan hyötyjä pienyrityskäytössä. Laitteistona käytettiin kahta Ubiquitin UniFi 6 Enterprise -tukiasemaa. Yksittäisen tukiaseman nopeutta ja tehoa 6 gigahertsin alueella verrattiin laajasti käytössä olevaan 5 gigahertsin taajuuskaistaan, ja kahdesta tukiasemasta koostuvan mesh-verkon käyttöönotto käytiin läpi.

Rajoittuneen tuen vuoksi Wi-Fi 6E -tekniikka ei ole vielä tämän opinnäytetyön julkaisun aikaan erityistapauksia lukuun ottamatta kovin hyödyllinen pienyrityskäytössä. Useimmat laitteet eivät tue 6 gigahertsin taajuuskaistaa, eikä siitä saatu hyöty ole useimmissa tapauksissa ratkaisevaa. Eniten Wi-Fi 6E -tekniikasta tämän opinnäytetyön julkaisun aikaan hyötyvät tiheään pakatuissa yritystaloissa sijaitsevat uusimman sukupolven tietokoneilla ja erittäin nopealla valokuituyhteydellä varustetut pienyritykset.

Tämän opinnäytetyön mittausosuus tehtiin Keski-Pohjanmaan Konttoripisteen 490 neliömetrin toimistotiloissa Kokkolassa. Käytetyt tukiasemat ja mittauksiin käytetty Fujitsun U7412-tietokone ovat Konttoripisteen omaisuutta. Työtä ei ole tehty kenellekään asiakkaalle tilauksena.

Asiasanat
6 gigahertsiä, langaton tiedonsiirto, mesh-verkko, taajuusalue, Ubiquiti, verkon nopeus, Wi-Fi 6E, WLAN

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	**Date** September 2023	**Author** Santeri Julius Peltokangas
Degree programme Bachelor of Engineering, Information Technology		
Name of thesis UBIQUITI WI-FI 6E MESH NETWORK SETUP AND BENEFITS FOR SMALL BUSINESS USE		
Centria supervisor Jari Isohanni		**Pages** 34
Instructor representing commissioning institution or company -		

Almost every Finnish company owns a WLAN network. Wireless access points are usually upgraded every couple of years, which is why it's important to know the practical benefits of the latest standards. Newer standards are usually more expensive and less widely supported.

This thesis studied the benefits of a higher-range 6 gigahertz Wi-Fi 6E -network for small businesses. Network hardware consisted of two Ubiquiti UniFi 6 Enterprise access points. The speed of a singular access point was tested across the 6 gigahertz and 5 gigahertz ranges, and the setup of a dual device mesh network was detailed.

Due to limited support, there's little benefit to Wi-Fi 6E technology in small business use at the time this thesis was published. Most devices lack support for the 6 gigahertz range, and its benefits are not decisively clear in most cases. Exceptions do exist, like a small business equipped with latest generation laptops and an extremely fast fiber optic connection, located in a densely packed business center.

The measurements for this thesis were conducted in the 490 square meter office spaces of Keski-Pohjanmaan Konttoripiste in Kokkola. The network equipment and the Fujitsu U7412 laptop used in this work are the property of Konttoripiste. This thesis was not made for any particular client.

Key words
6 gigahertz, frequency band, mesh network, network speed, Ubiquiti, Wi-Fi 6E, wireless communication, WLAN

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
SISÄLLYS

1 JOHDANTO 1

2 WLANIN TOIMINNAN PERUSTEET 2

3 WI-FIN HISTORIA 5

4 WLAN-MODULAATIOTEKNIIKAT 8
4.1 DSSS-modulaatio 8
4.2 OFDM-modulaatio 9

5 TAAJUUSKAISTAT JA MIMO 11
5.1 Taajuusalueet 11
5.2 MIMO 13

6 WI-FI 6E, 802.11AX JA ODFMA 15

7 MESH-VERKOT 17

8 TYÖN TAUSTOITUS 19
8.1 Ubiquiti verkkolaitevalmistajana 19
8.2 Työn laitteisto ja ohjelmat 21
8.3 Työn mittaustavat ja tavoitteet 22

9 UNIFI NETWORK SERVERIN ASENNUS WINDOWSILLE 23
9.1 Wi-Fi 6E-verkon asetusten määritys 25
9.2 Langallisen mesh-verkon luominen 27
9.3 Langattoman mesh-verkon luominen 27

10 KUULUVUUS- JA NOPEUSMITTAUKSET 29
10.1 Latausnopeus 30
10.2 Latenssi 31
10.3 UniFi Design Center 31

11 YHTEENVETO JA SUOSITUKSET 33

LÄHTEET 35

KUVIOT

KUVIO 1. Elektromagneettisen säteilyn eri taajuusalueet ja aallonpituus metreissä 3
KUVIO 2. Esimerkki DSSS-modulaatiossa käytetystä 8-numeroisesta varmennuskoodista. 9
KUVIO 3. Esimerkki kohtisuorasta signaalien asettelusta, jolla voidaan pakata vierekkäisiä tietovirtoja pienempään tilaan häiriöttä 10
KUVIO 4. 2,4 gigahertsin alueen WLAN-taajuuskaistat 11
KUVIO 5. Esimerkki 4x4 MIMO-asetelmasta 14
KUVIO 6. Esimerkki OFDMA:n mahdollistamasta tehokkaammasta tilankäytöstä 16
KUVIO 7. UniFi Design Centerillä mallinnettu testiympäristö 22

KUVIO 8. UniFi Network Server -sovellus.....23
KUVIO 9. Verkkoselaimessa jatkuva UniFi Network Serverin asennusprosessi 24
KUVIO 10. Ubiquitin Network Server -hallintapaneelin etusivu.....25
KUVIO 11. 5 gigahertsin ja 6 gigahertsin taajuusalueet eriytettynä omiksi verkoikseen 26
KUVIO 12. Kaikkia verkon tukiasemia oletuksena koskevat asetukset taajuusalueista 26
KUVIO 13. Laitehallinta, jossa yksi tukiasema odottaa adoptointia. 27
KUVIO 14. Ethernet-kaapelilla liitetystä pääsolmusta ja langattomasti liitetystä solmusta koostuva mesh-verkko.....28
KUVIO 15. Latausnopeudet mitattuna Fujitsu U7412 -kannettavalla tietokoneella. 30
KUVIO 16. Latausnopeuden latenssi mitattuna Fujitsun U7412 -kannettavalla tietokoneella 31
KUVIO 17. UniFi Design Center -mallinnus testiasetelmasta UniFi U6 Enterprise -tukiasemalla. 32

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Ubiquitin verkkosivuilla myynnissä olevat UniFi Flagship-tukiasemat.....19

1 JOHDANTO

Internet on olennainen osa jokaisen yrityksen päivittäistä toimintaa. Yhä useammat jakelukanavat ja asiakkaat ovat siirtyneet internet-palveluiden pariin, mikä tekee ilman sitä yritysmaailmassa toimimisesta lähes mahdotonta. Internet mahdollistaa yrittäjille helpomman yhteydenpidon asiakkaisiin ja tehokkaammat mahdollisuudet mainostaa yritystoimintaa oikealle kohdeyleisölle.

Langattomien yhteyksien ansiosta internetiin pääsee nykyään lähes mistä tahansa. Tiedon ei tarvitse kulkea johtoa pitkin, vaan sitä voidaan siirtää vaivattomasti mihin tahansa paikkaan ja kerrokseen rakennuksessa, ilman tarvetta rajoittavalle kaapeloinnille. Mainostetut WLAN-nopeudet ovat kasvaneet vuosien saatossa huomattavasti uusien WLAN-standardien myötä. Uudemmat verkkolaitteet ovat vanhemmalla tekniikalla toteutettuja verkkolaitteita kalliimpia. On siis olennaista tietää, missä tilanteissa uusista teoriassa nopeista standardeista on käytännön hyötyä ja onko uudemman ja nopeamman langattoman verkon hankkimiseen käytetty lisäbudjetti rahan arvoista.

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan Ubiquitin langattomista tukiasemista muodostuvan Wi-Fi 6E -verkon nopeutta ja kuuluvuutta oikeassa toimistoympäristössä. Mittaukset toimivat pohjana käytännön ehdotuksille nopeasta ja hyvin kuuluvasta langattomasta verkkoratkaisusta, ottaen huomioon käyttäjien olemassa olevat laitteet ja laajakaistan nopeus. Suositukset keskittyvät erityisesti pienyrityksiin, joissa langatonta verkkoa käyttää yhtäaikaisesti korkeintaan noin 10 käyttäjää.

Tässä työssä käydään läpi myös Ubiquitin langattoman verkon käyttöönottoprosessi, kahden laitteen mesh-verkon luominen ja hallintaohjelman käyttö. Hallintaohjelman, UniFi Network Serverin, voi asentaa lähes mille tahansa tietokoneelle. Sen avulla voidaan hallita usean tukiaseman verkkoa, muuttaa laitteiden asetuksia ja adoptoida verkkoon uusia laitteita.

Mittaukset tehdään Keski-Pohjanmaan Konttoripisteen 490 neliömetrin Kokkolan toimitiloissa. Todellista signaalin kuuluvuutta verrataan Ubiquitin suunnittelutyökaluun, joka arvioi Ubiquitin laitteiden kuuluvuuden rakennuksen pohjapiirustusten perusteella. Monet pienyritysten toimitilat ovat Konttoripisteen Kokkolan toimistoa pienempiä, mikä vaikuttaa ratkaisevasti vaadittuun tukiasemien määrään.

2 WLANIN TOIMINNAN PERUSTEET

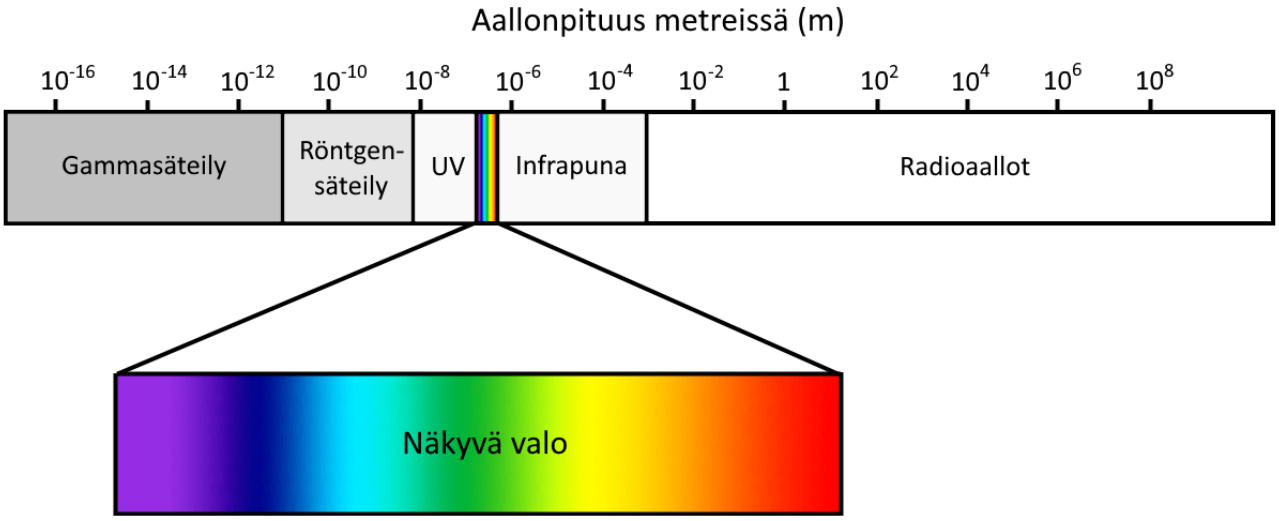
Tietoa on historian alusta saakka siirretty paikasta toiseen vaihtelevalla tehokkuudella ja nopeudella. Sitä on kirjoitettu papereille, koottu kirjoiksi ja kasattu valtaviksi kaikenkattaviksi kirjastoiksi. Jos tätä fyysisesti pakattua tietoa on halunnut pitää mukanaan oppimatta sitä ulkoa, on kirjoja täytynyt kantaa mukanaan tai niistä on täytynyt manuaalisesti tiivistää ainoastaan tärkeät osat fyysisesti pienempään muotoon.

Nykypäivänä tiedon siirtymistä langattomasti pidetään jokapäiväisenä itsestäänselvyytenä. Se voi tuntua jopa taianomaiselta, kun tiedon näkymätöntä ja välitöntä siirtymistä vertaa paperikääröjen ja kirjojen vaivalloiseen paikasta toiseen raahaamiseen. Langaton tiedonsiirto perustuu kuitenkin meidän tuntemaamme tieteeseen, kuten kaikki monimutkaiset ihmisten keksimät asiat. Tässä työssä selvitetään tämän tieteen taustoja ja sen uusimpien versioiden mahdollistamia käytännön hyötyjä.

Puhuminen on lähes jokaisen ihmisen luonnostaan harjoittamaa langatonta tiedonsiirtoa. Kun saamme ajatuksen, mielemme pakkaa sen sanoiksi ja siirtää tiedon suulle, joka lähettää tiedon ulospäin värähtelevän ilman muodossa. Toisen ihmisen värähtelevä tärykalvo ottaa vastaan ilman kautta siirretyn tiedon, josta se siirtyy purettavaksi aivoihin. Samanlaiseen lähettäjän ja vastaanottajan periaatteeseen perustuu myös radioviestintä, joka on WLAN-teknologian peruskivi. (NASA 2010.)

Isoimpana erona puheen ja radioviestinnän välillä on kuitenkin väliaineen puute. Radioaalloilla viestiminen ei vaadi fyysistä väliainetta kuljettamaan tietoa. Väliainetta ei tarvitse avaruuden läpi kulkeva auringon näkyvä valokaan, tai auringon iholla tuntuva lämpö. Näkyvä valo, auringon lämpö ja viestintään käytettävät radioaallot ovat kaikki elektromagneettista säteilyä. (NASA 2010.)

Elektromagneettisen säteilyn tyyppejä erottaa toisistaan energian määrä. Tiheään värähtelevä säteily sisältää enemmän energiaa. Auringon ultraviolettisäteily ja röntgensäteet ovat esimerkkejä tiheästä korkeaenergisestä säteilystä. Näkyvä valo on elektromagneettisten säteilytyyppien keskellä. Se ei sisällä yhtä paljon energiaa kuin auringosta tuleva lämpö, mutta silti radioaaltoja enemmän, jotka ovat elektromagneettisesta säteilystä vähäenergisintä. (Manning 2021.)



KUVIO 1. Elektromagneettisen säteilyn eri taajuusalueet ja aallonpituus metreissä, korkeasta energiasta matalaan energiaan (mukaillen Radio2Space 2013).

Vähäenergisten radioaaltojen yläpäässä sijaitsevat mikroaallot, joihin WLAN-teknologia perustuu. Vaikka niissä on näkyvään valoonkin verrattuna heikosti energiaa, radioaaltojen kategoriassa ne ovat korkeaenergisiä ja nopeaan värähteleviä. Värähtelytaajuus lasketaan hertseissä. Yksi hertsi tarkoittaa värähtelyä kerran sekunnissa. Mikroaallot värähtelevät 3–30 miljoonaa kertaa sekunnissa, eli niiden taajuus on 3–30 GHz. (NASA 2010.)

