



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Henri Vähä-Koivisto

MAASEUDUN VERKON ANALYSOINTI JA PARANTAMINEN

Tekniikka

2022

TIIVISTELMÄ

| | |
|--------------------|--|
| Tekijä | Henri Vähä-Koivisto |
| Opinnäytetyön nimi | Maaseudun verkon analysointi ja parantaminen |
| Vuosi | 2022 |
| Kieli | suomi |
| Sivumäärä | 73+ 3 liitettä |
| Ohjaaja | Antti Virtanen |

Opinnäytetyön tavoitteena on parantaa maaseudun verkkoyhteyttä. Yksittäisen kotitalouden verkkoyhteys parannettiin mobiililaajakaistayhteydellä käyttäen Finnsat-FS5800 -suunta-antenneja MIMO-kytkennällä, korvaten olemassa oleva ADSL-laajakaistayhteys. Koko maaseudun alueen verkkoyhteyttä pyritään parantamaan saamalla valokuitu alueelle. Yksittäisen kotitalouden parannetun verkkoyhteyden on tarkoitus olla luotettava ja nopea, että sitä voi käyttää valokuidun saapumiseen asti.

Työssä on kolme vaihetta, jotka suoritettiin yhtäaikaisesti ja erikseen. Työ aloitettiin luomalla ohjelmat, jotka helpottavat toisessa ja kolmannessa vaiheessa kerättyjen mittatulosten käsittelyä. Toisessa vaiheessa analysoitiin verkkoa keräämällä nopeustesteillä mittatuloksia. Kerättyjen mittatulosten perusteella toteutettiin kolmas vaihe, jossa suunta-antennit kytkettiin toistaiseksi lopulliseen sijaintiin keräämään lisää mittatuloksia, joidenka perusteella johdettiin työn onnistuminen yksittäiselle kotitaloudelle.

Opinnäytetyön tuloksena on entistä nopeampi Internet-yhteys yksittäiselle kotitaloudelle, sekä mahdollisesti valokuitu koko opinnäytetyön alueelle. Opinnäytetyön aikana luodut ohjelmat ovat myös valmiina jatkokehitystä varten, jolla ohjelmista tehtäisiin täydellinen automaattinen kokonaisuus Internet-yhteyksien analysointia varten.

Avainsanat mobiililaajakaista, MIMO, suunta-antenni, valokuitu

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tietotekniikka

ABSTRACT

| | |
|--------------------|---|
| Author | Henri Vähä-Koivisto |
| Title | Analysis and Improvement of Rural Telecommunications Network |
| Year | 2022 |
| Language | Finnish |
| Pages | 73 + 3 appendices |
| Name of Supervisor | Antti Virtanen |

The topic of the thesis is the improvement of the rural telecommunication network. Single household's network's betterment was carried out with mobile broadband connection and Finnsat-FS5800 directional antennas installed in MIMO-connection, replacing the current ADSL-broadband connection. The objective was to improve the network connection of the entire countryside by getting optical fiber to the area. The mobile broadband of the single household is intended to be reliable and fast so that it can be used until the building of the optical fiber.

The thesis had three phases, that were carried out simultaneously and separately. The work was started by creating programs, that helped with the measurement results created in the second and the third phase. The network was analyzed in the second phase with the help of the measurement results. The third phase was carried out with the help of the measurement results from the second phase, when the directional antennas were installed in a temporary location to collect more measurement results. The results of the third phase acted as a proof of the success of the network improvement of a single household.

The result of the thesis is an even faster Internet connection for an individual household, and possibly an optical fiber for the entire countryside. The programs created during the thesis are also ready for further development, to make the programs a fully automated entity for the analysis of Internet connections.

| | |
|----------|--|
| Keywords | Mobile broadband connection, MIMO, directional antenna, and optical fiber |
|----------|--|

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVALUETTELO

TAULUKKOLUETTELO

KAAVIOLUETTELO

KÄSITTEET JA LYHENTEET

| | | |
|---|--|----|
| 1 | JOHDANTO..... | 13 |
| 2 | TARVEANALYYSI JA NYKYTILAN KUVAUS..... | 14 |
| | 2.1 Tarveanalyysi..... | 14 |
| | 2.2 Aunoksen palveluntarjoajat..... | 14 |
| | 2.3 Liiveri Ry..... | 15 |
| | 2.4 Lounea Oy..... | 15 |
| 3 | LAITTEISTO JA OHJELMAT..... | 16 |
| | 3.1 Laitteisto ja liittymät..... | 16 |
| | 3.2 Ohjelmat..... | 18 |
| | 3.3 LTE-yhteyden laatutasot..... | 19 |
| | 3.4 MIMO..... | 21 |
| 4 | SUUNNITTELU..... | 22 |
| | 4.1 Opinnäytetyön vaiheet..... | 22 |
| | 4.2 Internet-yhteyden nopeusvaatimukset..... | 22 |
| | 4.3 Suunta-antennien valinta..... | 22 |
| | 4.4 Tukiasemien signaalit..... | 24 |
| | 4.5 Mittatulosten hyödyntäminen..... | 29 |
| | 4.6 Suunta-antennien asennus..... | 30 |
| | 4.7 ADSL-analysointi..... | 31 |
| | 4.8 Valokuitu opinnäytetyön alueelle..... | 31 |
| | 4.9 Opinnäytetyön budjetti..... | 32 |

| | | |
|-------|---|----|
| 5 | NOPEUSTESTAAMISEN VALMISTELU..... | 33 |
| 5.1 | Nopeustestaamisen automaatio | 33 |
| 5.2 | Mittatulosten käyttöönotto..... | 38 |
| 5.3 | Lähiverkon maksimi tiedonsiirtonopeus..... | 43 |
| 5.4 | Suunta-antennien asennus kohti tukiasemaa B | 45 |
| 5.5 | LTE-reitittimien konfigurointi | 46 |
| 6 | NOPEUSTESTAAMINEN..... | 49 |
| 6.1 | Ympärisäteilevä nopeustestaaminen | 49 |
| 6.1.1 | Elisa 4G ympärisäteilevä mittaus | 49 |
| 6.1.2 | Telia 4G ympärisäteilevä mittaus..... | 51 |
| 6.1.3 | DNA 4G ympärisäteilevä mittaus | 53 |
| 6.2 | Suunnattu nopeustestaaminen | 55 |
| 6.2.1 | DNA 4G suunnattu mittaus | 56 |
| 6.2.2 | Elisa 4G suunnattu mittaus | 58 |
| 6.2.3 | Telia 4G suunnattu mittaus..... | 59 |
| 6.2.4 | DNA 2100 MHz suunnattu mittaus | 60 |
| 6.2.5 | DNA 1800 MHz suunnattu mittaus | 64 |
| 6.3 | ADSL-nopeustestaaminen..... | 68 |
| 7 | MITTATULOSTEN JOHTAMINEN | 69 |
| 8 | YHTEENVETO | 70 |
| 8.1 | Johtopäätökset | 70 |
| 8.2 | Jatkokehitys..... | 71 |
| | LÄHDELUETTELO | 72 |
| | LIITTEET | 75 |

KUVALUETTELO

| | |
|---|----|
| Kuva 1. Langattoman verkon ongelma yksinkertaistettuna | 13 |
| Kuva 2. Yleinen kytkentäkuva. Antennit: (Finnsat, 2022)..... | 16 |
| Kuva 3. Opinnäytetyön reitittimet. Zyxel: (Verkkokauppa, 2022), Huawei: (Elisa, 2022) | 17 |
| Kuva 4. Finnsat-FS5800 -suunta-antennit (Finnsat, 2022) | 17 |
| Kuva 5. Batch-suoritus | 18 |
| Kuva 6. Antennin suuntauksen etsiminen | 20 |
| Kuva 7. Datan lähetys useana signaalina yhtäaikaisesti käyttäen useaa antennia (Southwest Antennas, Inc, 2016) | 21 |
| Kuva 8. Tukiaseman A Elisan signaalit (Cellmapper, 2022) | 25 |
| Kuva 9. Tukiaseman A Telian signaali (Cellmapper, 2022) | 26 |
| Kuva 10. Tukiaseman C Telian signaali (Cellmapper, 2022) | 26 |
| Kuva 11. Tukiaseman A DNA:n signaalit (Cellmapper, 2022) | 27 |
| Kuva 12. Tukiaseman B Elisan signaalit (Cellmapper, 2022) | 27 |
| Kuva 13. Tukiaseman B Telian signaalit (Cellmapper, 2022) | 28 |
| Kuva 14. Tukiaseman B DNA:n signaalit (Cellmapper, 2022) | 29 |
| Kuva 15. Finnsat-FS5800 -suunta-antennien etäisyydet. Antennit: (Finnsat, 2022) | 31 |
| Kuva 16. Task Schedulerin yleiset asetukset | 33 |
| Kuva 17. Task Schedulerin toiminta-asetukset..... | 34 |
| Kuva 18. Task Schedulerin aikataulutusetukset..... | 34 |
| Kuva 19. Task Schedulerin virta-asetukset | 35 |
| Kuva 20. Nopeustesti.cmd batch-tiedosto | 36 |
| Kuva 21. OS-päivänmäärä | 36 |
| Kuva 22. OS-kellonaika | 36 |
| Kuva 23. Batch-tiedoston luoma tekstitiedosto | 37 |
| Kuva 24. Nopeustestin yhteenveto | 37 |
| Kuva 25. Registry Editor oikeuksien muokkaus | 37 |
| Kuva 26. Mittatulosten avaaminen Notepad++ -ohjelmalla | 38 |