Jotta voidaan ymmärtää langatonta tiedonsiirtoa, on ensin ymmärrettävä langallisen tiedonsiirron perusteet. Langallisissa Ethernet-verkoissa tieto kulkee sähkösignaalien muodossa kuparisia kaapeleita pitkin. Sähköä johtava kaapelin sisäosa siirtää kaapelin päädyn sähkövaraustilan valon nopeudella kaapelin toiseen päätyyn. Lähes jokaisessa yrityksessä ja kotitaloudessa on jonkinlainen Ethernet-kytkentä. Niitä käytetään yhdistämään verkkolaitteita toisiinsa ja pöytätietokoneita internetiin reitittimen kautta. (Harmoush 2022.)

Tiedon siirtäminen tapahtuu kaapelissa nopeilla sähkopulsseilla. Tietokoneen tieto muutetaan ykkösiksi ja nolliksi, jotka muutetaan fyysisessä johdossa vastaamaan sähkövirtaa ja sähkövirran puutetta. Tämä sähköpulsseihin perustuva tiedonsiirto toimii erinomaisen hyvin yksittäisissä rakennuksissa ja kotiverkoissa pienillä välimatkoilla. (Harmoush 2022.)

Langattoman tiedonsiirron keskeinen teknologia on antenni. Se muuntaa sähköä elektromagneettiseksi säteilyksi ja elektromagneettista säteilyä takaisin sähköksi. Antenni imee itseensä osan sen läpi kulkevan signaalin säteilyn energiasta ja muuttaa sen erillisen vahvistimen kautta sähköpulssien sarjaksi. Tämä

sähköpulssien sarja sisältää tietoa fyysisen kaapelin kautta siirrettävän signaalin tavoin. Antenni vastaanottaa itseensä ainoastaan pienen määrän siihen osuvasta signaalista, jonka vuoksi oikea suuntaus on ratkaisevan tärkeää. Oikein viritetyllä ja suunnatulla antennilla voidaan lähettää radiosignaaleja tuhansien kilometrien päähän tai jopa ulkoavaruuteen. (Reckeweg & Rohner 2015.)

Kun ymmärrämme perustasolla langattoman tiedonsiirron, antennien ja tietokoneiden välisten verkkojen toiminnan, voimme paremmin ymmärtää WLANin ominaisuuksia ja heikkouksia. Koska elektromagneettinen säteily kattaa radioaaltojen lisäksi näkyvän valon, radioaaltojen käyttäytymisessä on samanlaisuuksia näkyvän valon käyttäytymiseen.

3 WI-FIN HISTORIA

WLANista, Wireless Local Area Networkista, käytetään yleisesti mainonnassa nimitystä Wi-Fi. Se on jo pitkään käytetty kaupallinen termi, jonka keksi brändikonsultointifirma Interbrand vuonna 1999. Nimen taustalla ei ole mitään syvällistä tarinaa, mutta se perustuu muunnelmaan termistä hi-fi, joka tarkoittaa äänentoiston maailmassa high-fidelityä, eli korkeaa tarkkuutta. Muutamalla termin alkuosan ”high” termiin ”wireless”, saatiin helposti mieleen jäävä sijaistermi WLANille. Wireless-Fidelity. (Interbrand London.)

WLANin alkutarina on pitkä, ja se sisältää useiden eri tiimien pitkäjänteistä työtä yhteisen ongelman ratkaisemiseksi. Useat eri asiantuntijaryhmät olivat 1990-luvun alkuun tultaessa kehittäneet omia ratkaisujaan nopeaan langattomaan tiedonsiirtoon mikroaalloilla. Yhteisen standardin tarve oli salamannopeasti kehittyvässä teknologiamaailmassa selvä. Ensimmäinen yleinen WLAN-standardi rekisteröitiin pitkän kehitysprosessin jälkeen vuonna 1997. (Kim & Lee 2015.)

Monimutkaisen alkutaipaleen vuoksi WLANin alkutarina ei ole aivan tismalleen yksiselkoinen, ja se riippuu paljolti lähteestä. Tämä on yleistä kaikille monimutkaisille ja monitahoisille projekteille. Kaikkein aikaisin kehitysidea syntyi kuitenkin vuonna 1968, jolloin Havaijin yliopiston professorit alkoivat tutkimaan ideaa langattomasta tietojen siirtämisestä tietokoneiden välillä. Projektin johdossa toimivat Franklin Kuo, Norman Abramson ja joukko yliopiston vanhempien vuosiluokkien oppilaita. Projektin nimeksi annettiin ALOHAnet. (Abramson 1985, 1.)

Kehitysprojekti osuu samaan aikakauteen kuin ensimmäiset Internetin käyttöönoton historialliset merkkipaalut. Ensimmäinen ARPANET-linkki perustettiin Standfordin yliopiston ja Kalifornian yliopiston välille vuonna 1969. ARPANET on nykyisen internetin varhaisin esiaste, jonka avulla kehitettiin useita nykyaikana käytössä olevia teknologioita. Tällä aikakaudella alettiin ymmärtää tietokoneiden potentiaalia viestinnässä, eikä pelkästään laskennassa. (Holkkola 2022.)

ALOHAnetin kehitystiimi törmäsi kehitysprosessin aikana useisiin perustavan tason langattoman tiedonsiirron ongelmiin. Tiimin piti keksiä ratkaisuja tietopakettien törmäämiseen ja matkalla välistä tippumiseen. Parhaaksi pienen skaalan ratkaisuksi todettiin random access -protokolla, jossa mikä tahansa verkon tietokone saa milloin tahansa lähettää tietopaketteja, ja vastaanottava laite kuittaa saaneensa ne

vastaan. Nämä alkupään perustevanlaatuiset ongelmat olivat samoja ongelmia, joita kaikki langatonta tiedonsiirtoa kehittävät tutkijat tulisivat kohtaamaan tulevaisuudessa. (Abramson 1985)

Vaikka ALOHAnet oli uraauurtavaa teknologiaa ja selvästi visio tulevaisuudesta, se ei tulisi olemaan kokeellisena projektina vielä pitkään aikaan kaupallistettava. Koska Havaijin yliopisto ei kyennyt myymään kehittämäänsä tekniikkaa kuluttajille, tutkimustiedot julkaistiin kaikkien vapaasti saataville. (Goodrich 2020.) Tämä auttoi tulevaisuuden kehitystä alalla merkittävästi.

1980-luvun puoliväliin tultaessa tietokoneteknologia alkoi olla kypsää yleistä langatonta tiedonsiirtostandardia varten. Tähän aikaan lukuisat yritykset kamppailivat keskenään ensimmäisen kaupallistettavan standardin kehittämisestä. Ehkä merkittävimpänä voidaan nostaa esille NCR ja sen kehittämä WaveLAN-teknologia. Kehitysprojektin johdossa toimivat insinöörit Vic Hayes ja Cees Links. Vaikka NCR oli pääosin pankkiautomaatteja ja kassakoneita valmistava yritys, idea saada pankkiautomaatit langattomiksi tulisi muovaamaan tietokoneiden tiedonsiirron historiaa. (Hetting 2017.)

WaveLAN tuli markkinoille vuonna 1990 kalliina, jokseenkin bugisena ja vaikeakäyttöisenä teknologiana. Sitä mainostettiin pääosin kassakoneiden ja pankkiautomaattien yhdistämiseen ilman kaapeloinnin tarvetta. Se kykeni kuitenkin myös ethernet-kaapeloinnin langattomaksi korvaajaksi jopa 2 Mbps nopeudella. WaveLANin taajuusalue oli 900–2400 MHz. Tekniikan vaikeakäyttöisyys ja lukuisat kilpailijat viestivät tarpeesta yhdennetylle standardille. Vuonna 1963 perustettu sähkötekniikan standardisointikomitea IEEE, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, alkoi näihin aikoihin ideoimaan langattoman tietokonetiedonsiirron standardisointia. (Hetting 2017)

Teknologiayritys NCR halusi Vic Hayesin esittävän WaveLANin IEEE:lle yrityksen itse kehittämänä patentoituna ratkaisuna. Hayes kuitenkin kieltäytyi tästä, haluten esitellä kehittämänsä teknologian standardisointia varten ilman minkään yrityksen omistusleimaa. NCR suostui tähän, päämotiivina paremmat mahdollisuudet standardisoinnille ilman taustayrityksen leimaa. Suunnitelma onnistui ja Hayes valittiin lopulta IEEE:n 802.11-kehityskomitean puheenjohtajaksi. (Van Etten 2020)

Hayesin johtama ryhmä teki useita vuosia monimutkaista ja vaativaa kehitystyötä, joka kulminoitui 802.11-standardin viralliseen julkistamiseen vuonna 1997. 802.11-standardi on yhä nykyäänkin käytössä oleva IEEE:n standardi WLAN-verkoille. (Links 2022.)

Ensimmäinen versio 802.11-standardista, nimeltään 802.11–1997, oli jokseenkin sekalainen kompromissi. Tämä johtui sen ajan sekalaisesta laitteistosta, jota standardin tuli palvella mahdollisimman kattavasti. Standardi salli esimerkiksi tiedon siirtämisen joko infrapunavalolla tai radioaalloilla. Myös taajuuden määrittämistavan vapaus vaikeutti täyden yhteensopivuuden takaamista. (Valadas, Moreira, Lomba, Tavares & Duarte 1998, 5.) Näiden ongelmien takia 802.11–1997 ei saanut koskaan vahvaa tuulta alleen, vaan kilpailevilla langattomilla standardeilla oli yhä paljon valtaa markkinoilla (Hetting 2017).

Hayesin tiimi jatkoi kuitenkin kehitysprojektiaan, tällä kertaa tavoitteenaan luoda kaksi uutta rinnakkaista tarkemmin määriteltyä standardia. Niiden nimiksi annettaisiin 802.11a ja 802.11b. A-versio toimisi korkeammalla 5 gigahertsin taajuuskaistalla, mahdollistaen jopa 54 Mbps tiedonsiirtonopeuden. B-versio toimisi alemmalla 2,4 gigahertsin taajuudella eri tekniikalla, rajoittaen nopeuden 11 megabittiin sekunnissa. Koska korkeampien taajuuksien kuuluvuus on heikompi ja niiden mahdollistamat nopeudet eivät tähän aikaan päässeet täyteen hyötyynsä, vähemmän tehokas 802.11b-standardi tuli markkinoille ensimmäisenä. Sen suosio määritti 2,4 gigahertsin radiotaajuuden WLANin oletusradiotaajuudeksi lähes kaikkialla maailmassa. (Links 2022.)

WLAN oli alussa lukemattomien kilpailijoiden villi länsi, kunnes tarve standardisoinnille kävi ilmi käytännön ongelmista ja tiimi asiantuntijoita kehitti kilpailijat yhdistävän pätevän standardin. Standardisoinnin ansiosta nykypäivänä WLAN-laitteiden ostaminen ei ole liian monimutkaista, eikä esimerkiksi tietyn valmistajan WLAN-laite toimi ainoastaan saman valmistajan laitteiden kanssa. Tällainen lähestymistapa voisi olla erittäin hyödyllistä verkkolaitteita valmistavien yritysten voittoprosentille. Kuluttajille se saattaisi taas osoittautua hyvinkin rasittavaksi ja kalliiksi. Standardisoinnin ansiosta kilpailu on reilumpaa ja kuluttajien valintamahdollisuudet ovat helpompia.

4 WLAN-MODULAATIOTEKNIIKAT

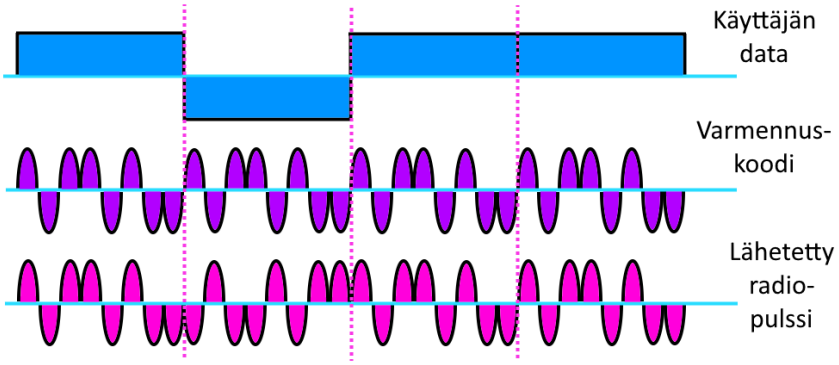
IEEE ei ole sittemmin lopettanut standardien luomista, vaan on kehittänyt uusia verkkolaitteita ja olosuhteita varten entistä tehokkaampia standardeja. Jotta voimme ymmärtää näiden standardien eroja ja toimintaa, on ensin ymmärrettävä tavat, joilla jokainen yksittäinen siirreltävä laite varaa itselleen viestintäkanavan WLAN-verkkolaitteelta. WLAN-tukiasema olisi hyvin rajoittunut, jos se kykenisi palvelemaan ainoastaan yksittäistä puhelinta tai tietokonetta kerrallaan. Erittäin rajoittavaa olisi myös, jos yhdessä tilassa voisi operoida ainoastaan yksittäinen tukiasema. Näitä ongelmia varten on kehitetty erilaisia tapoja jakaa radiotaajuusalueita käyttäjille.

4.1 DSSS-modulaatio

Otetaan esimerkiksi aiemmin mainittu vuonna 1999 julkaistu 802.11b-standardi, joka toimii 2,4 gigahertsin alueella ja kykenee 11 Mbps siirtonopeuteen. Tämä standardi käyttää asiakaslaitteille viestimiseen DSSS-tekniikkaa, Direct Sequence Spread Spectrum. Pohjimmiltaan tekniikka perustuu yksinkertaisen tiedon pakkaamiseen monimutkaisemman signaalin sisään. Jokaiselle bitille annetaan pitkä avain, jota vastaanottava laite kuuntelee. (Thuneibat 2016, 62.)

Jos DSSS:ää käyttäen tulisi siirtää esimerkiksi binääritieto 10, jokaisen ykkösen arvoksi voitaisiin antaa 01001100 ja jokaisen nollan arvoksi 11001101. Tällöin siirrettävä signaali olisi 0100110011001101, eikä pelkästään 10. Selvimpänä etuna tästä ilmenee turvallisuus. Signaali vaikuttaa ulkopuoliselle tarkastelijalle pelkältä kohinalta, eikä tarkastelija voi tietää signaalipätkän tarkoittavan oikeasti arvoa 10. Ainoastaan lähettäjä ja vastaanottaja tietävät, millaista arvoa etsiä kohinan seasta. (Carroll 2009.)

Mitä pidempi tämä kullekin arvolle annettu koodi on, sitä hitaampaa tiedon siirtäminen on, mutta sitä paremmin tiedonsiirto kestää ympäristön kohinaa ja haittasignaaleja. Jos ympäristössä on paljon muita laitteita ja signaali on heikko, pidempi varmistuskoodi auttaa vastaanottajaa olemaan varma saamansa tiedon oikeellisuudesta. Kohina saattaisi esimerkiksi aiheuttaa signaaliin sattumalta sarjan 1011, jos varmistuskoodi olisi vain nelinumeroinen. Tällöin siirretty tieto korruptoituisi ylimääräisellä binääriluvulla ja datapaketti tippuisi välistä. Pidemmällä koodilla, esimerkiksi kahdeksannumeroisella, riski saada väärä signaalin osumatulos kohinan vuoksi vähenee huomattavasti. (Thuneibat 2016, 64.)



KUVIO 2. Esimerkki DSSS-modulaatiossa käytetystä 8-numeroisesta varmennuskoodista (mukaillen EverythingRF, 2021).