| | |
|---|----|
| Kuva 27. Excel-kursorin sijoitus ilman siirrettyjä tiedostoja..... | 39 |
| Kuva 28. AHK-suoritus | 39 |
| Kuva 29. Exceliin siirretyt tiedot | 39 |
| Kuva 30. AHK-palvelimen siirto | 40 |
| Kuva 31. AHK-viiveen siirto..... | 41 |
| Kuva 32. AHK-latausnopeuden siirto | 41 |
| Kuva 33. AHK-lähetysnopeuden siirto | 42 |
| Kuva 34. AHK-pakettihäviön siirto | 42 |
| Kuva 35. AHK-lopetus | 42 |
| Kuva 36. Pullonkaulaesimerkki | 43 |
| Kuva 37. iPerf3-kytkentä..... | 43 |
| Kuva 38. iPerf3-palvelin | 44 |
| Kuva 39. iPerf3-käyttäjä..... | 44 |
| Kuva 40. Suunta-antennit asennettuina MIMO-kytkennällä..... | 46 |
| Kuva 41. Huawei-reitittimen ympärisäteilevän mittauksen palvelutiedot Vaasa | 47 |
| Kuva 42. Zyxel-reitittimen ympärisäteilevän mittauksen palvelutiedot Vaasa.... | 47 |
| Kuva 43. Elisa 4G-verkon ympärisäteilevän mittauksen palvelutiedot | 49 |
| Kuva 44. Telia 4G-verkon ympärisäteilevän mittauksen palvelutiedot..... | 51 |
| Kuva 45. DNA 4G-verkon ympärisäteilevän mittauksen palvelutiedot | 53 |
| Kuva 46. DNA 4G-verkon ympärisäteilevän palvelutiedot ennen suunta-antenneja | 56 |
| Kuva 47. DNA 4G-verkon heikon suuntauksen palvelutiedot | 56 |
| Kuva 48. DNA 4G-verkon parhaan suuntauksen palvelutiedot | 57 |
| Kuva 49. Elisa 4G-verkon suunnatun mittauksen palvelutiedot | 58 |
| Kuva 50. Telia 4G-verkon suunnatun mittaukset palvelutiedot..... | 59 |
| Kuva 51. WCDMA-900 | 65 |

TAULUKKOLUETTELO

| | |
|--|----|
| Taulukko 1. LTE-arvot (YateBTS, 2015)..... | 20 |
| Taulukko 2. Opinnäytetyön vaiheet | 22 |
| Taulukko 3. RSRP-loppuarvon muuttujat | 23 |
| Taulukko 4. Opinnäytetyön budjetti..... | 32 |
| Taulukko 5. Ctrl, Shift, Tab..... | 40 |

KAAVIOLUETTELO

| | |
|---|----|
| Kaavio 1. Nopeustestin automatisoinnin vuokaavio | 33 |
| Kaavio 2. Vaasassa suoritettut nopeusmittaukset..... | 48 |
| Kaavio 3. Elisa 4G ympärisäteilevän mittauksen latausnopeuden keskiarvot | 50 |
| Kaavio 4. Elisa 4G ympärisäteilevän mittauksen lähetysnopeuden keskiarvot ... | 50 |
| Kaavio 5. Elisa 4G ympärisäteilevän mittauksen päivittäiset keskiarvot | 51 |
| Kaavio 6. Telia 4G ympärisäteilevän mittauksen latausnopeuden keskiarvot..... | 52 |
| Kaavio 7. Telia 4G ympärisäteilevän mittauksen lähetysnopeuden keskiarvot ... | 52 |
| Kaavio 8. Telia 4G ympärisäteilevän mittauksen päivittäiset keskiarvot | 53 |
| Kaavio 9. DNA 4G ympärisäteilevän mittauksen latausnopeuden keskiarvot | 54 |
| Kaavio 10. DNA 4G ympärisäteilevän mittauksen lähetysnopeuden keskiarvot . | 54 |
| Kaavio 11. DNA 4G ympärisäteilevän mittauksen päivittäiset keskiarvot | 55 |
| Kaavio 12. DNA 4G suunnatut nopeudet molemmilla reitittimillä eri taajuuksilla | 57 |
| Kaavio 13. Elisa 4G suunnatut nopeudet molemmilla reitittimillä eri taajuuksilla | 58 |
| Kaavio 14. Telia 4G suunnatut nopeudet molemmilla reitittimillä eri taajuuksilla | 59 |
| Kaavio 15. DNA 4G 2100 MHz suunnatun mittauksen latausnopeuden keskiarvot | 61 |
| Kaavio 16. DNA 4G 2100 MHz suunnatun mittauksen lähetysnopeuden keskiarvot | 61 |
| Kaavio 17. Kosteuden vaikutus 2100 MHz yhteyteen 7.4. – 8.4.2022 | 62 |
| Kaavio 18. Kosteuden vaikutus 2100 MHz yhteyteen 8.4. - 9.4.2022..... | 62 |
| Kaavio 19. Kosteuden vaikutus 2100 MHz yhteyteen 9.4. - 10.4.2022..... | 63 |
| Kaavio 20. DNA 4G 2100 MHz suunnatun mittauksen vuorokautiset keskiarvot | 63 |
| Kaavio 21. DNA 4G 1800 MHz suunnatun mittaukset latausnopeuden keskiarvot | 64 |
| Kaavio 22. DNA 4G 1800 MHz suunnatun mittauksen lähetysnopeuden keskiarvot | 65 |

| | |
|--|----|
| Kaavio 23. Kosteuden vaikutus 1800 MHz yhteyteen 10.4. - 11.4.2022..... | 66 |
| Kaavio 24. Kosteuden vaikutus 1800 MHz yhteyteen 11.4. - 12.4.2022..... | 66 |
| Kaavio 25. Kosteuden vaikutus 1800 MHz yhteyteen 12.4. - 13.4.2022..... | 67 |
| Kaavio 26. DNA 4G 1800 MHz suunnatun mittauksen vuorokautiset keskiarvot | 67 |
| Kaavio 27. ADSL maksimi DL/UL..... | 68 |
| Kaavio 28. Operaattoreiden nopeudet antenneilla, sekä ADSL maksiminopeudet | 69 |

KÄSITTEET JA LYHENTEET

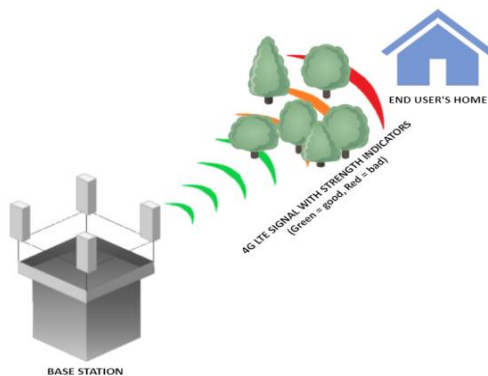
| | |
|----------------|---|
| ADSL | Asymmetric Digital Subscriber Line, Puhelinlinjoja käyttävä verkko- kytkintekniikka |
| AHK | AutoHotkey, Ilmainen avoimen lähdekoodin komentosarjakieli Microsoft Windows -käyttöjärjestelmälle |
| AVG | Average, Keskiarvo |
| CAT5 | Category 5 Cable, Kategorian viisi ethernet-kaapeli |
| CLI | Command Line Interface, Komentokehote |
| dB | Decibel, Tehosuureiden suhteita vertaileva yksikkö, jota voi käyttää vahvistimen tai vaimentimen vaikutuksen ilmaisemiseen |
| dBi | Decibel (isotropic), Käytetään ilmaisemaan antennin vahvistusta verrattuna hypoteettiseen isotrooppiseen antenniin |
| dBm | Decibel (milliwatt), Teho suhteessa yhteen milliwattiin, jolla viitaa- taan yleensä 50 Ω kuormaan |
| DL | Download, Internet-yhteyden latausnopeus |
| FDD | Full-duplex, Datanlähetytapa, joka mahdollistaa datan lähetyksen laitteella molempiin suuntiin yhtäaikaaisesti |
| LAC | Location Area Code, Sijaintialueen identiteetti |
| LMR-200 | Low Loss coaxial cable, Vähähäviöinen koaksiaalikaapeli |
| LTE | Long Term Evolution, Neljännen sukupolven langaton tiedonsiirto- tekniikka |
| MCC | Mobile Country Code, Matkaviestinnän maatunnus |