Laajan taajuusalueen käyttäminen tiedon siirtämiseen kapean taajuusalueen sijasta auttaa myös tahalliseen häirintään. Esimerkkinä voidaan käyttää kapeaa tietä. Jos ajaa ruuhka-aikaan kapealla yksikaistaisella tiellä, on aina hitaimman kuskin rajoittama, eikä esteistä pääse ohi kovin tehokkaasti. Pienikin kivenlohkare estää matkanteon. Monikaistaisella leveällä tiellä on taas varaa väistää, eikä yksittäinen pieni tukos katkaise koko liikennettä. WLAN-verkossa tällaisen kapean kaistan estävänä tukoksena voisi toimia esimerkiksi tahallinen häirintä. Mitä laajempi kaista on, sekä liikenteessä että tiedonsiirrossa, sitä vaikeampaa liikennettä on pysäyttää kokonaan esteellä.

Kun lähetysenergia jakautuu tasaisesti leveälle taajuusalueelle, signaalia on myös vaikea erottaa taustakohinasta, jos ei tiedä etsittävää kuviota. Tällä tavoin useampi käyttäjälaite voi kuunnella tismalleen samaa taajuusaluetta, ja silti viestiä WLAN-tukiaseman kanssa ainoastaan omia tietojaan. Kapea suuritehoinen radiosignaali ilmensi ulospäin selvänä tiedonsiirtoon käytettävänä signaalina. (Carroll 2009.)

4.2 OFDM-modulaatio

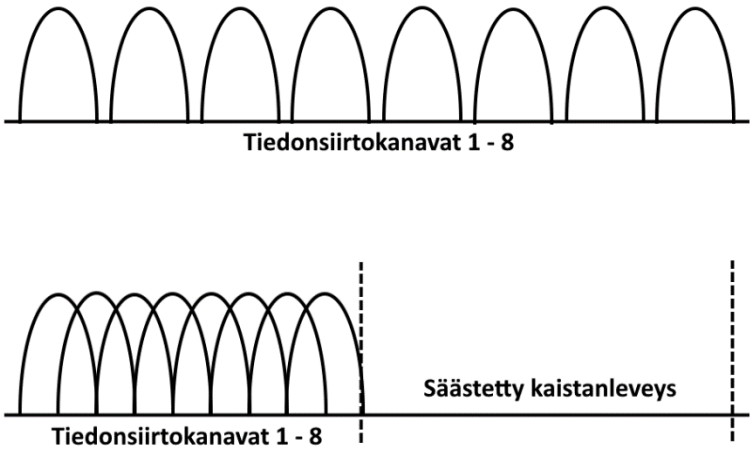
Kokonaisen leveän taajuusalueen kuuntelu ei ole kuitenkaan ainoa ratkaisu tiedonsiirtoon ja tukiaseman asiakaslaitteiden yksilöimiseen. Vuonna 1999 julkaistiin myös tehokkaampi standardi 802.11a, joka kykenee jopa 54 Mpbs:n tiedonsiirtonopeuteen korkeammalla 5 gigahertsin taajuuskaistalla. Se käyttää OFDM-nimistä tekniikkaa, Orthogonal Frequency-Division Multiplexing. (Links 2022.)

Pohjimmiltaan OFDM perustuu tiedon yhtäaikaiseen siirtämiseen useaa kapeaa vierekkäistä radiotaajuutta käyttäen. Tämä parantaa nopeutta moninkertaisesti, koska vierekkäisiä kaistoja käyttäen tietoa

voidaan siirtää moninkertaisella nopeudella. Bittejä tarvitsee liikuttaa yhtä kanavaa pitkin vain neljäsosanopeudella samaa tiedonsiirtonopeutta varten, jos kanavia on neljä. (Khosla 2018.)

Esimerkkinä tästä voidaan käyttää liikennettä. Jos moottoritien tulee päästää lävitseen kaksisataa autoa minuutissa, yksikaistaisella tiellä nopeus ja onnettomuuksien riski ovat erittäin suuria. Tien voi myös tukkia helposti yhdellä esteellä. Jos tielle lisätään useita rinnakkaisia kaistoja, jokaisen yksittäisen kaistan nopeus laskee huomattavasti, eikä yksittäisen kaistan tukkiminen estä liikennettä.

Toisin kuin DSSS-tekniikassa, OFDM:ssä koko leveää taajuuskaistaa ei kuunnella yksittäisenä alueena, vaan kaistan sisällä kuunnellaan useita pieniä kapeita kaistoja yksittäisinä tietovirtoina. Tämä kasvattaa kohinaherkkyyttä ja vaatii siten korkeampaa lähetysenergiaa kohinasta erottuakseen. Myös yksittäisen kaistan tukkeutuminen häirinnästä voisi teoriassa korruptoida signaalia tai estää tietopaketin siirtymisen kokonaan. Käytännössä verkkolaitteet osaavat kuitenkin analysoida näiden kaistojen kuuluvuuksia ja tarpeen mukaan jättää niitä tilapäisesti pois käytöstä. (Welling 2022.)



KUVIO 3. Esimerkki kohtisuorasta signaalien asettelusta, jolla voidaan pakata vierekkäisiä tietovirtoja pienempään tilaan häiriöttä (mukaillen LaSorte, Barnes & Refai 2008, 1).

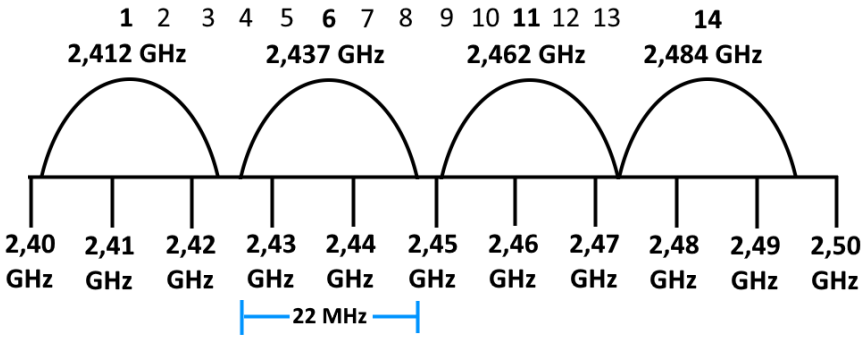
Termi orthogonal, suomeksi kohtisuoruus, tulee tavasta, jolla signaalit on aseteltu pieneen tilaan toisiinsa nähden. Tavallisesti lähellä toisiaan olevat radiosignaalit eivät voi olla aivan toistensa vieressä tehokkaasti. Ne aiheuttaisivat häiriöitä ja heikennystä toisilleen. Kun signaalit on aseteltu juuri oikealle leveydelle, jossa jokainen taajuuskaista alkaa edellisen keskikohdasta, tällaista häiriötä ei tapahdu. Jokaisen kanavan data voidaan lukea yksitellen ja koota yhdeksi kokonaisuudeksi. (Khosla 2018.)

5 TAAJUUSKAISTAT JA MIMO

Modulaatiotekniikat eivät ole ainoa ero WLAN-standardien välillä. Myös viestintään käytettävät taajuusalueet vaihtelevat, josta mainitaan usein WLAN-verkkolaitteiden tuote-esittelyissä. Erityisesti suuria taajuuksia ja korkeita nopeuslukuja mainostetaan näkyvästi. Suurempi taajuus ei ole kuitenkaan aina paras vaihtoehto, vaan niiden toimivuus riippuu laajalti ympäristöstä, päätelaitteista ja käyttötarkoituksista.

5.1 Taajuusalueet

Matalin WLANissa yleisesti käytetty taajuusalue on 2,4 gigahertsiä. 2,4 gigahertsin taajuusalue on 802.11-standardissa jaettu 14 toistensa päälle tulevaan 22 (OFDM) tai 20 (DSSS) megahertsiä leveään taajuuskaistaan. Taajuusalueen kokonaisleveys alkaa 2,40 gigahertsistä, ja loppuu 2,48 gigahertsiin. Näistä 14 kaistasta ainoastaan 13 käyttö on sallittu Euroopassa ja ainoastaan 11 Yhdysvalloissa. Kaistoja kielletään, tai niiden maksimikäyttötehoa rajoitetaan, jos ne tulevat häiritsevästi esimerkiksi satelliittiviestintäkanavien päälle. Suurimpana ongelmana 2,4 gigahertsin taajuusalueella on ympäristön aiheuttama häirintä ja kohina. Taajuusalue osuu ISM-taajuusalueelle, jota voidaan käyttää tieteellisissä ja lääketieteellisissä tarkoituksissa. Esimerkiksi mikroaaltouunit ja monet sairaalalaitteet toimivat näillä taajuuksilla. (Hoffman 2019.)



KUVIO 4. 2,4 gigahertsin WLAN-taajuusalue. Kaistat 1, 6 ja 11 eivät tule toistensa päälle, jonka vuoksi niitä suositaan lähekkäin liikennöivissä verkoissa häiriöiden vähentämiseen. (mukaillen Lepaja, Maraj & Berzati 2019, 59.)

Nykyisin korkeampaa 5 gigahertsin taajuusaluetta tuetaan laajasti ja sitä mainostetaan WLAN-verkkolaitteiden kuvauksissa. Koska elektromagneettinen värähtely on korkeammalla taajuudella nopeampaa, yhteen sekuntiin 5 gigahertsin mikroaaltosäteilyä voidaan sisällyttää huomattavasti enemmän tietoa, kuin sekuntiin 2,4 gigahertsin säteilyä. Siirtonopeudet saadaan korkeiksi erityisesti yhdistettynä OFDM-modulaatioon, jossa korkean värähtelytaajuuden lisäksi tietoa siirretään usealla vierekkäisellä taajuudella samanaikaisesti. (Conley 2022.)

Suurimmaksi ongelmaksi 5 gigahertsin taajuusalueelle muodostuu sen heikompi kantama. 2,4 gigahertsin taajuusalue voi kuulua isonkin rakennuksen toiseen päähän käytettävällä nopeudella. 5 gigahertsin alue saattaa taas olla lähetystehon mukaan vaikeasti kuultava jopa pienen rakennuksen sisällä. (Conley 2022.)

Seinien läpäisevyys heikkenee säteilyn taajuuden kasvaessa. Erittäin matalat radioaallot läpäisevät lähes minkä tahansa rakenteen. Näkyvä valo, joka värähtelee huomattavasti nopeimpiakin mikroaaltoja nopeammin, ei taas pääse lainkaan läpi mistään tavallisesta seinästä. Tämän vuoksi ikkunat ovat hyödyllisiä langattoman viestinnän kantamalle. Ne päästävät lävitseen näkyvän valon lisäksi tehokkaasti myös radioaaltoja, joista molemmat ovat elektromagneettista säteilyä. (Ängskog, Bäckström & Vallhagen 2015, 1.)

5 gigahertsin verkkojen heikko kantama toimii myös niiden eduksi häiriöiden kannalta. 2,4 gigahertsin verkkoja saattaa häiritä radiosäteily toiselta puolelta rakennusta tai jopa rakennuksen ulkopuolelta. Koska 5 gigahertsin säteily ei kuulu yhtä vahvasti seinien läpi, myös ulkopuoliset häiriöt vaikuttavat rakennuksen sisällä toimivaan verkkoon heikommin. (Conley 2022.)

Vaikka mikroaaltouunit ja muut kodinkoneet eivät ole yhtä herkkiä häiritsemään korkeampia taajuusalueita, 5 gigahertsin taajuudella toimii useita säätutkaverkkoja. Tutkat eivät itsessään merkittävästi häiritse tai katkaise tiedonsiirtoa, mutta WLAN-laitteet voivat aiheuttaa niihin vääriä kaikuja. Tavallisesti säätutkat saavat lähettämälleen pulssille vastakaikua ainoastaan fyysisistä esineistä. WLAN-tiedonsiirtoon käytettävä signaali saattaa vaikuttaa tutkalle erittäin voimakkaalta vastakaiulta, jolloin luettu tieto pilvistä ja ympäristöstä vääristyy. (Spain 2014.)

Tätä varten 5 gigahertsin taajuudella operoivat 802.11-standardit sisällyttävät DFS-toiminnon, Dynamic Frequency Selection. Ennen kanavan valitsemista, tukiaseman tulee kuunnella kanavaa hiljaa ainakin minuutin ajan, odottaen mahdollista tutkasignaalia. Tietyillä usein tutkakäytössä olevilla kanavilla tämä

odotusaika on kymmenen minuuttia. Vasta tämän odotusajan jälkeen kanavalla voidaan alkaa liikennöimään. Jos kanavan tiedonsiirron alettua tutkasignaali huomataan, kanava tulee sulkea hyvin nopeasti, johtaen yleensä hetkelliseen tiedonsiirtokatkokseen käyttäjälle. (ASUS 2023.)

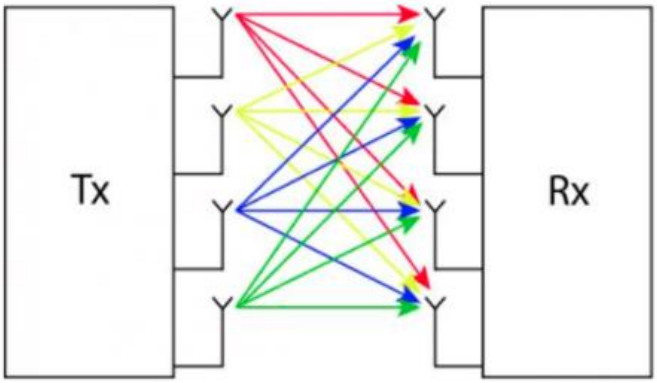
5.2 MIMO

Uudemmat 802.11-standardit ovat kasvattaneet nopeuksiaan huomattavasti edellisiin standardeihin verrattuna. Tämä perustuu tiedonsiirtokaistojen leventämisen lisäksi useiden antennien rinnakkaiseen käyttämiseen nopeuksien tehostamisessa. Tekniikasta käytetään yleisesti termiä MIMO, eli Multiple In Multiple Out. Tekniikka esiteltiin WLAN-käyttöön 802.11n-standardin mukana vuonna 2008. (Links 2022.)

MIMO-tekniikassa käytetään tilallista limitystä, englanniksi spatial multiplexing, jossa muutetaan perinteisesti haitallinen ominaisuus hyödyksi. Kuten näkyvä valo ja ääni, myös radiosäteily kimpoilee rakenteiden sisällä. Sama signaali saapuu vastaanottajalle useista eri suunnista eri vahvuuksilla lähes samaan aikaan. Useimmissa tapauksissa vanhemmilla standardeilla tämä on ollut ongelma, sillä kimmokkeet eivät saavu perille aivan tismalleen samassa tahdissa. Ne ovat vaihe-eroillaan voineet aiheuttaa häiriöitä pääsignaaliin. (Worton 2023.)

Tilallisen limityksen avulla näitä kimmokkeita voidaan käyttää hyödyksi usean antennin avulla. Fyysisesti erillään toisistaan olevat antennit lähettävät toisistaan eroavaa tietoa samanaikaisesti samalla taajuusalueella. Etu tiedonsiirtonopeuteen on hyvin merkittävä, sillä jokainen lisätty antenni tuplaa yhden antennin teoreettisen maksimitiedonsiirtonopeuden. (Links 2022.) Aivan kuten tien nopeusrajoituksen nostaminen, toisen tai kolmannen kaistan lisääminen tuplaa tai triplaa alkuperäisen tien maksimikapasiteetin.