| | |
|---------------|--|
| MNC | Mobile Network Code, Matkaviestinnän verkkotunnus |
| Mbit/s | Megabit per second, Tiedonsiirtonopeus |
| MHz | Megahertz, Taajuuden yksikkö |
| MIMO | Multiple Input – Multiple Output, Signaalien vastaanotto- ja lähetystapa, joka mahdollistaa nopeamman langattoman yhteyden, käyttäen useampaa antennia yhden sijasta |
| OS | Operating System, Käyttöjärjestelmä |
| PCI | LTE Physical Cell Identity, LTE-verkon fyysinen solulentiteetti |
| RGB | Red, Green, Blue, Punainen, vihreä, ja sininen |
| RSRP | Reference Signal Received Power, Referenssisignaalin vastaanotettu teho, jolla määritetään signaalin teho |
| RSRQ | Reference Signal Received Quality, Referenssisignaalin vastaanotettu laatu, jolla määritetään signaalin laatu |
| RSSI | Received Signal Strength Indicator, Referenssisignaalin voimakkuuden indikaattori, jolla lasketaan koko kaistan vastaanotettu teho |
| SINR | Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio, Signaalien suhde häiriöön ja kohinaan, joka laskee halutun signaalin määrän verrattuna häiriöön |
| SMA | Sub-Miniature Version A, Radiotekniikassa käytetty pienikokoinen koaksiaalikaapelille tarkoitettu liitin |
| UL | Upload, Internet-yhteyden lähetysnopeus |
| WCDMA | Wideband Code Division Multiple Access, W-CDMA, UMTS-verkoissa käytettävä radiorajapinta |

1 JOHDANTO

Suomessa on alueita, joissa langaton Internet-yhteys ei ole nykyajan tasalla. Seinäjoen Aunes –alue on opinnäytetyössä käsiteltävä alue, jossa langattoman verkon ongelma yksinkertaistettuna johtuu alueen sijainnista ja maastoesteistä, jota on kuvattu yksinkertaistettuna kuvassa 1. Auneksessa on erittäin hidas ja epätasainen langaton verkkoyhteys. Alueen ainoa langallinen verkkoyhteys on ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line), joka ei myöskään ole nykyajan tasalla. Operaattorit aikovat purkaa ADSL-yhteyksiään ajan tullen (Traficom, 2021), jonka tahtaessa Aunekseen jää vain heikosti toimiva langaton verkkoyhteys.

Työssä analysoidaan ja etsitään ratkaisuja Aunoksen verkkoyhteyden parantamiseksi. Langattoman verkkoyhteyden parannus toteutetaan työssä vain yhdelle taloudelle sopivilla suunta-antenneilla. Langallisen verkkoyhteyden parannus tulee olemaan Liiverin Vauhtia Valokuituun –hankkeen kautta operaattorin Lounea valokuituyhteys, joka tuotaisiin Aunekseen, kunhan alueelta saadaan tarpeeksi valokuituun liittyjiä.



Kuva 1. Langattoman verkon ongelma yksinkertaistettuna

2 TARVEANALYYSI JA NYKYTILAN KUVAUS

2.1 Tarveanalyysi

Etätyöskentely on nykyään erittäin ajankohtainen asia, jota moni henkilö Auneksessakin harjoittaa, mutta ei parhaiden kykyjensä mukaisesti, koska heidän heikot verkkoyhteytensä eivät sitä mahdollista. Etätyöskentelyn lisäksi, yhä useammat muutkin palvelut ja sovellukset tarvitsevat nykyään nopean ja tasaisen verkkoyhteyden. (Hougen, 2022).

2.2 Auneksen palveluntarjoajat

Auneksessa toimivat Elisa, Telia, ja DNA. Kaikilla kolmella palveluntarjoajalla on tarjolla mobiililaajakaista, mutta vain Elisalla on kiinteä laajakaista ADSL-yhteytenä.

Mobiililaajakaistat toimivat siten, että vierekkäisillä naapureilla saattaa olla eri palveluntarjoajat, koska naapurilla A ei toimi esimerkiksi Elisa, mutta DNA toimii, naapurilla B tilanne on täysin toisinpäin. Alueen ainut kiinteä laajakaista on Elisan ADSL-yhteys, jota he eivät enää tarjoa yksityisasiakkaille, ja ovat sen lisäksi myös alkamassa purkamaan ADSL-yhteyksiään, jota muutkin palveluntarjoajat ovat jo tehneet, koska ADSL-ylläpitäminen ei ole enää tuottoisaa. ADSL on jäänyt kehityksessä jälkeen, joka on johtanut siihen, että yhteydelle ei ole enää niin paljon asiakkaita, että sen ylläpitäminen olisi kannattavaa. Palveluntarjoajat ovat aiemmin ilmoittaneet, että yhteyttä ei korjata, jos se katkeaa, mutta nyt ovat tulleet päätökseen, että haluavat purkaan yhteyden pois kokonaan (Traficom, 2021).

Valokuitu olisi ollut mahdollista ottaa Aunekseen noin kymmenen vuotta sitten, kun sitä palveluntarjoajat tarjosivat. Ehtona oli, että puolet kylän asukkaista ottaisivat valokuidun, jotta se tuotaisiin. Kylällä ei kuitenkaan päästy yhteisymmärrykseen asiasta, jonka takia valokuitu jäi pois Auneksesta, eikä siitä ole kuulunut tämän jälkeen, vaikka nykyiset asukkaat valokuidun olisivatkin valmiita sinne ottamaan.

2.3 Liiveri Ry

Liiveri Ry on Etelä-Pohjanmaalla toimiva kehittämissyhdistys, joka myöntää rahoitusta yrittäjien, yhdistysten sekä muiden yhteisöjen projekteille.

Liiverin sivuilla on kyliin kohdistuva Vauhtia valokuituun –hanke, jonka tavoitteena on saada valokuitu mahdollisimman monen eteläpohjalaisen yrityksen ja asukkaan saataville.

2.4 Lounea Oy

Lounea Oy on Suomen 4. suurin teleoperaattori, joka on kiinnostunut levittämään valokuituverkkoaan varsinkin Etelä-Pohjanmaalla, koska kyseisellä alueella on huomattavan huono tarjonta valokuituliittymistä.

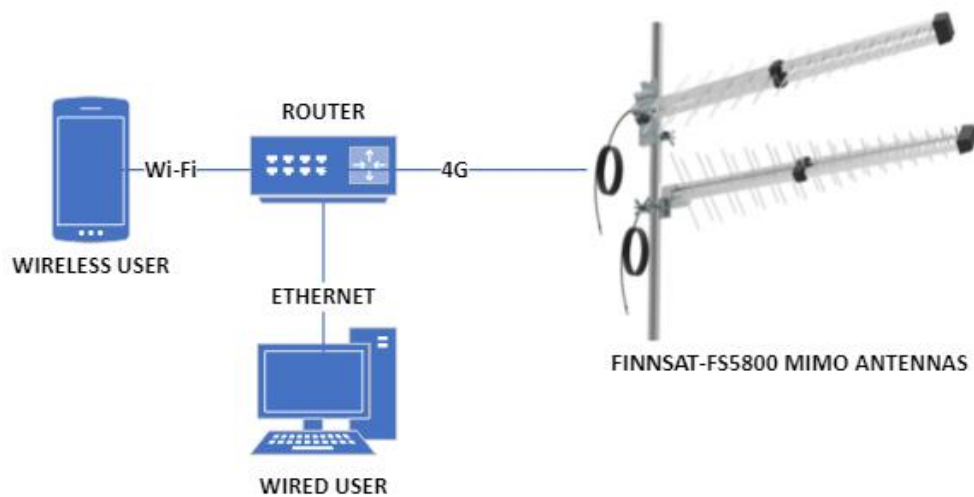
Lounea Oy toimii yhteistyössä Liiveri Ry:n kanssa Vauhtia valokuituun –hankkeessa.

3 LAITTEISTO JA OHJELMAT

Opinnäytetyössä käytetään paljon eri laitteita, liittymiä ja ohjelmia. Laitteita ja liittymiä ostetaan työhön laaditulla budjetilla, ohjelmia ladataan Internetistä tai luodaan itse käyttäen eri teknologioita.

3.1 Laitteisto ja liittymät

Opinnäytetyössä lopullinen yleinen kytkentä tulee olemaan kuvan 2 mukainen.



Kuva 2. Yleinen kytkentäkuva. Antennit: (Finnsat, 2022)

Opinnäytetyössä mitataan Auneksessa toimivaa ADSL-laajakaistaa käyttäen reitintä TP-LINK-Archer VR400. Ainut Auneksessa oleva ADSL-laajakaista on nopeuksiltaan 12 Mbit/s DL (Download) ja 1 Mbit/s UL (Upload).

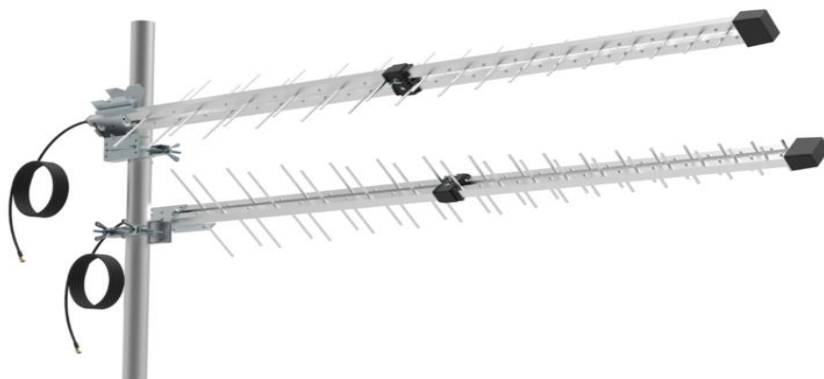
Langattomien yhteyksien analysointiin käytetään vuorotellen kuvan 3 reitittimiä Zyxel-LTE3301-M209 ja Huawei-B525S-65A, jotka mahdollistavat 4G-mobiililaajakaistaliittymien käytön, sekä kahden suunta-antennin kytkennän opinnäytetyön tavoitenopeuksien mukaisesti.



Kuva 3. Opinnäytetyön reitittimet. Zyxel: (Verkkokauppa, 2022), Huawei: (Elisa, 2022)

Opinnäytetyössä analysoidaan verkkoa DNA:n, Elisan, ja Telian 100 M 4G-mobiili-laajakaistaliittymillä.

Opinnäytetyössä käytetään MIMO (Multiple Input – Multiple Output) -kytkennällä kahta kuvan 4 Finnsat-FS5800 -suunta-antennia.



Kuva 4. Finnsat-FS5800 -suunta-antennit (Finnsat, 2022)

Finnsat-FS5800 -suunta-antenneissa on valmiiksi asennetut antennikaapelit ja liittimet. Antennikaapelit ovat tyyppiä LMR-200 (Low Loss coaxial cable). Liittimet ovat tyyppiä SMA-uros (Sub-Miniature Version A).

Opinnäytetyössä käytetään yhtä Windows 10 -pöytätietokonetta ja yhtä Windows 10 -kannettavaa tietokonetta. Tietokoneiden verkkokortit pystyvät 1000 Mbit/s tiedonsiirtonopeuteen, joka ei aiheuta opinnäytetyössä mahdollista pullonkaulaa. Kannettavalla tietokoneella suoritetaan Internet-yhteyden automaattinen mittaus

ja mittatulosten tallettaminen, jonka seuraavaksi mainittavat ohjelmat mahdollistavat.

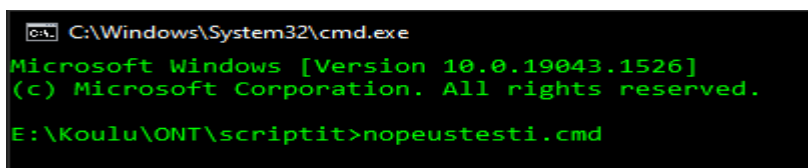
3.2 Ohjelmat

Tukiasemien paikantamiseen ja analysointiin käytetään Cellmapperia. Cellmapper on käyttäjien ylläpitämä tukiasemien ja kantavuuksien kartoituspalvelu.

Langattoman verkon mittaus suoritetaan Ooklan Speedtest® CLI:llä (Command Line Interface). Ohjelman käyttö on sallittua henkilökohtaisiin, eli ei-kaupallisiin tarkoituksiin, jotenka sen käyttö opinnäytetyössä on hyväksyttävää. Speedtest® CLI on komentokehoteessa suoritettava Internet-yhteyden nopeudenmittaustyökalu, jonka voi automatisoida suoriutumaan sovittuina aikoina, sekä tallettamaan mittatulokset.

iPerf3 on työkalu, jolla voidaan mitata verkon maksimi tiedonsiirtonopeus. Opinnäytetyössä on tavoitenopeudet, joihin pyritään, jotenka on tarkistettava, pysyykö valitut laitteet välittämään tavoitteiden mukaisia nopeuksia.

Windows-käyttöjärjestelmässä voi luoda omiin tarkoituksiin komentosarjatiedostoja (batch-tiedosto), joita suoritetaan komentokehoteessa (**Kuva 5.**) Opinnäytetyössä luodaan batch-tiedosto, jolla talletetaan Speedtest® CLI:n mittatulokset erillisiin tiedostoihin, jotka nimetään mittauksen ajankohdan mukaisesti, jotta niitä voidaan käyttää Internet-yhteyden analysoinnissa. Batch-tiedosto voi olla .bat-, .cmd-, tai .btm-tiedostona. Edellä mainituista tiedostotyypeistä olennaisin nykypäivänä on .cmd, jotenka opinnäytetyössä käytetään sitä. (Pedamkar, 2022).



```
C:\Windows\System32\cmd.exe
Microsoft Windows [Version 10.0.19043.1526]
(c) Microsoft Corporation. All rights reserved.
E:\Koulu\ONT\scriptit>nopeustesti.cmd
```

Kuva 5. Batch-suoritus

AHK (AutoHotkey) on ilmainen, avoimen lähdekoodin ohjelmointikieli Windows-käyttöjärjestelmälle. AHK mahdollistaa yksinkertaisten, kuin monipuolistenkin ohjelmien luonnin. Opinnäytetyössä AHK:ta käytetään mittatulosten siirtämiseen automatisoituna Notepad++ -ohjelmasta Microsoft Exceliin.

Windows-käyttöjärjestelmässä toimivaa tehtävien aikataulusohjelmaa Task Scheduleria käytetään opinnäytetyössä luodun batch-tiedoston automatisointiin. Automatisoimalla batch-tiedoston, joka suorittaa mittauksen ja tallentaa mittatulokset, on suuri hyöty Internet-yhteyden analysoinnissa, koska sen voi asettaa suoritumaan haluttuihin aikoihin niin monta kertaa, kuin halutaan. Täten voi kerätä paljon dataa mittatuloksina, joista voi päätellä verkon käyttäytymiseen ja toimivuuteen liittyviä tekijöitä.

Windows-käyttöjärjestelmässä toimiva hierarkkinen tietokanta Registry Editor sisältää tiedot kaikista järjestelmän asetuksista. Tietokannassa on merkittyinä Windowsin automaattiset asetukset, kuin myös käyttäjän itse määrittämät asetukset. Opinnäytetyössä Registry Editoria käytetään poistamaan yllä mainituista suoritettavista ohjelmista järjestelmänvalvojan luvanpyyntö, jotta ohjelmien automaatio onnistuisi vaivattomasti.

3.3 LTE-yhteyden laatutasot

Nykyaikaisia LTE (Long Term Evolution) -laitteita asentaessa on huomioitava eri LTE-yhteyden referenssitaset: RSRP (Reference Signal Received Power), RSRQ (Reference Signal Received Quality), SINR (Signal-to-Interference-plus-Noise-Ratio), ja RSSI (Received Signal Strength Indicator). RSRP on referenssisignaalin tehon lineaarinen keskiarvo määritetyllä kaistanleveydellä. RSRQ on referenssisignaalin vastaanotettu laatu, joka johdetaan RSRP- ja RSSI-arvoista. SINR on halutun signaalin suhde ei toivottuun häiriöön ja kohinaan. RSSI on vastaanotettu kokonais-teho koko kaistanleveydeltä. (ShareTechNote, 2022)

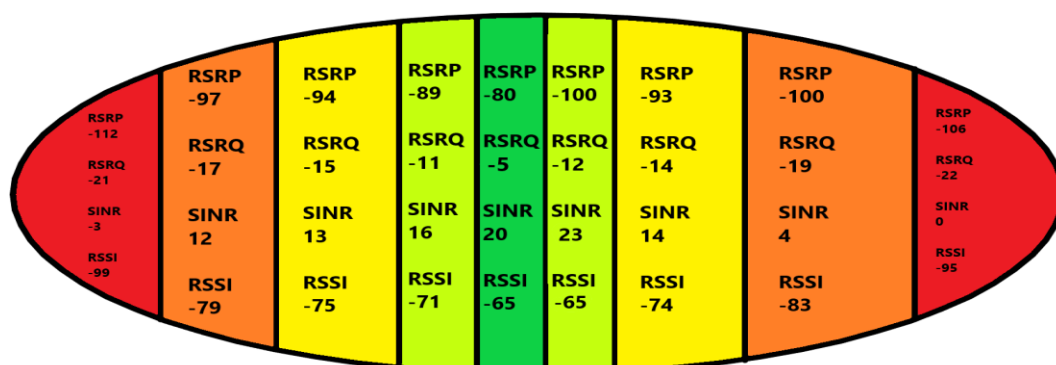
LTE-arvoilla voi päätellä 4G-verkon toimivuuden taulukon 1 mukaisesti. Laskettavalla oletetulla RSRP-arvolla voidaan määrittää sopiva antenni, mitä korkeampi

RSRP-arvo, sitä parempi. RSRQ-arvo kertoo yhteyden laadusta, mitä korkeampi RSRQ-arvo, sitä parempi. SINR-arvo kertoo RSRQ-arvoa tarkemmin signaalin laadun. Yleisesti yli 20 dB (Decibel) SINR-arvo on ihanteellinen yhteyden laaduksi. RSSI-arvo kertoo koko kaistanleveyden tehon. RSSI-arvo pitää sisällään yhteyden tehon lisäksi myös häiriöt toisilta soluilta, sekä sisäiset- ja ulkoiset kohinat. RSSI-arvossa pätee sama arviointi, kuin RSRP- ja RSRQ-arvoilla, mitä korkeampi, sitä parempi.