Perinteinen versio MIMOsta on 2x2, jossa lähettäviä ja vastaanottavia antenneja on molemmissa päissä kaksi. Monet Wi-Fi 6E -standardia tukevat WLAN-verkkolaitteet tukevat nykyään myös 4x4 MIMOa, jossa sekä lähetys- että vastaanottokanavia on molempia neljä. Yhdellä kaistalla sekunnissa siirrettävän tiedon määrä kasvaa siis nelinkertaiseksi yksiantenniseen järjestelmään verrattuna. Samalla kuitenkin myös energiankulutus kasvaa. (Hoffman 2018.)



KUVIO 5. Esimerkki 4x4 MIMO-asetelmasta, jossa lähettäviä ja vastaanottavia antenneja on molempia neljä kappaletta (Wikimedia Commons 2021).

Suurena haasteena nykytukiasemissa on päätelaitteiden heikompi lähetysteho ja puutteellinen tuki uusimmille tehokkaammille MIMO-standardeille. Merkittävä osa nykyään myynnissä olevista kalliista mobiililaitteista ei vieläkään tue MIMO 4x4:ää WLANissa. Tämä johtuu laajalti useamman WLAN-antennin vaatimasta suuremmasta virrankulutuksesta, ja niiden vielä nykyään tuomasta heikohkosta hyödystä mobiililaitteiden tavanomaiselle käytölle. Tämän vuoksi kalliimmasta MIMO 4x4 –tukiasemasta ei välttämättä ole käyttökohteesta riippuen vielä yksittäisille laitteille nopeushyötyä. (Hoffman 2018.)

Vuonna 2013 802.11ac-standardin mukana, joka tunnetaan myös nimellä Wi-Fi 5, esiteltiin MU-MIMO tekniikka, Multiple-User Multiple-In-Multiple-Out. Se mahdollistaa ensimmäistä kertaa usean laitteen rinnakkaisen samanaikaisen tiedonsiirron paketteja ladatessa, vaatimatta laitteita odottamasta omaa vuoroaan. Vuoden 2020 802.11ax-standardissa, Wi-Fi 6:ssa, MU-MIMO pääsi täyteen voimaansa tukemalla usean käyttäjän rinnakkaista tiedonsiirtoa myös lähettäessä. (Shaw 2022.)

6 WI-FI 6E, 802.11AX JA ODFMA

Uusin WLAN-standardi 802.11ax julkaistiin vuonna 2020. Se tunnetaan paremmin kaupallisella nimellä Wi-Fi 6E, ja se käyttää kaikkia tässä työssä läpikäytyjä keinoja siirtonopeuksien kasvattamiseen. Teoreettinen maksimitiedonsiirtonopeus on kasvanut 802.11b -standardin 11 megabitistä huimaan 9608 megabittiin sekunnissa. (Smith 2022.) Tämä on ollut tarpeellinen lisä valokuituverkkojen ja suurten tiedostokokojen maailmassa.

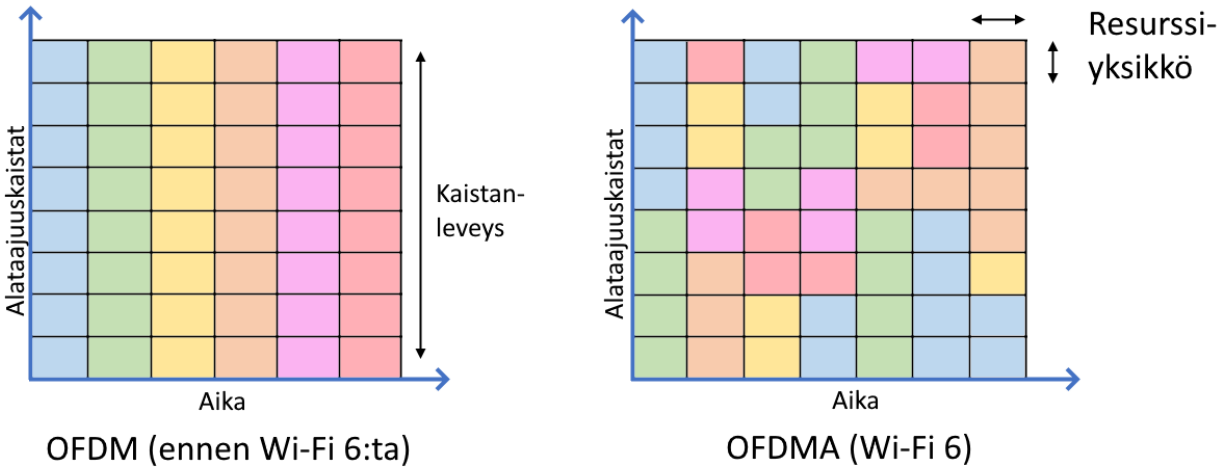
Samasta 802.11ax -standardista käytetään myös termiä Wi-Fi 6. Termiä 6E, 6 Extended, käytetään laitteista, jotka tukevat entistä korkeampaa 6 gigahertsin taajuusaluetta. Tämän korkeamman taajuusalueen tukeminen ei ole yhtä suuri perustavanlaatuinen muutos, kuin siirtyminen 2,4 gigahertsin alueelta 5 gigahertsin alueelle. 5 gigahertsin aluetta on lähinnä laajennettu ylöspäin, joka mahdollistaa 5 ja 6 gigahertsin taajuuksilla viestimisen samalla antennilla. Perinteisesti laitteet vaativat 2,4 ja 5 gigahertsin samanaikaiselle tukemiselle dual-band -antennin. Wi-Fi 6E:ssä tällainen dual-band -antenni tukee 2,4 gigahertsin, 5 gigahertsin ja 6 gigahertsin verkkoja ilman fyysistä päivitystarvetta. (Links 2022.)

6 gigahertsin alle luettavat kaistat riippuvat maakohtaisesti ja ulottuvat jopa 7,1 gigahertsiin asti. Suomessa ja EU:ssa tuetaan kuitenkin ainoastaan matalampia 5925–6525 MHz välisiä taajuuksia. Esimerkiksi Yhdysvalloissa tuki on laajinta, ulottuen 7125 megahertsiin asti. (Wi-Fi Alliance 2023.)

Usean antennin mahdollistaman nopean tiedonsiirron lisäksi Wi-Fi 6 -standardin mukana esiteltiin uusi tapa jakaa taajuusalue kanaviin. Tekniikan nimi on OFDMA, Othogonal Frequency-Division Multiple Access. Se perustuu aikaisemmin läpikäytyyn OFDM-tekniikkaan, jossa asiakkaalle jaettu yksittäinen taajuusalue pilkotaan useaan rinnakkaiseen kapeaan kanavaan tiedonsiirron nopeuttamiseksi. ODFMA mahdollistaa näiden taajuusalueiden tehokkaamman käytön ryhmittelemällä niitä eri kokoisiin itsenäisiin osiin ja jakamalla näitä osia käyttäjille tarpeen mukaan. Käyttäjän saamat tiedonsiirtokaistat voivat siis vaihdella tärkeyden ja siirrettävän tiedon muodon mukaan. (Trivedi 2020.)

20 megahertsiä leveä OFDMA-taajuuskaista, joka perinteisesti luovutettaisiin kokonaisuudessaan yhdelle käyttäjälle, jakautuu 256 vierekkäiseen alakaistaan. Kaikilla näistä alakaistoista voidaan siirtää yhtä bittijonoa. OFDMA ei kuitenkaan anna tätä koko taajuuskaistaa yhdelle laitteelle, vaan taajuuskaista jaetaan pieniin resurssiyksiköihin, englanniksi resource units. Yhden resurssiyksikön koko voi olla esimerkiksi 52 tai 26 alakaistaa. Näitä resurssiyksiköitä jaetaan asiakaslaitteille tarpeen mukaan.

Esimerkiksi tiedostoa lataavat tai muuta intensiivistä tiedonsiirtoa tekevät laitteet voivat vastaanottaa suuren määrän resurssiyksiköitä. Jakaminen tarpeen mukaan tapahtuu hyvin nopeasti reaaliajassa. (Trivedi 2020.)



KUVIO 6. Esimerkki OFDMA:n mahdollistamasta tehokkaammasta tilankäytöstä. Vanhalla OFDM-tekniikalla alataajuuskaistoja istui usein varattuna ja käyttämättömänä. OFDMA-tekniikalla ne jaetaan resurssiyksiköiksi tehokkaampaa käyttöä varten. Jokainen väri on käyttäjä. (mukaillen Trivedi 2020.)

Wi-Fi 6E-standardin 9608 megabitin teoreettinen maksiminopeus perustuu myös laajempiin yksittäisiin taajuuskaistoihin. Yhden taajuuskaistan leveys voi olla 6 gigahertsin taajuuskaistalla jopa 160 megahertsiä, eli kahdeksan kertaa ensimmäisten 802.11-standardien kaistanleveys. Tämä mahdollistaa valtavan määrän rinnakkaisia alataajuuskaistoja, joista jokaisella voidaan siirtää yhtä bittijonoa. Erityisen suuriin nopeuksiin päästään yhdistämällä 160 megahertsin kanavat 4x4 MIMO:on, jolloin siirtonopeus vastaa neljää 160 megahertsiä leveää kanavaa. (Links 2022.)

7 MESH-VERKOT

Tähän mennessä läpikäydyt asiat, kuten useiden antennien käyttäminen ja taajuuskaistojen jakaminen, koskettavat yksittäisiä WLAN-tukiasemia. Fyysiset rajoitukset kuitenkin usein estävät yksittäisen tukiaseman kuulumisen kokonaisen rakennuksen tai toimiston alueelle. Erityisesti paksut seinät ja eri kerrokset heikentävät kuuluvuutta. Vaikka signaali kuuluisikin jollain vahvuudella joka paikkaan rakennusta, signaalin heikentyminen etäisyyden myötä laskee tiedonsiirtonopeutta ja lisää kohinaherkkyyttä. Vaaditaan siis jonkinlainen ratkaisu usean erillisen tukiaseman yhdistämiseen yhdeksi verkoksi.

Yksinkertaisin ratkaisu ongelmaan on hankkia network extender, verkkolaajennin, joka luo oman verkkonsa omalla verkkotunnuksella ja salasanalla. Tällaista ratkaisua varten ei tarvita koko verkkoratkaisun uusimista, vaan ainoastaan yksittäinen lisälaite. Haittana on kuitenkin vaadittava kaapelointi, kahden erillisen verkon hallinnan monimutkaisuus ja kahden verkon luomat käytännön ongelmat. Paikasta toiseen siirtyvien käyttäjien pitää manuaalisesti irrottautua heikommasta verkosta saadakseen hyödyt nopeammasta yhteydestä, jos verkkolaajenninta käytetään alueilla, joissa myös pääverkko kuuluu yhä heikosti. (Linksys 2023.)

Näiden ongelmien vuoksi on kehitetty wireless mesh -lähestymistapa tiedonsiirtoon, yleisesti tunnettu suomeksi mesh-verkkona. Mesh-verkossa jokainen yksittäinen tukiasema on osa samaa verkkoa. Ne toimivat osittain yhdessä ja osittain erikseen ratkaistakseen verkkolaajentimien ongelmia. Mesh-verkko ei useasta tukiasemasta huolimatta luo useita erillisiä verkkoja olemassa olevan verkon päälle, vaan tismalleen sama verkko samalla suojausavaimella laajentuu usean tukiaseman kokoiseksi. (Brittain 2022.)

Langaton mesh-verkko muodostuu solmuista ja reitittimistä. Solmu on tukiasema, joka ei ole suoraan yhteydessä internetiin kaapelilla, vaan pystyy olla yhteydessä ulkomaailmaan ainoastaan viestimällä toisen tukiaseman kanssa. Reititin on verkon päätepiste, jonka kautta jokaisen solmun liikenne kulkee ulkomaailmaan ja takaisin. Verkko on itseään korjaava, sillä yhden laitteen tippuessa verkosta, solmut voivat neuvotella keskenään uuden reitin reitittimelle ilman tippunutta laitetta. (Ngo 2023.)

Skaalaus on mesh-verkon selvänä etuna. Verkkoon voidaan liittää uusia tukiasemia vapaasti vain pienellä lisävaivalla, jolloin yhden langattoman verkon kokoa voidaan laajentaa kattamaan hyvinkin laajoja

alueita. Yksittäisen mesh-tukiaseman ei tarvitse tietää kokonaisen verkon rakennetta tai muita monimutkaisuuksia. Sen tarvitsee tuntea ainoastaan seuraava tukiasema, jolle lähettää tieto kohti reititintä. (Brittain 2022.)

Käytännössä langaton tiedonsiirto solmujen välillä tapahtuu täysin samoin, kuin tiedonsiirto puhelimen ja solmun välillä. Solmut voivat viestiä keskenään ja asiakaslaitteiden kanssa samalla taajuusalueella, tai varata itselleen korkeamman taajuusalueen nopeampaa tiedonsiirtoa varten. Mesh-verkko voi esimerkiksi näkyä ainoastaan 2,4 gigahertsin verkkona asiakkailleen, vaikka se viestisi sisäisesti 5 gigahertsin taajuudella keskenään. (Ngo 2023.)

Myös taajuuskaistoja voidaan varata eri käyttötarkoituksia varten. Jos solmut viestivät keskenään samalla taajuuskaistalla asiakaslaitteiden kanssa, asiakaslaitteiden tiedonsiirtonopeus kärsii. On siis järkevintä varata solmujen väliseen tiedonsiirtoon oma kaista, esimerkiksi kaista 10, asiakkaiden käyttäessä kaistaa 4. Ongelmaksi nousee useimmiten verkkolaitteiden puutteellinen tuki usean WLAN-kanavan yhtäaikaiseen ylläpitoon. Jos verkkolaite on tehty edullisella tekniikalla kevyeen käyttöön, hidastuneesta tiedonsiirtonopeudesta ei välttämättä ole haittaa kuluttajalle, joka arvostaa enemmän parempaa kuuluvuutta.

Yritysympäristöissä on tyypillisempää toteuttaa mesh-verkko langallisena. Jokainen mesh-verkon tukiasema liitetään kaapelilla rakennuksen sisäiseen kuparikaapeliverkkoon ja yhteiseen kytkimeen. Näin asennettuna tukiasemien ei tarvitse reitittää liikennettään langattomien kanavien kautta, eikä kuuluvuus ole rajoittava tekijä verkon sisäisessä nopeudessa. Kaikki tukiasemat saavat aina välittömän ja yhtä nopean pääsyn reitittimeen. Tällainen asetelma on helppo toteuttaa yrityksissä, joihin on vedetty koko rakennuksen kattava kaapelointi. Kotikäytössä rakennuksiin ei ole välttämättä vedetty yhteistä ethernet-kaapelointia, joka tekee langattomasta mesh-verkosta huomattavasti helpomman ratkaisun. (Ngo 2023.)

8 TYÖN TAUSTOITUS

Olemme Keski-Pohjanmaan Konttoripisteellä asentaneet useimmille langatonta verkkoa pyytäville yritysasiakkaillemme Ubiquitin verkon. Asentaminen on ollut vaivatonta, ja se onnistuu jopa pelkkä puhelin apuvälineenä, kunhan hankimme asiakkaalle Ubiquitilta kokonaisen verkkoratkaisun tukiasemineen ja hallintalaitteineen. Erityiseduksi muodostuu asiakkaan mahdollisuus hallita ja tehdä pieniä muutoksia omaan verkkoonsa puhelinsovelluksen kautta.