Taulukko 1. LTE-arvot (YateBTS, 2015)

| | | RSSI | SINR (dB) | RSRQ (dB) | RSRP (dB) |
|----------------|-----------|------------|------------|-----------|--------------|
| Technology | | LTE and 3G | LTE only | LTE only | LTE only |
| Signal Quality | Excellent | > -65 | > 12.5 | > -5 | > -84 |
| | Good | -65 to -75 | 10 to 12.5 | -6 to -10 | -85 to -102 |
| | Fair | -75 to -85 | 7 to 10 | -6 to -10 | -103 to -111 |
| | Poor | < -85 | < 7 | < -11 | < -112 |

Mainituista arvoista on erittäin paljon hyötyä suunta-antennin asennuksessa. Antennin suuntauksen etsiminen (**Kuva 6.**) toteutetaan liikuttamalla antennia samalla, kun pidetään silmällä reitittimen palvelutietoa, joka näyttää mainitut arvot. Kuvan 6 kirkkaan vihreä arvo on taulukon 1 mukainen ideaalinen yhteys. Kuvan 6 muut värit ovat opinnäytetyössä kerättyjen laatuarvojen mukaisia, joidenka paremmuusjärjestys on määritetty kutakin laatuarvoa vastaavan hetkellisen Internet-yhteyden nopeuden perusteella.



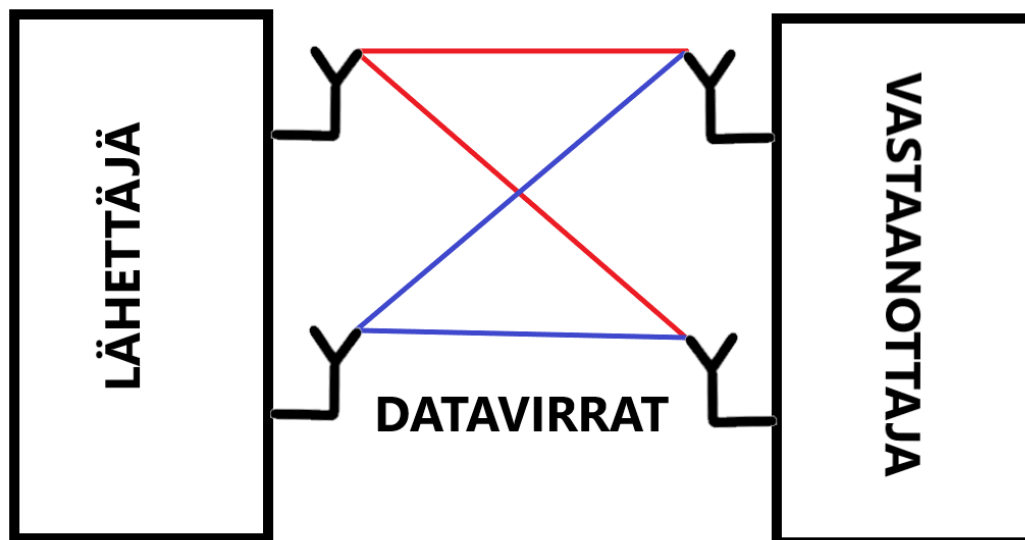
Kuva 6. Antennin suuntauksen etsiminen

3.4 MIMO

MIMO-kommunikaatio mahdollistaa saman datan lähetyksen useana signaalina yhtäaikaaisesti käyttäen useaa antennia (**Kuva 7.**), mutta vain yhtä radio kanavaa. Lähettäjä jakaa datapaketin useaksi datavirraksi, jonka vastaanottaja yhdistää ta-
kaisin kokonaiseksi datapaketiksi. (Southwest Antennas, Inc, 2016)

Kaikilla antenneilla on oma polarisaatiosuunta, joka määräytyy antennin mallin mukaan. Antennin polarisaatiosuunta edustaa sähkömagneettisten radioaaltojen värähtelysuuntaa, kun ne etenevät antennielementistä. Elektromagneettinen radioaalto koostuu sähkö- ja magneettikentistä. Kentät värähtelevät 90 asteen kulmassa vastakkaisessa ajoituksessa, sähköaallon noustessa magneettinen aalto laskee ja päinvastoin. (Southwest Antennas, Inc, 2016)

MIMO-kytkennässä antennit asennetaan aallonpituuden määrittämälle etäisyydelle 90 asteen kulmaan toisistaan, luoden ristipolarisaation ja 30 dB eristyksen kullekin antennille toisistaan. Eristämällä datavirrat toisistaan, vältetään mahdollisilta häilymis- ja laatuongelmilta. (Southwest Antennas, Inc, 2016)



Kuva 7. Datan lähetys useana signaalina yhtäaikaaisesti käyttäen useaa antennia (Southwest Antennas, Inc, 2016)

4 SUUNNITTELU

4.1 Opinnäytetyön vaiheet

Taulukossa 2 luetellaan opinnäytetyön vaiheet, joidenka perusteella opinnäytetyö toteutetaan. Vaiheet ovat toteutusjärjestyksessä ylhäältä alhaalle.

Taulukko 2. Opinnäytetyön vaiheet

| Järjestys | Kuvaus |
|-----------|--|
| 1. | Päätä tarvittavat laitteet ja teknologiat |
| 2. | Hanki tarvittavat laitteet ja teknologiat |
| 3. | Automatisoi nopeusmittaus ja talletus |
| 4. | Aloita ympärisäteilevän mittaaminen |
| 5. | Asenna suunta-antennit valmiiksi |
| 6. | Luo AHK-ohjelma mittatuloksia varten |
| 7. | Lopeta ympärisäteilevän mittaaminen |
| 8. | Kytke laitteet suunnattua mittausta varten |
| 9. | Aloita suunnattu mittaus |
| 10. | Johda ympärisäteilevän mittatulokset |
| 11. | Lopeta suunnattu mittaus |
| 12. | Johda suunnatun mittauksen tulokset |
| 13. | Irtisano heikoiten suoriutuvat liittymät |
| 14. | Yhteenveto |

4.2 Internet-yhteyden nopeusvaatimukset

Suoratoistopalveluiden, striimauksen, sekä etätyöskentelyn yleistymisen takia opinnäytetyössä tavoitellaan vähintään 50 Mbit/s lataus-, ja 5 Mbit/s lähetysnopeutta (Hougen, 2022), joihin pitäisi teoriassa päästä tehokkailla MIMO-antenneilla.

4.3 Suunta-antennien valinta

Opinnäytetyön budjetoinnin takia työssä tähdätään saamaan antenneilla RSRP-arvo -80 dBm ja -90 dBm väliltä. Mainittu RSRP vastaa vahvaa signaalia, jolla on

hyvät datanopeudet. (Teltonika, 2022). Täydellinen RSRP on yhtä paljon tai enemmän, kuin -80 dBm, mutta tähän lukuun ei oletettavasti päästä opinnäytetyöhön sopivalla budjetilla. Opinnäytetyössä tähdätty RSRP riittää hyvin palveluiden ja sovellusten vaatimaan Internet-yhteyteen. Antenneja käytetään yhdistämään kahden eri tukiasemaan vuorotellen. Antennit on valittu kauempana sijaitsevan tukiaseman etäisyyden mukaisesti.

Oletettua RSRP-loppuarvoa laskettaessa selvitetään Taulukon 3 mukaisesti antennin etäisyys tukiasemasta (km), tukiaseman lähettämä haluttu taajuus (MHz) (Megahertz), RSRP halutulle taajuudelle valitulla etäisyydellä (dBm) (Decibel milliwatt), suunta-antennin vahvistus (dBi) (Decibel isotropic), kaapelin vaimennus (dB), sekä liittimen vaimennus (dB). Kaapelin ja liittimien vaimennus on oletettu, koska niiden käsittely voi vaikuttaa vaimennukseen, jota on vaikea määritellä. (Times Microwave Systems, 2022).

Taulukko 3. RSRP-loppuarvon muuttujat

| | |
|--|----------|
| Etäisyys tukiasemasta: | 4,00 km |
| Tukiaseman lähettämä taajuus: | 1800 MHz |
| RSRP (1800 MHz, 4,00 km): | -97 dBm |
| Suunta-antennin vahvistus: | 15 dBi |
| Oletettu kaapelin vaimennus (10 m): | 4,66 dB |
| Oletettu liittimen vaimennus: | 0,1 dB |

Taulukon 3 arvot syötetään kaavaan 1, jolloin voidaan laskea RSRP-loppuarvo (Vainio, 2016).

$$RSRP_{antennille} + Antennin\ vahvistus - Kytkentävaimennus = RSRP_{reitittimellä} \quad (1)$$

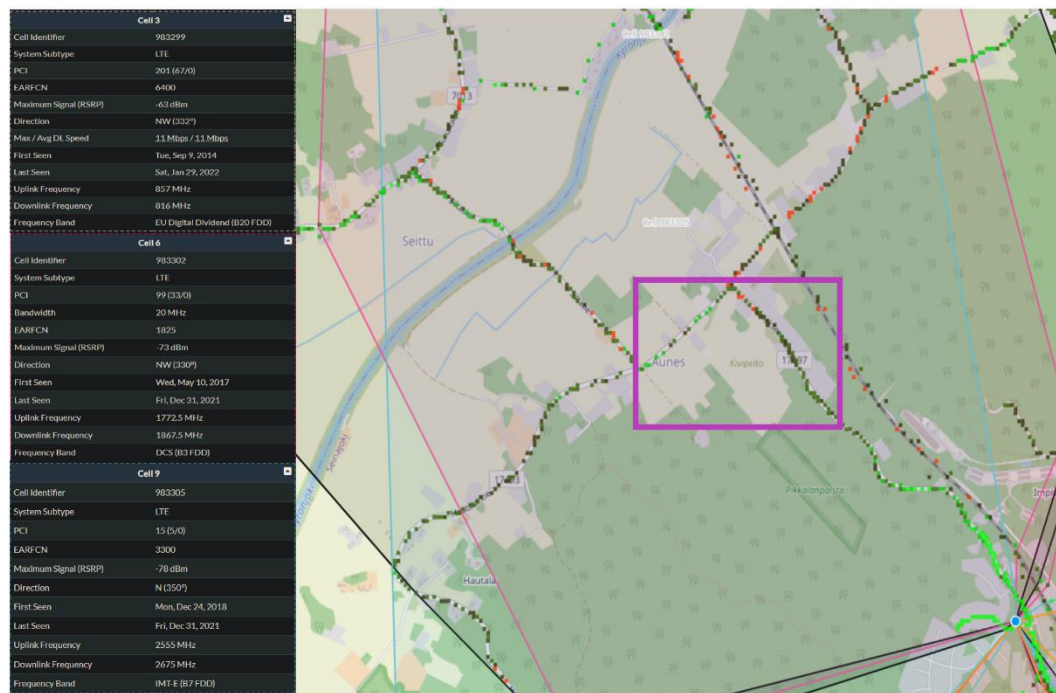
$$-97\ dBm + 15\ dBi - 4,76\ dB = -86,76\ dBm$$

Oletettu RSRP-loppuarvo -86,76 dBm on hyvä. Todellinen RSRP-loppuarvo voi olla käytännössä enemmän tai vähemmän riippuen esimerkiksi maastoesteistä antennin ja tukiaseman välillä. Näitä poikkeavuuksia on epäkäytännöllistä liittää laskuihin opinnäytetyön aikamääreiden sisällä, jotenka todellinen RSRP-loppuarvo selviää antennin asennuksen ja laitteiden konfiguroinnin jälkeen. (Downey, 2013)

4.4 Tukiasemien signaalit

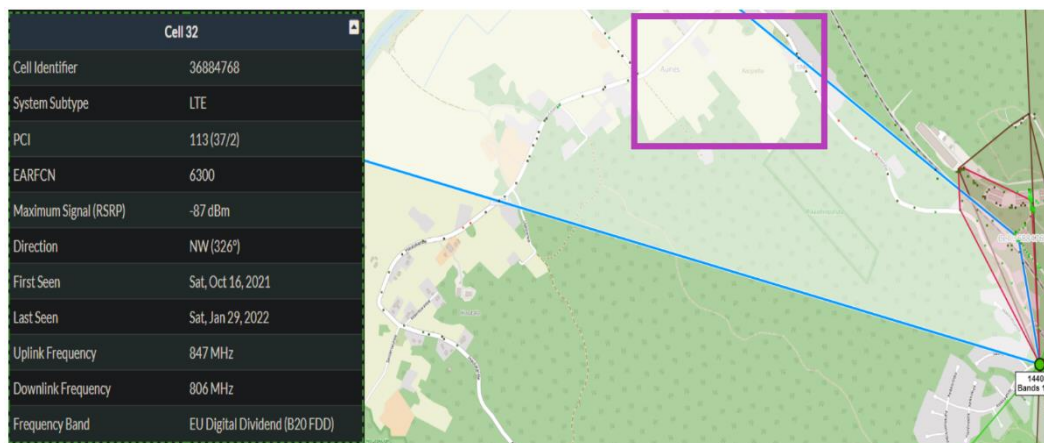
Opinnäytetyön sijainnissa on vaihtoehtoina kaksi eri tukiasemaa, joihin voi yhdistää. Tukiasemien huomattavimmat erot ovat niiden etäisyys antennista, sekä maastoesteet antennin ja tukiaseman välillä. Tukiasema A sijaitsee noin 2,00 km päässä antennista, ja tukiasema B sijaitsee noin 4,00 km päässä antennista (tukiasemien sijainnit ovat pyöristettyinä opinnäytetyön kohteen osoitteen peittämiseksi). Tukiaseman B ja antennin välillä on huomattavasti vähemmän maastoesteitä, kuin tukiaseman A ja antennin välillä. Työssä analysoidaan yhdistyvyys molempiin tukiasemiin, jotta voidaan todistaa maastoesteiden haittaavuus langattomille Internet-yhteyksille. Tukiaseman A yhteys analysoidaan reitittimen ympärisäteilevillä vakioantenneilla, asettamalla reititin valitsemaan automaattisesti paras yhteys, jota käyttää, ja nopeustestaamalla sitä. Mittatulosten perusteella näkee saako opinnäytetyön alueen laitteet yhteyttä tukiasemaan A, tukiasemaan B, vai tukiasemaan C. Tukiasemaan A ja C ei yritetä yhdistää suunta-antenneilla, koska opinnäytetyön kohteessa ei ole mahdollista asentaa suunta-antenneja sijaintiin, josta ne saisivat yhteyden tukiasemiin A ja C. Analysoinnissa käytetään Elisän, Telian ja DNA:n mobiililaajakaistaliittymiä, jotta voidaan selvittää sijaintikohtaisesti kannattavin liittymä, josta maksaa. Yhteydet analysoidaan ensiksi reitittimen Zyxel-LTE3301-M209 ympärisäteilevillä vakioantenneilla, jolloin saadaan hyvä käsitys siitä, että millaista yhteyttä käyttäjät kokevat päivittäin. Ympärisäteilevän yhteyden analysoinnin jälkeen analysoidaan suunnatun yhteyden toimivuus tukiasemalle B molemmilla reitittimillä.

Tukiasema A lähettää opinnäytetyön kohteen suuntaan Elisa 4G-yhteyttä taajuuksilla 2800 MHz, 1800 MHz, ja 800 MHz (**Kuva 8.**) Solujen arvot eivät vastaa opinnäytetyön alueen arvoja, mutta ne antavat hyvän lähtökohdan yhteyden parantamisen suunnittelulle. Cellmapper näyttää solujen RSRP-arvoksi parhaimman mitattuloksen, jonka joku käyttäjä on saanut itselleen mitattua esimerkiksi mittamalla aivan tukiaseman juuressa. Opinnäytetyön alueella ei nähdä korkeiden taajuuksien 2800 MHz ja 1800 MHz hyötyjä, koska korkeat taajuudet ovat heikkoja läpäisemään alueen mainittuja maastoesteitä, sekä vielä niiden jälkeen talojen rakenteita. 800 MHz signaali läpäisee esteitä paremmin (Rysavy, 2012), jonka takia laitteet suosivat alhaisempaa taajuutta alueella.

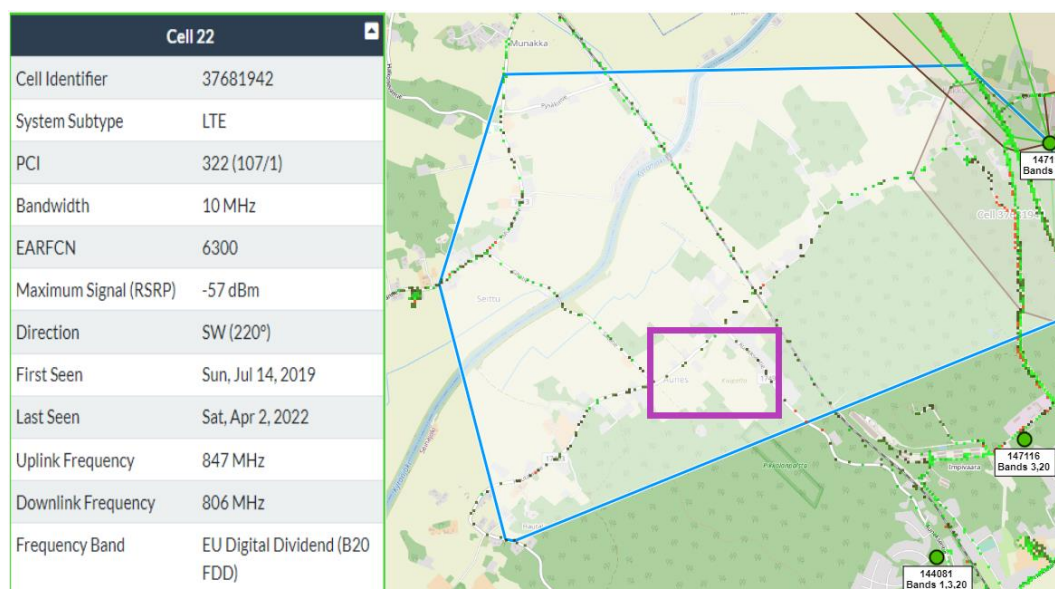


Kuva 8. Tukiaseman A Elisan signaalit (Cellmapper, 2022)

Telia lähettää tukiasemasta A yhtä 800 MHz signaalia opinnäytetyön kohteen suuntaan, joka on suunnattu erittäin tarkasti alueelle, jonka takia tähän signaaliin on mahdollista saada hyvä yhteys (**Kuva 9.**) Tukiasema C, jossa on vain Telian yhteyksiä, lähettää alueelle myös yhtä 800 MHz signaalia (**Kuva 10.**), johon on yhtä hyvä mahdollisuus saada yhteys, kuin tukiaseman A signaaliin.