8.1 Ubiquiti verkkolaitevalmistajana

Ubiquiti on yhdysvaltalainen vuonna 2003 Kaliforniassa perustettu yritys, joka on erikoistunut verkkolaitteiden valmistamiseen yrityksille ja yksityishenkilöille. Ubiquitilla on UniFi-tuotelinjassaan useita eri tason verkkolaitekategorioita eri käyttötarkoituksiin, riippuen vaaditusta tehosta ja asiakastyypistä. Tuotevalikoimaan kuuluvat myös valvontakamerat ja kytkimet. Ubiquiti myy verkkosivuillaan viiden eri kategorian langattomia tukiasemia. Flagship-kategorian laitteet ovat valkoista lentävää lautasta muistuttavia tukiasemia, joita myydään eri kokoisina ja eri tehoisina pääosin sisäkäyttöön yrityksille ja yksityishenkilöille. (Ubiquiti 2023.)

	AC Lite	U6 Lite	U6+	AC Long-Range	U6 Long-Range	AC Professional	U6 Professional	U6 Enterprise
Wi-Fi	5	6	6	5	6	5	6	6E
MIMO	2x2	2x2	2x2	3x3	4x4	3x3	4x4	4x4
Alue m²	115	115	140	185	185	140	140	140
Laitteet	+125	+300	+300	+250	+350	+250	+350	+600

TAULUKKO 1. Ubiquitin verkkosivuilla myynnissä olevat UniFi Flagship-tukiasemat (Ubiquiti 2023)

Muut Ubiquitin laitekategoriat erikoistuvat rakennusten väliseen langattomaan viestintään ja erityisiin asennusmuotoihin. Valikoimaan kuuluu esimerkiksi valokatkaisijan tapaan seinään asennettavia pieniä tukiasemia. Kuluttajat ostavat harvemmin näitä suuriin tapahtumiin ja mittaviin yritysverkkoihin tarkoitettuja laitteita. Kaikkein tehokkain Ubiquitin myymä verkkolaite, Mega Capacity –tukiasema, kykenee yli 1500 laitteen yhtäaikaiseen palvelemiseen kolmella erillisellä 4x4 MIMO-antennilla. (Ubiquiti 2023.)

Kokonaiseen Ubiquiti-verkkoratkaisuun kuuluu usean eri tyypin laitteistoa. Flagship-verkkolaitteet ovat pelkkiä tukiasemia, eivätkä ne yksinään reititä liikennettä internetin ja käyttäjälaitteiden välillä. Niiden kanssa voi käyttää minkä tahansa valmistajan reititintä, mutta Ubiquitin itse valmistamat ratkaisut tarjoavat usein helpomman rajapinnan verkon hallinnalle. Ubiquitin tukiasemat käyttävät Power Over Ethernet -virransyöttöä, jossa virta ja internetyhteys kulkevat saman RJ45-liittimen kautta. Ubiquitin omilla reitittimillä virran jakaminen tukiasemille tapahtuu kätevästi yhdellä kaapelilla ilman tarvetta erillisille virtalähteille.

Ubiquitin langattomaan verkkoon kuuluu olennaisena osana verkon hallintalaite, network controller. Hallintalaitteita on useita eri käyttötarkoituksia ja laitemääriä varten. Niitä on myös sisäänrakennettuna mukaan joihinkin Ubiquitin kytkimiin ja reitittimiin. Meidän Konttoripisteellä yleisimmin käyttämämme hallintalaite on Ubiquitin UniFi Cloud Key Gen2. Se on pienen kytkimen tai CD-levyaseman kokoinen erillinen laite, jossa toimii Ubiquitin itse rakentama kevyt käyttöjärjestelmä. Laitteeseen voi yhdistää helposti puhelimella tai tietokoneella etäältä ja määrittää siten verkon tiedot, tai liittää verkkoon uusia laitteita.

Erillisen hallintalaitteen suurimpia etuja ovat sen ympärivuorokautinen käynnissä pysyminen, matala virrankulutus ja automaattiset päivitykset. Kuluttaja tai ylläpitäjä voi milloin tahansa yhdistää laitteeseen etäyhteydellä, ja tehdä sitä kautta muutoksia verkon rakenteeseen ja tietoihin. Päivitykset asentuvat välittömästi ja saumattomasti heti niiden julkaisun jälkeen, vaatimatta minkäänlaisia toimenpiteitä käyttäjältä.

Verkon hallintaohjelmiston voi erillisen fyysisen laitteen sijasta asentaa myös omalle Windows-, Linux- tai macOS-tietokoneelle. Tämä ei ole yhtä vaivatonta ja yksinkertaista, kuin erillisen varta vasten verkon hallintaa varten tehdyn laitteen hankkiminen. Pientä verkkoa asentava kokenut ylläpitäjä voi kuitenkin omalla asennuksella säästää fyysisen laitteen kuluissa. Ylläpitäjän täytyy vaan huolehtia ohjelmiston ajantasaisuudesta, ja pitää sitä vähän väliä käynnissä päivityksiä varten. Yksi mahdollisuus on asentaa ohjelmisto ylläpitäjän omalle palvelimelle. Näin ylläpitäjä voi käyttää omaa palvelintaan useamman asiakkaan hallintalaitteena.

En käytä tässä työssä erillistä fyysistä hallintalaitetta, vaan myös hallintaohjelmiston asennus ja käyttöönotto Windowsille käydään läpi. Jatkuvasti päällä oleva erillinen hallintalaite ei ole yhtä olennainen

kahden tukiaseman pienyritysverkossa, jossa ei ole valvontakameroita. Erillisen hallintalaitteen ostaminen on jokseenkin erikoista kuluttajalaitteiden piirissä, jossa jopa reititin ja 5G-mobiilidatayhteys on usein rakennettu tukiaseman kanssa samaan verkkolaitteeseen. Ubiquitin verkossa jokainen palanen hankitaan, asennetaan ja hallitaan erikseen. Palasiin pilkkova lähestymistapa on tärkeää suuren skaalan yritysverkoissa.

8.2 Työn laitteisto ja ohjelmat

Tässä työssä perehdytään Ubiquitin UniFi Access Point 6E –langattomaan tukiasemaan ja niitä yhdistämällä luotavaan mesh-verkkoon. UniFi Access Point 6E on tällä hetkellä edullisin Ubiquitin myymä 6 gigahertsin Wi-Fi 6E –standardia tukeva verkkolaite, joka on tarkoitettu pääasiassa yrityksille. Laitteen nimen 6E tuleekin Ubiquitin mukaan termistä 6 Enterprise, toisin kuin Wi-Fi 6E –standardin termi 6 Extended.

Access Point 6E -tukiasemat liittyvät Konttoripisteellä sisäverkossa käyttämäämme Zyxel 310 -palomuuriin, joka reitittää tukiasemien liikenteen internetiin. Jos verkko rakennettaisiin asiakkaalle, olisi usein hyödyllistä hankkia verkolle Ubiquitin oma reititin. Se mahdollistaisi suoran samanaikaisen virransyötön ja tiedonsiirron tukiasemille yksittäisellä RJ45-kaapelilla. Jotkut Ubiquitin reititinmallit sisältävät myös sisäänrakennetun. verkon hallintalaitteen.

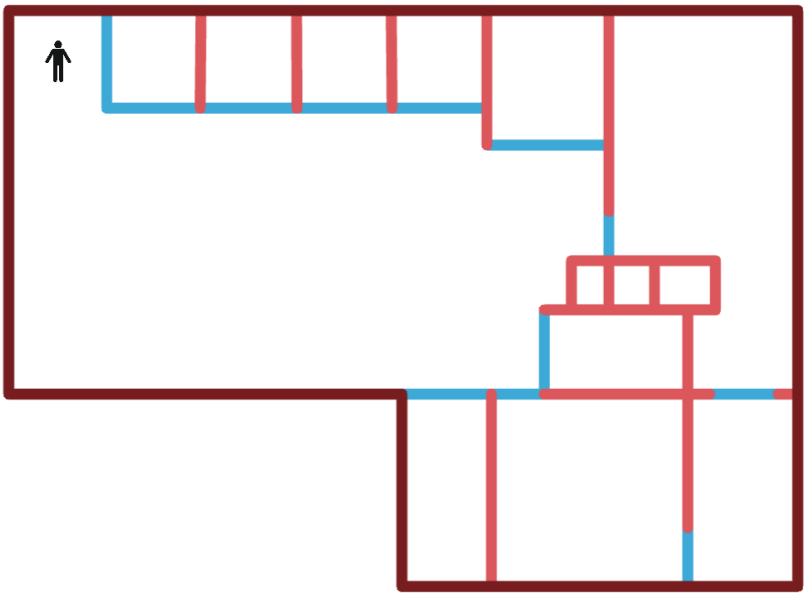
Tekemäni verkon testilaitteena käytetään pääosin yrityskäyttöön suunniteltua Fujitsun U7412 –kannettavaa tietokonetta, jossa on Intelin Wi-Fi 6E -tekniikkaa ja 160 MHz kaistanleveyttä tukeva AX211-verkkosovitin. Kannettavassa on kaksi dual band –tekniikkaa tukevaa WLAN-antennia, joka tarkoittaa antennin pystyvän liittymään 2,4 gigahertsin ja 5–6 gigahertsin verkkoihin 4x4 MIMO-tekniikalla. Vaikka oletuskäyttöjärjestelmänä tietokoneessa on Windows 10, ainoastaan Windows 11 tukee Wi-Fi 6E –standardia. Päivitin siksi käyttöjärjestelmän ilmaiseksi uusimpaan versioon.

Ulkoverkon latausnopeuden arviointiin käytetään Ooklan Speedtest.net -nettisivua. Se on kokeilemistani nopeustestisivuista ainoa, joka tukee palveluntarjoajamme JNT:n omia palvelimia. Palveluntarjoajan omien palvelinten käyttö saattaa parantaa nopeuslukuja epärealistisen paljon, mutta se pitää luvut myös mahdollisimman vertailukelpoisina. Nopeustesti mittaa laitteen nopeuden muualla Suomessa sijaitseviin palvelimiin, joka kertoo todellisesta ulkomaailman nettinopeudesta. Konttoripisteellä on 250 Mbps valokuituliittymä, joka tulee näkymään mitatuissa nopeuksissa rajoittavana kattona.

8.3 Työn mittaustavat ja tavoitteet

Mittauspaikkana käytetään oikeaa pienyrityksen toimitilaa, Keski-Pohjanmaan Konttoripisteen Kokkolan toimistoa. Toimistokiinteistössä on yhteensä 490 neliömetriä myyntihyllyjä, teknisiä tiloja, varastoa ja työntekijöiden toimistohuoneita. Pisin saavutettava välimatka mittauspisteen ja tukiaseman välillä on noin 30 metriä.

Olen visualisoinut rakennuksemme mitat Ubiquitin UniFi Design Center -työkaluun käyttäjätilini alle. Työkalu sijaitsee osoitteessa design.ui.com. Se mahdollistaa Ubiquitin verkkolaitteiden kuuluvuuden arvioinnin sijoittelun perusteella. Seinät ovat tehokkain signaalin heikentäjä, jonka vuoksi työkalussa on kolmentyyppisiä seiniä kuuluvuuden mallintamiseksi. Olen parhaani mukaan mallintanut lasiset ja ohuemmat seinät kevyemmiksi sekä paksummat seinät raskaammiksi.



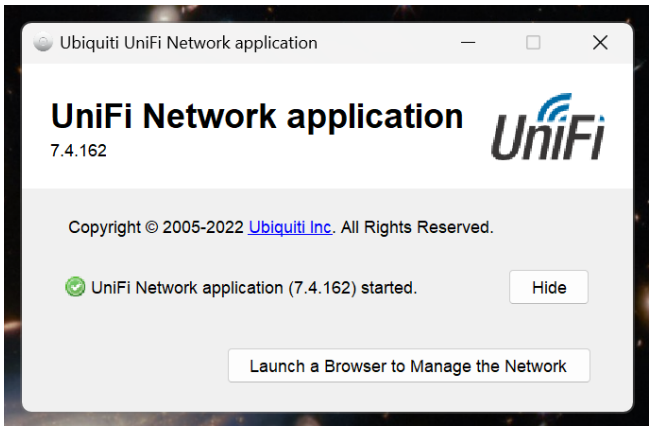
KUVIO 7. UniFi Design Centerillä mallinnettu testiympäristö. Vasempaan ylänurkkaan on lisätty 180 cm pitkä hahmo skaalaksi.

Työn perimmäisenä kysymyksenä on tutkia kalliimman Wi-Fi 6E -tekniikan käytännön hyötyjä pienyrityksissä, verrattuna halvempiin Wi-Fi 6 -tekniikan laitteisiin. Ainoa ero näiden standardien välillä on korkeampi taajuusalue, joten matalammalle taajuusalueelle määritetty Wi-Fi 6E -tukiasema vastaa Wi-Fi 6 -tukiasemaa. Tutkin myös kahden tukiaseman muodostaman mesh-verkon käyttöönottoa.

9 UNIFI NETWORK SERVERIN ASENNUS WINDOWSILLE

Ubiquitin hallintaohjelmasta käytetään nimeä UniFi Network Server. Sen voi asentaa Windowsille, macOS:lle ja Linuxille erilaisilla asennuspaketeilla. Uusia versioita julkaistaan muutaman kuukauden välein. Tässä työssä käytetään 6. heinäkuuta 2023 julkaistua versiota 7.4.162. Asennusprosessi Windowsille on jokseenkin yksinkertainen ja ohjattu, vaikka Ubiquiti varoittaakin verkkosivuillaan asennuksen olevan ainoastaan kokeneille ylläpitäjille. Asentajan ei tarvitse missään vaiheessa avata komentokehotetta, tai tehdä mitään kovin monimutkaista.

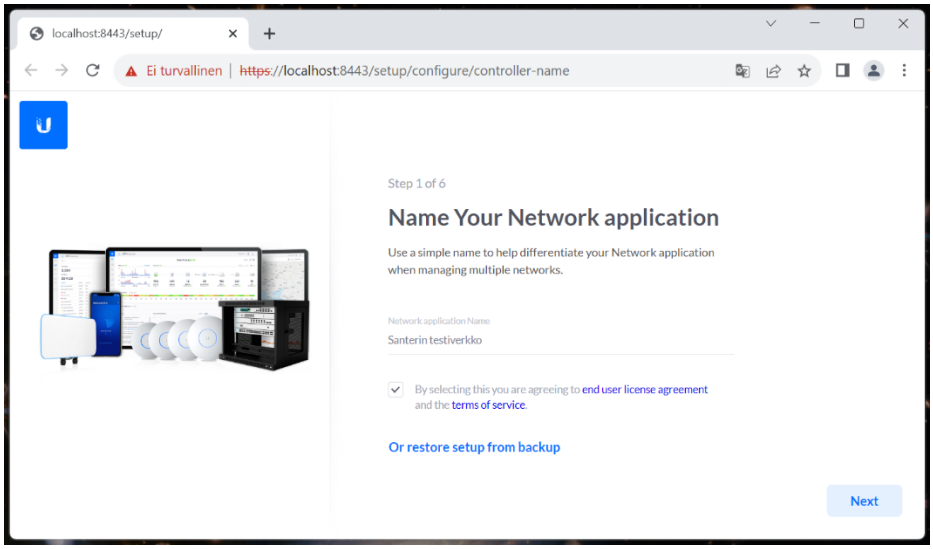
Windows-asennus vaatii pohjalleen Java 11 -asennuksen. Java on rajapintapaketti, joka toimii välikätenä tietokoneen ja ohjelmiston välillä, antaen koodille erinäisiä rajapintoja käyttää laitteistoa. Jos Javaa ei ole asennettuna, asennusohjelma loppuu kesken ja avaa automaattisesti Adoptium-verkkosivun, josta asentaja voi käydä hankkimassa uusimman Java-version. Itse asennusprosessi on hyvin suoraviivainen, eikä anna valintavaihtoehtoja. Asennuksen päätyttyä avautuu pieni ikkuna, jossa on nappi avata hallintapaneeli verkkoselaimen kautta. Hallintapaneeli sijaitsee tietokoneen omassa IP-osoitteessa portissa 8443.



KUVIO 8. UniFi Network Server -sovellus, jonka avaaminen käynnistää hallintaohjelman Windowsin taustaprosessina.

Itse konfigurointiprosessi alkaa käyttäjän avattua hallintapaneelin selaimessa. Google Chrome antaa tässä kohtaa varoituksen puuttuvasta salaussertifikaatista. Tämä johtuu yhteyteen käytettävästä HTTPS-protokollasta, josta kuitenkin puuttuu ulkoisen tahon myöntämä SSL-varmennusavain. Tämä varoitus on yleinen lähes kaikille verkkolaitteiden hallintapaneeleille. Hallintaan pääsee siirtymään varoituksesta huolimatta näyttämällä lisätiedot ja painamalla pienellä harmaalla tekstillä olevaa siirtymisnappia.

Käyttöliittymä on pelkistetyn valkoisen graafinen, näyttäen identtiseltä fyysisen Cloud Key –hallintalaitteen käyttöliittymään. Ensimmäisenä hallintaohjelmisto kysyy nimeä verkolle. Tämä nimi ei ole ulkomaailmaan näkyvä julkinen verkon SSID, vaan verkon sisäisessä hallinnassa käytetty tunnistustermi. Nimeksi voi siis antaa jonkin helposti muistettavan teknisen termin, eivätkä verkon käyttäjät tule näkemään sitä omilla tietokoneillaan. Käyttäjän tulee tässä vaiheessa myös hyväksyä Ubiquitin loppukäyttäjän ehdot ja käyttöehdot.



KUVIO 9. Verkkoselaimessa jatkuva UniFi Network Serverin asennusprosessi.

Seuraavassa vaiheessa käyttäjää pyydetään kirjautumaan Ubiquiti-tilille sähköpostin avulla tai vaihtamaan manuaaliseen asennukseen. Ubiquiti-tilin etuna on mahdollisuus etähallintaan ja varmuuskopiointiin. Tilin alle adoptoidut laitteet ovat aina liitettynä tiliin, jolloin verkkoa voi hallita ainoastaan oikeutettu ylläpitäjä. Tilitiedot mahdollistavat myös verkon konfiguraation ulkoisen varmuuskopioinnin Ubiquitin etäpalvelimelle.

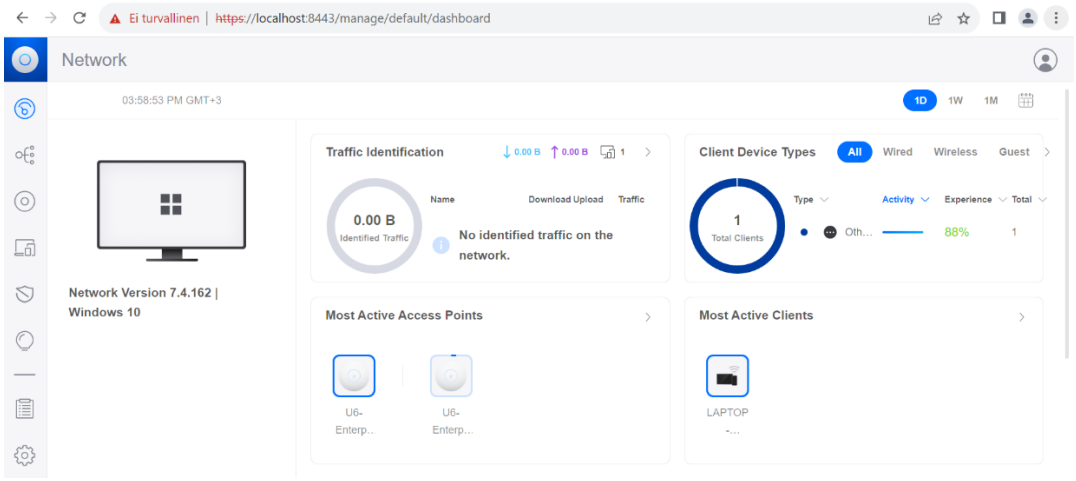
Jos asentaja ei halua luoda itselleen tiliä Ubiquitin verkkosivuilla, asennuksen voi tehdä myös paikallisella käyttäjänimellä ja salasanalla. Tällöin asennus on yksinkertaisempi ja yksityisempi. Tässä työssä käytetään kuitenkin Ubiquiti-tiliä, sillä se mahdollistaa etähallinnan ja useampia ominaisuuksia. Seuraavassa vaiheessa asentajalta kysytäänkin, otetaanko automaattinen varmuuskopiointi käyttöön.

Tämän jälkeen työkalu skannaa tietokoneen oman lähiverkon ja antaa listan adoptointia vailla olevista tukiasemista. Tukiaseman tulee olla päällä ja liitettynä verkkoon fyysisesti kaapelilla. Adoptointi on hyvin helppoa, vaatien ainoastaan yhden valintaruudun painamisen ja eteenpäin siirtymisen. Adoptoitu

tukiasema aloittaa itsensä päivittämisen taustalla, tullen tämän jälkeen automaattisesti osaksi asennettavaa verkkoa.

Adoptoinnin jälkeen asetetaan verkon tunnus ja salasana. Tunnus näkyy verkon käyttäjille, joten sen kannattaa olla helposti tunnistettava ja erottuva. Salasanan tulee olla vähintään 8 merkkiä pitkä. Oletuksena 2,4 gigahertsin ja 5 gigahertsin verkot erotellaan omiksi verkoikseen omilla tunnuksillaan. Ne voidaan tässä vaiheessa kuitenkin myös yhdistää. Tällöin liittyville laitteille jaetaan automaattisesti oikea taajuusalue laitteen kykyjen ja kuuluvuuden mukaan.

Lopussa on yhteenveto annetuista tiedoista ja mahdollisuus muuttaa maakohtaiset asetukset oikeiksi. Suomen kieltä ei ole saatavilla, mutta maa-asetuksen voi muuttaa oikeaksi. Asennuksen päätyttyä verkkoselain siirtyy hallintapaneeliin. Se vastaa jokseenkin perinteisen reitittimen oletusyhdyskäytävän päästä löytyvää hallintapaneelia. Vasemman reunan valikkojen kautta voi adoptoida verkkoon uusia laitteita, hallita verkkotunnuksia salasanoineen ja nähdä kokonaiskatsauksen verkon tilasta.

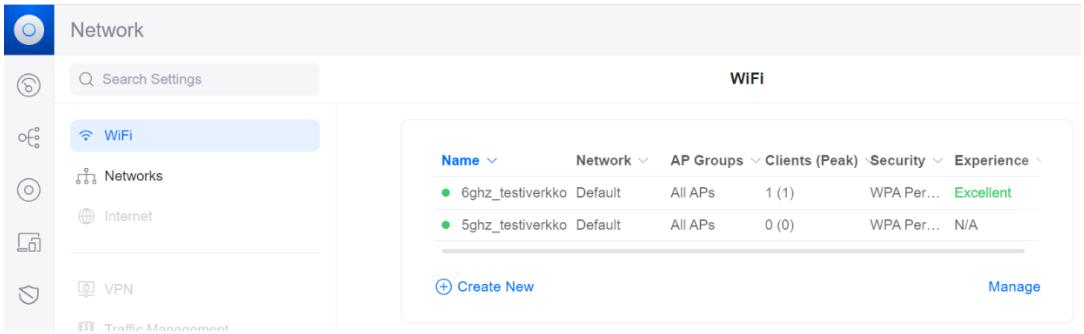


KUVIO 10. Ubiquitin Network Server -hallintapaneelin etusivu.

9.1 Wi-Fi 6E-verkon asetusten määritys

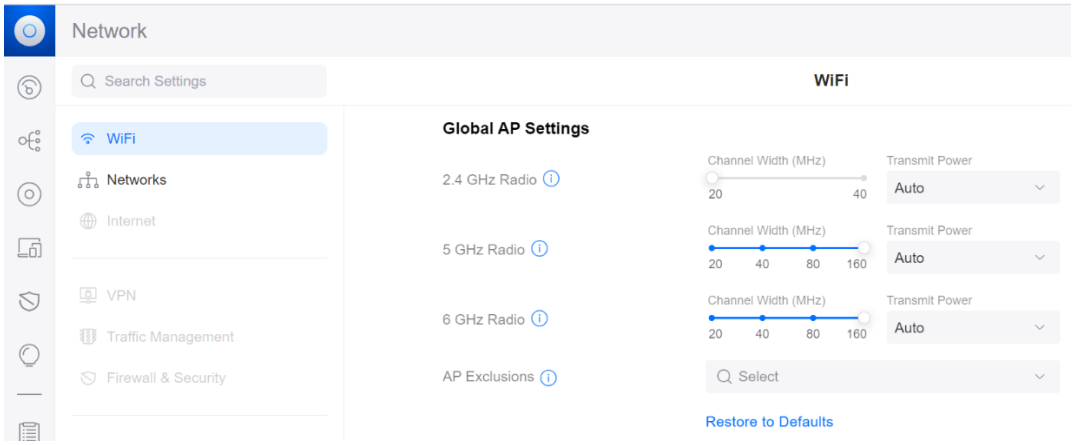
Ensimmäisenä kannattaa käydä hallintapaneelin asetuksissa muuttamassa langattomien verkkojen nimet ja yksityiskohdat oikeiksi. Wi-Fi 6E-standardia tukevaa laitetta asentaessa 6 gigahertsin taajuusalue on oletuksena kokonaan pois päältä. Tämä johtuu todennäköisesti taajuusalueen vaatimasta WPA3-salauksesta. 6 gigahertsin taajuusalueella ei saa viestiä vanhemmalla ja yleisemmällä WPA2-salausstandardilla. Tämä tekee kaikkien taajuuksien yhden verkon alle yhdistämisestä ongelmallista.

Yhteensopivin ratkaisu on luoda manuaalisesti kaksi erillistä verkkoa. 2,4 gigahertsin ja 5 gigahertsin taajuusalueet kuuluvat yhden verkon alle WPA2-salauksella, jolloin niihin voivat liittyä vanhemmat laitteet. 6 gigahertsin taajuusalue on eriytetty omaksi verkokseen WPA3-salauksella. Hallintapaneelissa useiden eri verkkojen rinnakkaiskäyttö ja hallinta on loogista.



KUVIO 11. 5 gigahertsin ja 6 gigahertsin taajuusalueet eriytettynä omiksi verkoikseen eri salauksella. 6 gigahertsin taajuutta tukevat laitteet näkevät molemmat verkot, vanhemmat laitteet vain toisen.

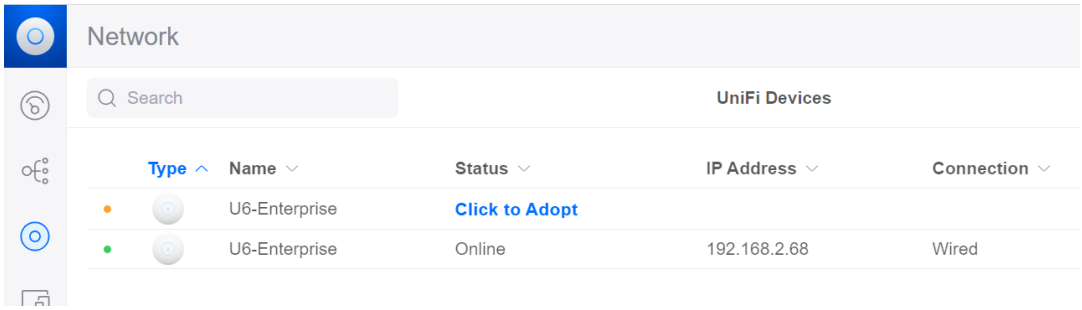
Samalla sivulla voidaan muuttaa myös tukiasemien jaettuja oletusasetuksia. Näihin kuuluvat taajuusalueiden kaistanleveydet ja lähetystehot. 6 gigahertsin taajuuden kaistanleveys on säädetty oletuksena 160 megahertsiin, sillä 6 gigahertsin alueella ei ole tutkaverkkoja tai häirintää muista verkoista. Näin leveän kaistan käyttäminen 5 gigahertsin taajuusalueella on epävakaampaa.



KUVIO 12. Kaikkia verkon tukiasemia oletuksena koskevat asetukset taajuusalueista. 5 gigahertsin taajuusalueelle on muutettu kaistanleveydeksi 160 megahertsiä, vaikka se on ohjelmassa oletuksena 80 megahertsiä.

9.2 Langallisen mesh-verkon luominen

Jos yhden laitteen verkko halutaan laajentaa mesh-verkoksi, siihen voidaan vaivattomasti liittää useita tukiasemia hallintatyökalulla. Vasemman reunan kolmas ympyränmuotoinen kuvake avaa laitehallinnan, joka näyttää kaikki hallintatyökalun alle adoptoidut laitteet. Listassa näkyvät myös adoptointia odottavat uudet laitteet.



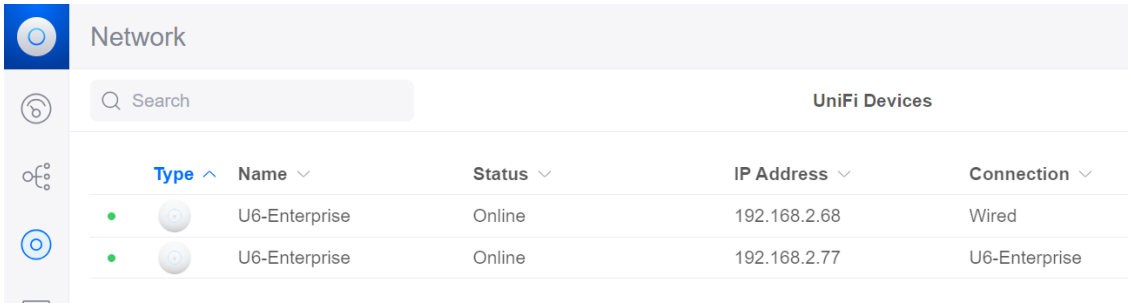
KUVIO 13. Laitehallinta, jossa yksi tukiasema odottaa adoptointia.

Uuden tukiaseman langallinen adoptoitavaksi asettaminen tapahtuu liittämällä se ethernet-kaapelilla samaan LAN-verkkoon hallintaohjelmatietokoneen kanssa. Hallintaohjelma tunnistaa tukiaseman automaattisesti ja adoptointi tapahtuu yhdellä klikkauksella. Tukiasema päivittää automaattisesti itsensä, jonka jälkeen se saumattomasti laajentaa olemassa olevalle tukiasemalle asetettuja verkkoja. Verkon käyttäjä huomaa ainoastaan paremman kuuluvuuden.

Monimutkaisemmissa tapauksissa tukiasemia voidaan ryhmitellä ja asettaa laajentamaan vain tiettyjä verkkoja. Hallintatyökalu mahdollistaa myös graafisen näkymän eri tukiasemien muodostamasta kokonaisuudesta, joka tekee tällaisen monimutkaisuuden hallinnasta helpompaa.