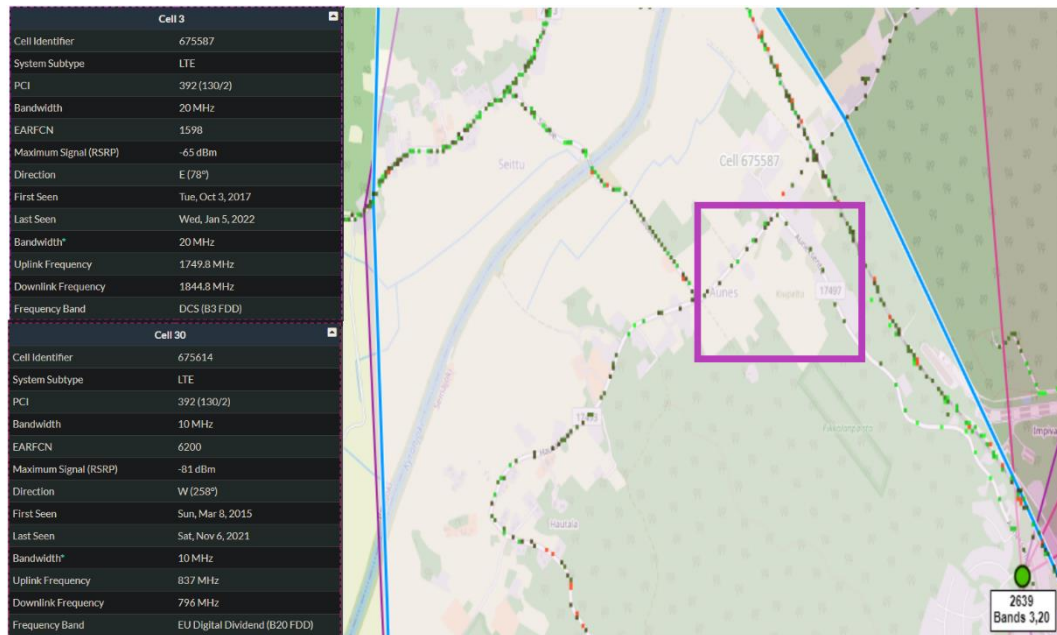


Kuva 9. Tukiaseman A Telian signaali (Cellmapper, 2022)



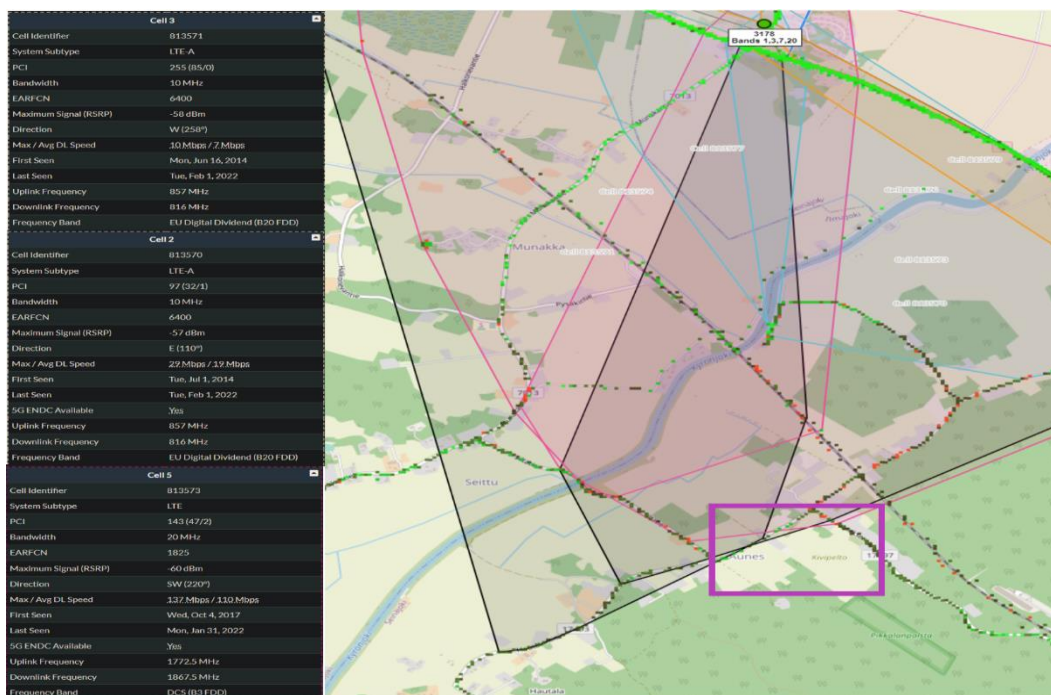
Kuva 10. Tukiaseman C Telian signaali (Cellmapper, 2022)

DNA lähettää tukiasemasta A kahta signaalia 1800 MHz ja 800 MHz opinnäytetyön kohteen suuntaan (**Kuva 11.**)



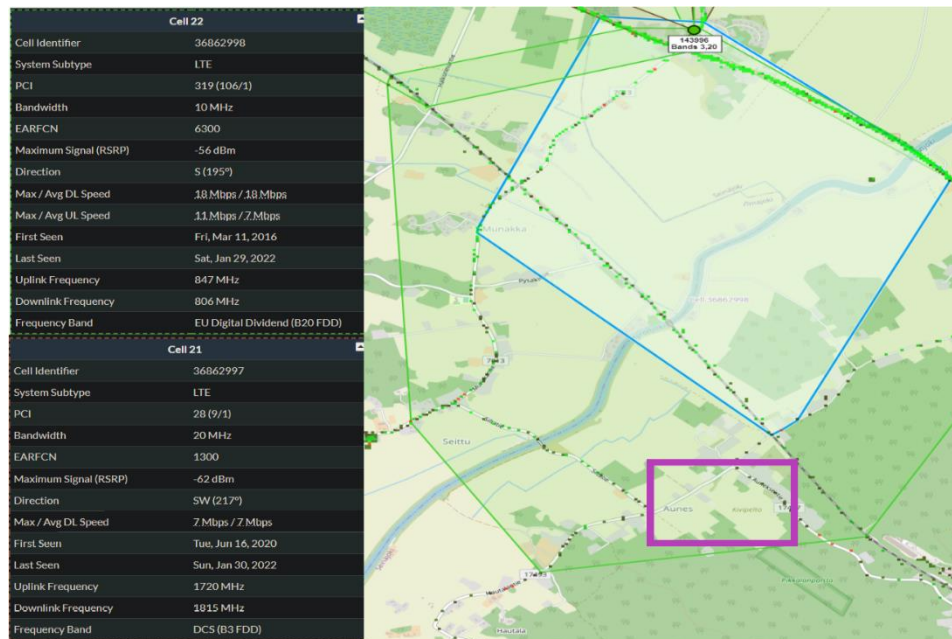
Kuva 11. Tukiaseman A DNA:n signaalit (Cellmapper, 2022)

Elisa lähettää tukiasemalta B montaa signaalia opinnäytetyön kohteen suuntaan, joista kolme ylettävät kunnolla alueelle Cellmapperin mukaan (**Kuva 12.**) Signaalit: 1800 MHz ja 800 MHz (kaksi kappaletta: PCI (LTE Physical Cell Identity) 255 ja 97).