9.3 Langattoman mesh-verkon luominen

Verkkoa voidaan laajentaa myös langattomasti ilman fyysistä kaapelointia. Jos uusi tukiasema ei sijaitse lähellä ethernet-rasiaa, mesh-verkko voidaan luoda langattomasti. Prosessi vastaa yksinkertaisuudessaan langallista yhdistämistä. Uusi tukiasema liitetään virtalähteeseen ja jätetään kuuloetäisyydelle toimivasta tukiasemasta. Hallintaohjelmaan liitetty olemassa oleva tukiasema huomaa tämän uuden adoptointia vailla olevan tukiaseman, jolloin se ilmestyy hallintaohjelman laitelistaukseen. Laite voidaan adoptoida verkkoon nappia painamalla. Se päivittää itsensä ja alkaa saumattomasti laajentaa verkkoa.



KUVIO 14. Ethernet-kaapelilla liitetystä pääsolmusta ja langattomasti liitetystä solmusta koostuva mesh-verkko. Huomaa alemman tukiaseman olevan yhdistettynä internetiin ylemmän kautta.

Langattoman mesh-verkon haittapuoli on hieman rajoittunut nopeus. Langallisessa mesh-verkossa kaikkien tukiasemien vastaanottamat tiedot siirtyvät välittömästi reitittimelle saman kuparikaapeliverkon kautta. Langattomassa mesh-verkossa laajentavan reitittimen tiedot siirtyvät ensin päätukiasemalle WLAN-yhteyden kautta, josta ne siirtyvät eteenpäin kaapelia pitkin reitittimelle. Tämä väliaskel lisää yhteyteen viivettä ja vie tukiasemilta tavallisesti muuhun liikenteeseen käytettävää tiedonsiirtokapasiteettia.

Tällainen langaton asetelma on kuitenkin paras mahdollinen ratkaisu, jos rakennukseen ei ole vedetty kaikkia tiloja kattavaa ethernet-kaapelointia. Langattoman mesh-verkon nopeushäviö on huomattavasti heikkoa kuuluvuutta pienempi haitta.

10 KUULUVUUS- JA NOPEUSMITTAUKSET

Tämän opinnäytetyön päätarkoituksena on selvittää kalliimman 6 gigahertsin alueella toimivan Wi-Fi 6E -tekniikan käytännön hyötyjä pienyrityksille. Koska Wi-Fi 6E -standardi eroaa edullisemmasta ja laajemmin tuetusta Wi-Fi 6 -standardista ainoastaan korkeammalla taajuusalueella, yhdellä tukiasemalla voidaan selvittää helposti korkeamman taajuusalueen etuja. Mittaustietokone voidaan yhdistää vuorotellen alempaan ja ylempään taajuusalueeseen, jolloin voidaan mitata ja verrata niiden kuuluvuutta eri paikoissa.

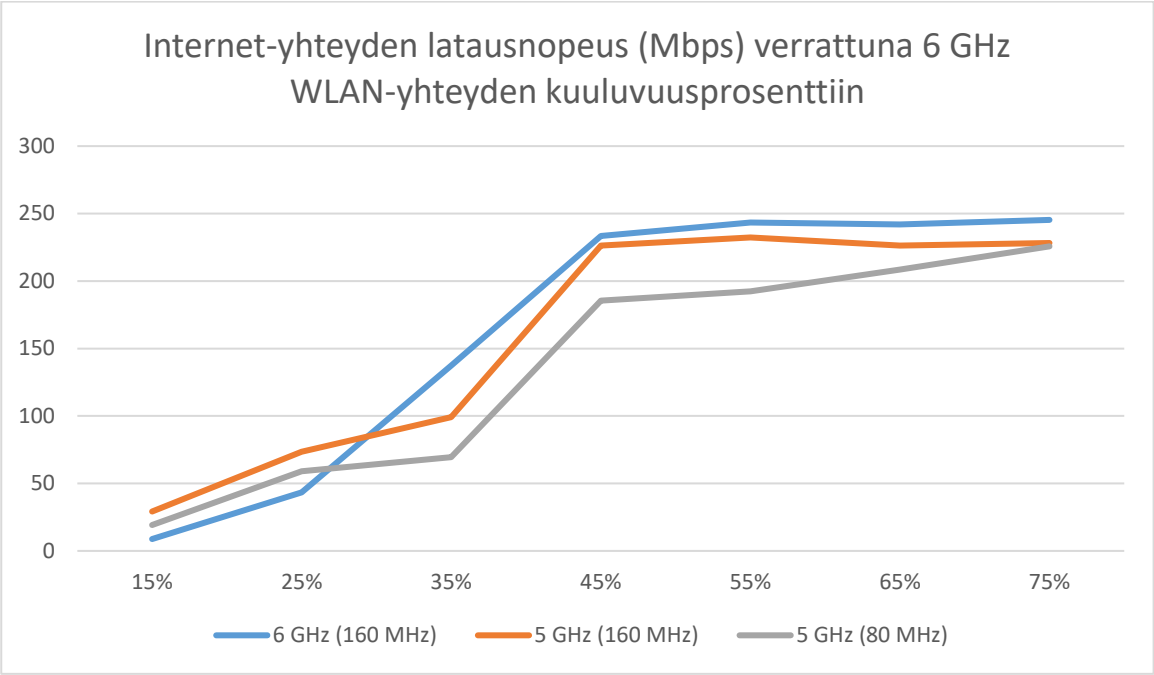
Tutkimuskysymyksenä on myös leveän taajuuskaistan vaikutus käyttökokemukseen. 6 gigahertsin alueen suurimpana etuna on häiriötön erittäin leveiden taajuuskaistojen käyttö. 5 gigahertsin aluetta häiritsevät muut WLAN-verkot ja säätutkat. 160 MHz leveä 5 gigahertsin taajuuskaista tulee aina jonkin säätutkan käyttämän taajuuskaistan päälle. Tämä tekee yhteydestä epävakaamman ja mahdollisesti katkeilevan. 6 gigahertsin verkot ovat vielä harvinaisia, joka tarkoittaa häiritsevän liikenteen olevan vähäistä.

Mittaukset on tehty suhteessa WLAN-yhteyden kuuluvuusprosenttiin. Pienempi prosentti tarkoittaa heikompaa signaalia. Prosenttiluvut on saatu Windowsin komentokehotteesta komennolla ”netsh wlan show interfaces”. Prosentti on tässä tapauksessa desibelejä helpommin ymmärrettävä suure, sillä se ei muutu eksponentiaalisesti, mutta vastaa kuitenkin signaalin vahvuutta desibelien tavoin. Tätä prosenttilukua käytetään yleensä ohjelmissa kuvaamaan yhteyden laatua välillä 0–100.

Mittaukset on tehty niiltä kohdin rakennusta, joissa 6 gigahertsin kuuluvuus on ollut kaaviossa kerrottu prosenttimäärä. Esimerkiksi 15 prosentin kuuluvuuden kohdalla 5 gigahertsin kuuluvuus on vastaavasti ollut tätä lukua hieman parempi, joka johtaa parempaan latausnopeuteen kaaviossa. Tämä mittaustapa hahmottaa taajuusalueiden eroja paremmin.

Koska kuuluvuuteen voi vaikuttaa häiritsevä tietoliikenne ja rakennuksessa liikkuvat ihmiset, jokaisen kohdan nopeusmittaukset on tehty kolmeen kertaan pienin väliajoin ja niistä on laskettu keskiarvo. Tavoitteena on verrata korkeamman taajuusalueen ja leveämmän kaistanleveyden etuja internet-yhteyden nopeuteen eri kuuluvuuksilla.

10.1 Latausnopeus



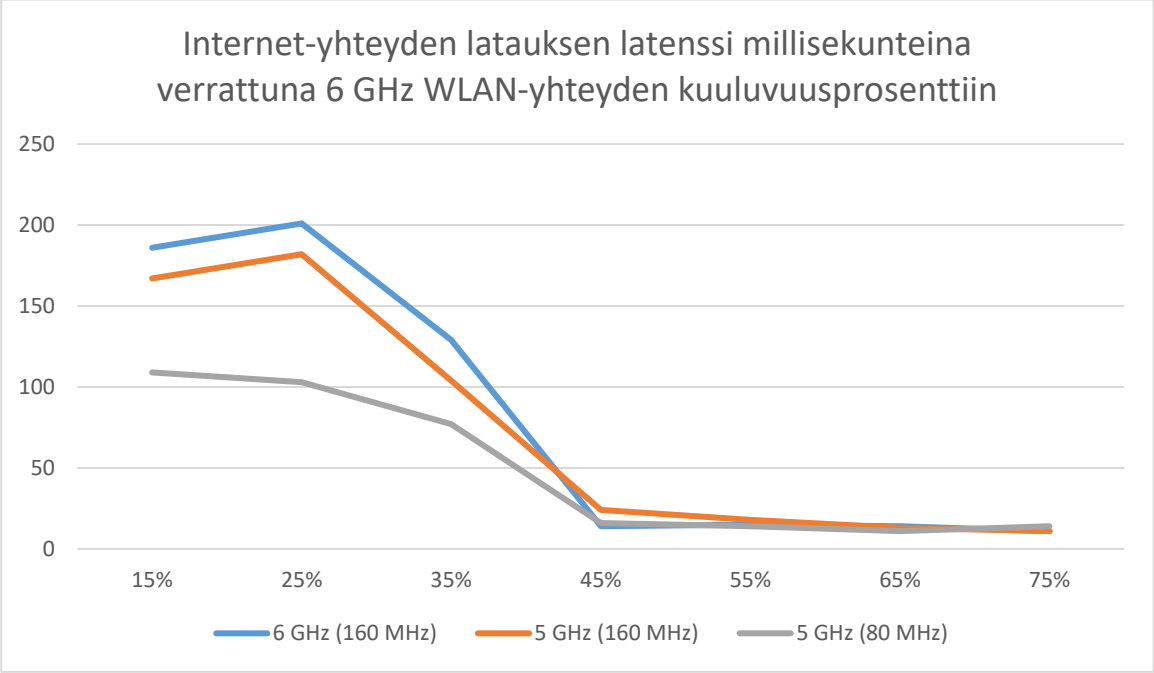
KUVIO 15. Latausnopeudet mitattuna Fujitsu U7412 -kannettavalla tietokoneella.

Päähuomioiksi nousevat 6 gigahertsin heikko suorituskyky matalalla kuuluvuudella ja nopeuksien tasaantuminen 45 prosentin kuuluvuuden kohdalla. Molemmat ovat odotettavia tuloksia, sillä korkeampi säteilytaajuus kuuluu fysiikan lakien mukaan heikommin rakenteiden läpi. Konttoripisteellä käyttämämme valokuitulaajakaistan nopeus on 250 Mbps, joten nopeus ei voi nousta sitä korkeammaksi.

80 MHz kaistanleveys jää nopeudessa 160 MHz kaistanleveydestä jälkeen jonkin verran. Erityisesti 45 % kuuluvuuden kohdalla ero on huomattava. Kuuluvuuden parantuessa ero kuitenkin pienenee, ja tukiaseman kanssa samassa huoneessa ollessa internet-nopeus on kaistanleveydestä huolimatta sama.

Jos yrityksen käyttämä valokuitulaajakaista on Konttoripisteen laajakaistaa nopeampi, hyödyt olisivat selvempiä lähempänä tukiasemaa, eivätkä loppuisi jo kuuluvuuden puolivälissä. Tällöin 160 megahertsin kaistanleveys pääsisi suurimpaan etuunsa ja sen etumatka 80 megahertsiin todennäköisesti jatkuisi. 250 Mbps laajakaistan tapauksessa hyödyt jäävät kokonaisuudessaan vaatimattomiksi.

10.2 Latenssi



KUVIO 16. Latausnopeuden latenssi mitattuna Fujitsun U7412 -kannettavalla tietokoneella.

Latenssin mittaaminen paljastaa, että vaikka 160 MHz kaistanleveys tuottaa heikolla kuuluvuudella hieman paremman latausnopeuden, käytännössä internetin selaaminen on 160 MHz kaistanleveydellä tällöin hitaampaa. Jokaisen tietopaketin vastaanottaminen ja kuittaaminen, joka on olennainen osa esimerkiksi TCP/IP-protokollaa, hidastuu odottamisen vuoksi. Suuremmat tiedostot saattavat latautua nopeasti, mutta pikkukuvien ja grafiikoiden latautuminen kärsii.

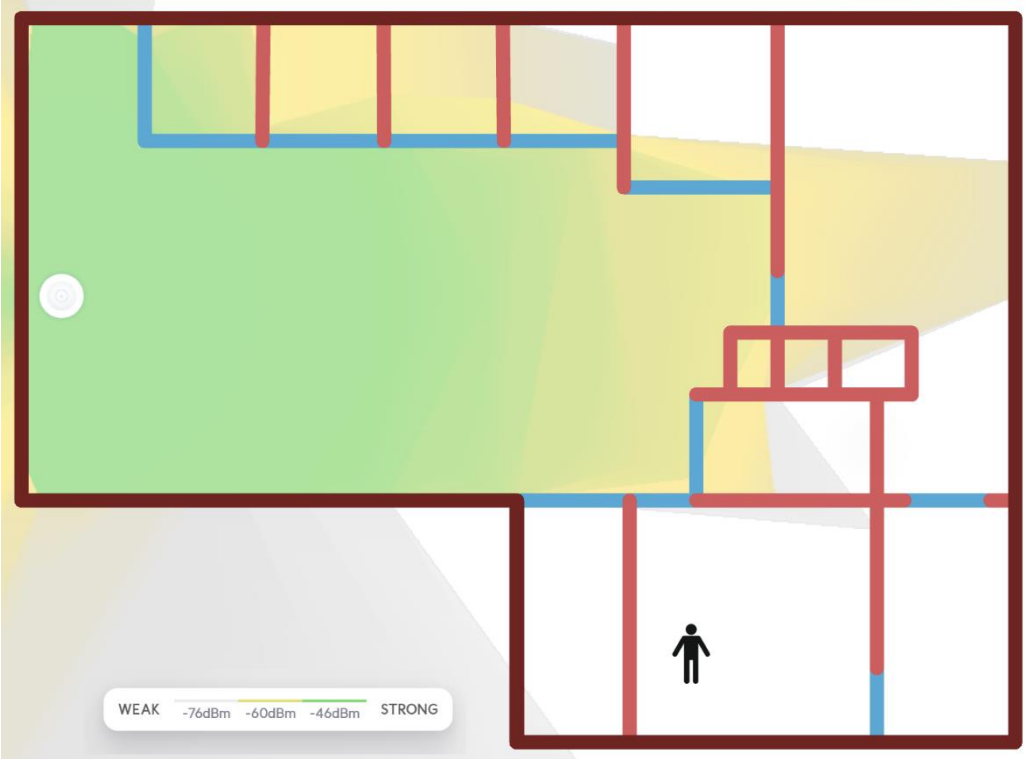
Jos erittäin nopea valokuituyhteys ei vaadi erittäin laajaa kaistanleveyttä WLAN-yhteyteen, sellaista ei kannata latenssin vuoksi myöskään käyttää. Suorituskyky huonon kuuluvuuden alueilla rakennuksen reunoilla paranee hillitymmällä kaistanleveydellä.

10.3 UniFi Design Center

Mittauksia tehdessäni yllätyin eniten UniFi 6 Enterprise -tukiaseman tehosta. 15 prosentin kuuluvuutta varten jouduin laskea lähetystehon asetuksista matalaksi ja mennä 490 neliömetrin toimistossamme mahdollisimman monen seinän taakse tukiasemasta. Alkuperäinen sijainti ei toiminut, koska en saanut

aikaan tarpeeksi heikkoa signaalia. Tämä on selvä parannus tällä hetkellä Konttoripisteellä käyttämästämme 5 gigahertsin TP-Linkin tukiasemasta, joka alkaa hidastella jo viereiseen huoneeseen mennessä.

Tämän työn mittausten perusteella Ubiquitin Design Center -työkalu aliarvioi ainakin tämän tukiaseman tehon. Alla on mallinnus testiasetelmasta, jossa työpisteeni sijaitsee hahmon kohdalla. Työkalun mukaan tukiaseman ei pitäisi edes näkyä hahmolle. Sain korkealla lähetysteholla työpisteelleni kuitenkin erittäin hyvin toimivan 40 prosentin kuuluvuuden, joka vastaa kaaviossa oranssia väriä.



KUVIO 17. UniFi Design Center -mallinnus testiasetelmasta UniFi U6 Enterprise -tukiasemalla. 180 cm pitkä hahmo lisätty skaalaksi.

Syynä saattaa olla virhearvio rakennuksemme seinien vaimennuksesta tai Ubiquitin varovainen arvio laitteen tehoista. Tästä huolimatta Design Center -työkalua voidaan käyttää antamaan suurpiirteistä arviota oikeaoppisesta tukiasemien sijoittelusta rakennusten sisällä. Odotettua parempi kuuluvuus on useimmissa tapauksissa positiivinen yllätys laitteita asentaessa. Se voi tosin johtaa käsitykseen kahden laitteen mesh-verkon tarpeesta, vaikka yksi laite riittäisi kattamaan suurenkin alueen.

11 YHTEENVETO JA SUOSITUKSET

Suurista luvuista ja lupauksista huolimatta Wi-Fi 6E -tekniikasta ei ole useimmissa tapauksissa pienyrityskäyttöön vielä tämän opinnäytetyön julkaisun aikaan paljoa hyötyä. Vanhempien standardien verkkolaitteet ovat huomattavasti laajemmin tuettuja ja tarjoavat tarpeeksi vahvalla kuuluvuudella erittäin nopeita langattomia yhteyksiä. Useimmissa tapauksissa on hyödyllisempää panostaa kuuluvuuteen langallisen mesh-verkon tai erityisvahvan lähetystehon tukiasemien avulla.

Tässä työssä käytetty UniFi U6 Enterprise -tukiasema ei ole lähetysteholtaan Ubiquitin paras verkkolaite. Edullisempi ja paremmin saatavilla oleva U6 Long Range -tukiasema tukee ainoastaan tavallista Wi-Fi 6 -standardia ilman 6 gigahertsin aluetta, mutta sen lähetysteho on tässä työssä käytettyä malliakin suurempi. Tästä työstä oppimieni tietojen perusteella hankkisin yhden sellaisen kattamaan koko Konttoripisteen toimitilamme nopealla ja kaikkien laitteiden tukemalla 5 gigahertsin WLAN-verkolla. Asettaisin kaistanleveydeksi 80 MHz.

On huomion arvoista, että myös edullisempi ja laajemmin tuettu Wi-Fi 6 -standardi tukee 160 megahertsin kaistanleveyttä. Nopeusmittauksissa 160 megahertsin kaistanleveys käyttäytyi hyvin samalla tavoin 5 ja 6 gigahertsin alueilla. Huonolla kuuluvuudella latausnopeus oli parempi ja latenssi suurempi. Jos yrityksellä ei ole useita 5 gigahertsin verkkoja käyttäviä läheisiä naapureita, ulkopuolinen häirintä ei ole merkittävä haittatekijä. Omassa tapauksessani verkkoyhteys ei katkennut yhden työpäivän aikana kertaakaan, vaikka 160 megahertsin kanavat tulevatkin 5 gigahertsin alueella pakosta tutkakanavien päälle.

6 gigahertsin tuesta on sen lisäkustannuksista huolimatta hyötyä joissain tilanteissa. Merkittävimmän hyödyn saa tiheään pakatussa yritystalossa toimiva, uusimman sukupolven tietokoneilla ja erittäin nopealla valokuituyhteydellä varustettu pienyritys. Jos kaikki laitteet tukevat uusinta 6E-standardia, eikä valokuituyhteys toimi pullonkaulana, Wi-Fi 6E -tukiasemat pääsevät täyteen hyötyynsä.

Erittäin nopeasta langattomasta yhteydestä on hyötyä myös yrityksen omien paikallispalvelimien tietojen lataamisessa. Niissä latausnopeus riippuu lähinnä palvelimen lähetyskapasiteetista, koska tieto ei tule ulkomaailmasta, vaan paikallisverkosta. Yli gigabitin langaton yhteys saattaa mahdollistaa langalliseen yhteyteen verrattavan latausnopeuden.

Wi-Fi 6E -verkkolaitteiston hankintapäätöksessä kannattaa ottaa ensimmäisenä huomioon yrityksen omistaman muun laitteiston taso. Oma työkannettavani tai vuonna 2022 ostettu henkilökohtainen Windows-kannettavani eivät kummatkaan tue 6 gigahertsin taajuusaluetta. Myös Applen laitteiden puolella tuki on vielä vuonna 2023 rajoittunutta. Näissä tapauksissa käytetty lisäbudjetti menee kokonaan hukkaan, sillä korkeampaa taajuuskaistaa ei pääse käyttämään ollenkaan.

Toiseksi tärkeimpänä asiana kannattaa ottaa huomioon yrityksen valokuitulaajakaistan nopeus. Omassa tapauksessamme Konttoripisteen 250 Mbps valokuitulaajakaista toimii hyvin nopeasti pullonkaulana, eikä merkittävistä teoreettisista nopeuseduista pääse hyötymään. Jos yritys siirtää usein suuria tiedostoja oman paikallisverkon sisällä, tätä pullonkaulaa ei siinä käytössä ole, ja teoreettisen maksiminopeuden priorisoinnista kaiken muun edelle on enemmän hyötyä.

Kolmanneksi tärkein harkintaperuste on ulkopuolinen häirintä tiheään rakennetuissa yritystiloissa. Jos pienyritys sijaitsee yrityskeskuksessa, ympäröivien yritysten omat tukiasemat saattavat haitata tiedonsiirtoa omassa verkossa. Tällöin saattaa olla hyödyllistä siirtyä korkeammalle harvaan käytetylle taajuusalueelle. Konttoripisteen Kokkolan toimisto sijaitsee yritysrakennuksessa useiden naapureiden vierellä. 6 gigahertsin taajuusalue ei silti eronnut tehoiltaan merkittävästi 5 gigahertsin alueelta.

Wi-Fi 6E -standardin tuen laajuus ja valokuitulaajakaistojen nopeudet tulevat kasvamaan lähitulevaisuudessa. Pian uuden standardin luomisen jälkeen sillä ei ole vielä kaikenkattavaa tukea, kuten on tyypillistä kaikessa kehittyvässä teknologiassa. Wi-Fi 6E-standardi on kuitenkin jo tämän opinnäytetyön julkaisun aikaan olemassa nykypäivän erityistapauksia ja tulevaisuuden peruskäyttäjiä varten.

LÄHTEET

Abramson, N. 1985. *Development of the ALOHANET*. Saatavissa: https://www.eng.hawaii.edu/wp-content/uploads/2020/06/abramson1985-Development-of-the-ALOHANET.pdf. Viitattu 17.8.2023.

ASUS. 2023. *What is DFS (Dynamic Frequency Selection) and how does it work on ASUS router?*. Saatavissa: https://www.asus.com/support/FAQ/1045936/. Viitattu 17.8.2023.

Brittain, A. 2022. *What is Mesh WiFi and How Does it Work?* Saatavissa: https://www.hp.com/us-en/shop/tech-takes/what-is-mesh-wifi. Viitattu 17.8.2023.

Carroll, B. 2009. *Chapter 1: Introduction to Wireless Networking Concepts.* Saatavissa: https://www.networkworld.com/article/2272293/chapter-1--introduction-to-wireless-networking-concepts.html. Viitattu 17.8.2023.

Conley, J. 2022. *2.4 GHz vs. 5 GHz (Which One Is Better?).* Saatavissa: https://www.meter.com/business-internet/2-4-ghz-vs-5-ghz. Viitattu 17.8.2023.

EverythingRF. 2021. *What is Direct Sequence Spread Spectrum?* Saatavissa: https://www.everythingrf.com/community/what-is-direct-sequence-spread-spectrum. Viitattu 17.8.2023.

Goodrich, J. 2020. *ALOHAnet Introduced Random Access Protocols to the Computing World*. Saatavissa: https://spectrum.ieee.org/alohanet-introduced-random-access-protocols-to-the-computing-world. Viitattu 17.8.2023.

Harmoush, E. 2022. *Understanding Ethernet Wiring*. Saatavissa: https://www.practicalnetworking.net/stand-alone/ethernet-wiring/. Viitattu 17.8.2023.

Hetting, C. 2017. *From Hollywood to Silicon Valley: The roots of Wi-Fi.* Saatavissa: https://wifinow-global.com/news-and-blog/hollywood-silicon-valley-roots-wi-fi/. Viitattu 17.8.2023.

Hoffman, C. 2018. *What is 4x4 MIMO, and Does My Smartphone Need It?*. Saatavissa: https://www.howtogeek.com/394266/what-is-4x4-mimo-and-does-my-smartphone-need-it/. Viitattu 17.8.2023.

Hoffman, C. 2019. *Why Wi-Fi Channels 12, 13, and 14 Are Illegal in the USA*. Saatavissa: https://www.howtogeek.com/402142/why-wi-fi-channels-12-13-and-14-are-illegal-in-the-usa/. Viitattu 17.8.2023.

Holkkola, J. 2022. *The Short History of the Internet: From ARPANET to the Metaverse*. Saatavissa: https://circleid.com/posts/20221101-the-short-history-of-the-internet-from-arpanet-to-the-metaverse. Viitattu 17.8.2023.

Interbrand London. *Wi-Fi: Growing global recognition takes the right name*. Saatavissa: https://interbrand.com/work/wi-fi/. Viitattu 17.8.2023.

Khosla, D. 2018. *OFDM Modulation Technique & its Applications: A Review*. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/327043286_OFDM_Modulation_Technique_its_Applications_A_Review. Viitattu 17.8.2023.

Kim, J., Lee, I. 2015. *802.11 WLAN: history and new enabling MIMO techniques for next generation standards*. Saatavissa: https://ieeexplore.ieee.org/document/7060495. Viitattu 17.8.2023.

LaSorte, N., Barnes, J., Refai H. 2008. *The History of Orthogonal Frequency Division Multiplexing*. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/221287408_The_History_of_Orthogonal_Frequency_Division_Multiplexing. Viitattu 17.8.2023.

Lepaja, S., Maraj A., Berzati, S. 2019. *WLAN Planning and Performance Evaluation for Commercial Applications: Evolvements in Business Information Processing and Management-Volume 1*. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/326448559_WLAN_Planning_and_Performance_Evaluation_for_Commercial_Applications_Evolvements_in_Business_Information_Processing_and_Management-Volume_1. Viitattu 17.8.2023.

Links, C. 2022. *The Evolution of Wi-Fi networks: from IEEE 802.11 to Wi-Fi 6E*. Saatavissa: https://www.wevolver.com/article/the-evolution-of-wi-fi-networks-from-ieee-80211-to-wi-fi-6e. Viitattu 17.8.2023.

Manning, C. 2018. *Electromagnetic Spectrum*. Saatavissa: https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/spectrum/txt_electromagnetic_spectrum.html. Päivitetty 10.8.2021. Viitattu 17.8.2023.

NASA. 2010. *Tour of the Electromagnetic Spectrum: Radio Waves.* Saatavissa: https://science.nasa.gov/ems/05_radiowaves. Viitattu 17.8.2023.

Ngo, D. 2023. *Mesh Wi-Fi Systems, Explained: How to Best Use Multiple Broadcasters.* Saatavissa: https://dongknows.com/mesh-wi-fi-system-explained/ Viitattu 17.8.2023.

Radio2Space. 2013. *Components of electromagnetic spectrum*. Saatavissa: https://www.radio2space.com/components-of-electromagnetic-spectrum/. Viitattu 17.8.2023.

Reckeweg, M., Rohner, C. 2015. *Antenna Basics White Paper*. Saatavissa: https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/premiumdownloads/premium_dl_brochures_and_datasheets/premium_dl_whitepaper/Antenna_Basics_8GE01_1e.pdf. Viitattu 17.8.2023.

Shaw, K. 2022. *What is MU-MIMO, and why is it essential for Wi-Fi 6 and 6E?*. Saatavissa: https://www.networkworld.com/article/3250268/what-is-mu-mimo-and-why-is-it-essential-for-wi-fi-6-and-6e.html. Viitattu 17.8.2023.

Smith, M. 2022. *Wi-Fi 7 Stomps on the Gas*. Saatavissa: https://spectrum.ieee.org/wi-fi-7-stomps-on-the-gas. Viitattu 17.8.2023.

Spain, C. 2014. *Winning Back the Weather Radio Channels Adds Capacity to 5GHz Wi-Fi Spectrum*. Saatavissa: https://blogs.cisco.com/networking/winning-back-the-weather-radio-channels-adds-capacity-to-5ghz-wi-fi-spectrum. Viitattu 17.8.2023.

Thuneibat, S. 2016. *Direct Sequence Spread Spectrum with Barker Code and QPSK*. Saatavissa: http://iosrjen.org/Papers/vol6_issue6%20(part-1)/I066016267.pdf. Viitattu 17.8.2023.

Trivedi, S. 2020. *Wi-Fi 6 OFDMA: Resource unit (RU) allocations and mappings.* Saatavilla: https://blogs.cisco.com/networking/wi-fi-6-ofdma-resource-unit-ru-allocations-and-mappings. Viitattu 17.8.2023.

Ubiquiti. 2023. *EU-laitevalikoima Flagship-langattomista tukiasemista.* Saatavissa: https://eu.store.ui.com/eu/en/collections/unifi-wifi-flagship-compact. Viitattu 17.8.2023. Viitattu 17.8.2023.

Valadas, R., Moreira, A., Lomba, C., Tavares, A., Duarte, O. 1998. *The infrared physical layer of the IEEE 802.11 standard for wireless local area networks.* IEEE Communications Magazine 36(12), 107-112. Saatavissa: doi: 10.1109/35.735887. Viitattu 26.9.2023.

Van Etten, W. 2020. *Milestone Dedication "WaveLAN, Precursor of Wi-Fi"*. Saatavissa: https://lmnewsletter.ieee.org/2020/06/01/milestone-dedication-wavelan-precursor-of-wi-fi/. Viitattu 17.8.2023.

Welling, J. 2022. *DSSS vs OFDM*. Saatavissa: https://www.cbtnuggets.com/blog/technology/networking/dsss-vs-ofdm. Viitattu 17.8.2023.

Wi-Fi Alliance. 2023. *Countries Enabling Wi-Fi in 6 GHz (Wi-Fi 6E).* Saatavissa: https://www.wi-fi.org/countries-enabling-wi-fi-in-6-ghz-wi-fi-6e. Viitattu 17.8.2023.

Wikimedia Commons. 2021. *Sistemi MIMO 4x4*. Saatavissa: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sistemi_MIMO_4x4.png. Viitattu 17.8.2023.

Worton. 2023. *Demystifying MU-MIMO Technology in Wi-Fi 6*. Saatavissa: https://community.fs.com/blog/wifi-6-mimo-technology.html. Viitattu 17.8.2023.

Ängskog, P., Bäckström, M., Vallhagen, B. 2015. *Measurement of Radio Signal Propagation through Window Panes and Energy Saving Windows*. IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility. Saatavissa: doi: 10.1109/ISEMC.2015.7256135. Viitattu 26.9.2023.