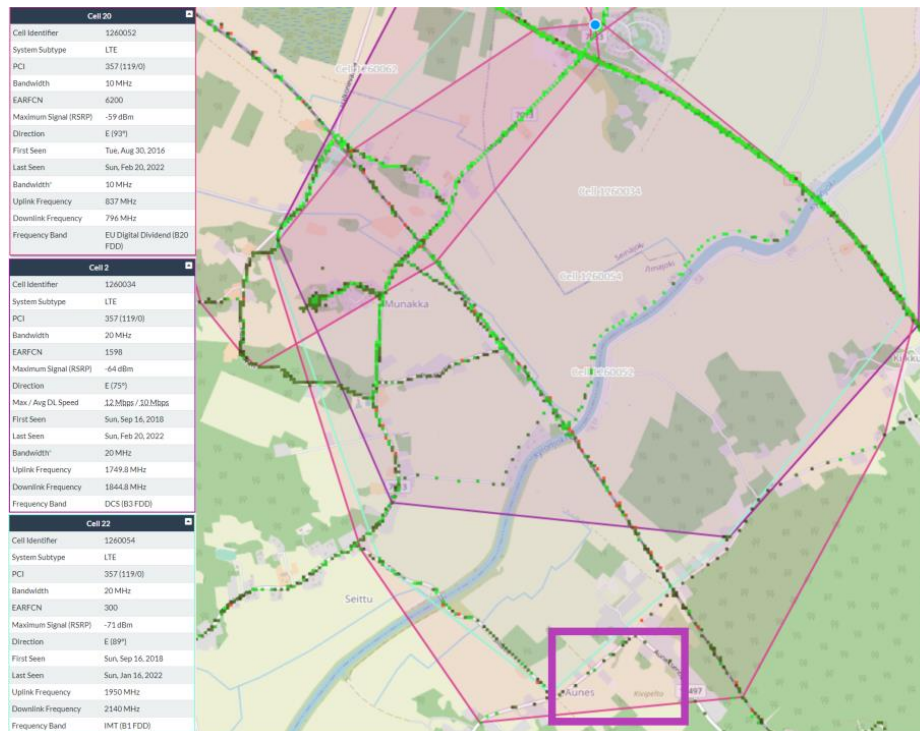
Kuva 12. Tukiaseman B Elisan signaalit (Cellmapper, 2022)

Telia lähettää tukiasemalta B kahta signaalia 1800 MHz ja 800 MHz opinnäytetyön kohteen suuntaan, joista 800 MHz signaali ylittää reilusti opinnäytetyön alueelle **(Kuva 13.)**



Kuva 13. Tukiaseman B Telian signaalit (Cellmapper, 2022)

DNA lähettää tukiasemalta B kolmea signaalia 2100 MHz, 1800 MHz, ja 800 MHz, joista 2100 MHz ja 800 MHz ylettävät Cellmapperin mukaan opinnäytetyön kohdealueelle **(Kuva 14.)**



Kuva 14. Tukiaseman B DNA:n signaalit (Cellmapper, 2022)

4.5 Mittatulosten hyödyntäminen

Tukiasemien yhteyksien testaamisen jälkeen käydään läpi mittatulokset. Ympärisäteilevät mittaukset suoritetaan palveluntarjoaja kerrallaan vuorotellen. Jokaisen palveluntarjoajan mobiililaajakaistaa mitataan kolme vuorokautta 10 min välein. Jotta mittatulokset olisivat mahdollisimman kattavia palveluntarjoajien vertailua varten, suoritetaan mittaukset eri viikonpäivinä. Mittausviikolla 1 mitataan esimerkiksi maanantaina Elisa, tiistaina Telia, keskiviikkona DNA. Mittausviikolla 2 palveluntarjoajien järjestystä muutetaan, jotta se eroaisi mahdollisimman paljon mittausviikon 1 järjestyksestä, jolloin saadaan hyvää mittausdataa, joka ei ole puoleellinen esimerkiksi siten, että tiettyä palveluntarjoajaa analysoidaisiin vain viikonlopun aikana saaduilla mittatuloksilla. Näillä mittatuloksilla voi päätellä, kuinka verkko toimii ja käyttäytyy mihinkin kellonaikaan. Suunnatut mittaukset suoritetaan palveluntarjoaja kerrallaan, mutta mittauksia ei tässä vaiheessa suoriteta kahta päivää per palveluntarjoaja, koska antennia suunnattaessa etsitään ensin

suunta, josta löytyy paras signaali, jonka jälkeen mitataan nopeasti, että millä reitittimellä toimii parhaiten mikäkin mobiililaajakaista, ja konfiguroitu taajuus. Kun paras yhdistelmä löytyy, niin sitä mitataan kolme vuorokautta, jotta saadaan kyseisen yhteyden toimivuus usean päivän ajalta.

4.6 Suunta-antennien asennus

Mitä korkeammalle antennit saa asennettua, niin yleisesti ottaen sen parempi. Tämä tarkoittaa lähes aina antennin katolle asentamista. Yksittäiselle kotitaloudelle ei ole opinnäytetyön aikamääreiden sisällä mahdollista asentaa suunta-antenneja katolle. Suunta-antennit asennetaan niin korkealle, kun on turvallista mennä tikkailla.

Kun asentaa suunta-antennit MIMO-tyylillä, niin antennit on asennettava 90 asteen kulmaan toisistaan. On myös otettava huomioon eri taajuuksien vaatima etäisyys antennien välillä, joka johtuu eri taajuuksien omista aallonpituuksista. Kumpikin antenni käsittelee omaa datavirtaansa, jotenka mitä enemmän antennille antaa tilaa käsitellä omaa datavirtaansa, niin sen parempi. (Telco Antennas, 2022). Jos tukiasema lähettää alueelle 1800 MHz signaalia, ja antennit ovat asennettu taajuuden aallonpituuksien mukaisesti, niin reititinkin käyttää taajuutta 1800 MHz. Opinnäytetyössä antennit asennetaan 1800 MHz taajuuden etäisyyden mukaisesti (Tele-Tukku Oy, 2020), koska tukiasemalta B tulee hyvin 1800 MHz signaalia opinnäytetyön alueelle. Antennien optimaalisen etäisyyden toisistaan voi laskea kaavalla 2. Minimietäisyyden voi laskea kaavalla 3. Kaavoissa 4 ja 5 on laskettuna etäisyydet 1800 MHz alueelle.

$$\text{Optimaalinen etäisyys kahden antennin välillä} = 2 * \frac{c}{f_{min}} \quad (2)$$

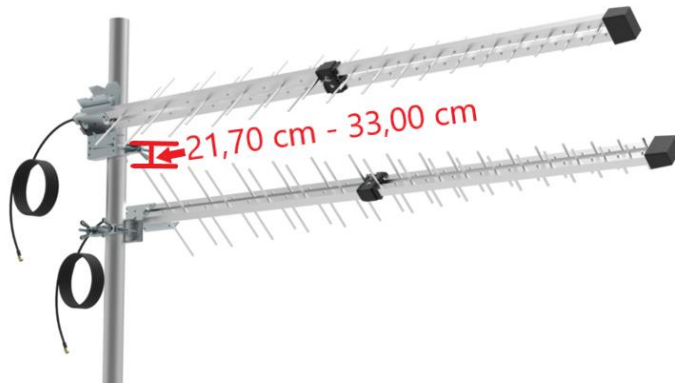
$$\text{Minimietäisyys kahden antennin välillä} = 1,3 * \frac{c}{f_{min}} \quad (3)$$

c = valonnopeus $3 * 10^8$ m/s, f_{min} = alhaisin vastaanotettu taajuus

$$\text{Optimaalinen etäisyys @ 1800 MHz} = 2 * \frac{3 * 10^8 \frac{m}{s}}{1800 \text{ MHz}} \quad (4)$$

$$\text{Minimi etäisyys @ 1800 MHz} = 1,3 * \frac{3 * 10^8 \frac{m}{s}}{1800 \text{ MHz}} \quad (5)$$

Kuvassa 15 on merkittynä minimi- ja optimaalinen etäisyys pisimpien antennielementtien kohdalle.



Kuva 15. Finnsat-FS5800 -suunta-antennien etäisyydet. Antennit: (Finnsat, 2022)

4.7 ADSL-analysointi

Langallinen yhteys analysoidaan, jotta suunta-antennin asennuksen jälkeen voi verrata mobiililaajakaistan suoriutumista myös kiinteään laajakaistaan. Kiinteä laajakaista maksaa yhtä paljon, kuin yleinen 4G-mobiililaajakaista, mutta kiinteä laajakaista on nopeuksiltaan huomattavasti rajatumpi, kuin 4G-mobiililaajakaista. ADSL-yhteys mitataan samalla työkalulla, kuin langaton yhteys, mutta sitä analysoidessa ei vaihdella palveluntarjoajaa eikä mitata pitkäaikaisesti, kuten langattonta yhteyttä.

4.8 Valokuitu opinnäytetyön alueelle

Työn tarkoituksena on myös vaikuttaa opinnäytetyön aikamääreiden ulkopuolella. Suurena vaikutuksena on valokuidun saaminen Aunekseen (**LIITE 3**). Langattoman verkon analyysi tulee toimimaan perusteluna, joka rohkaisisi alueen asukkaita ottamaan valokuituyhteyden sitä tarjottaessa.

4.9 Opinnäytetyön budjetti

Opinnäytetyön budjetti on 400 €, jonka on laatinut opinnäytetyön tekijä (**Taulukko 4.**) Tekijä rahoittaa työtä omilla rahoillaan.

Opinnäytetyön kuluja on mahdollista vähentää omalta osalta, jos ostaa laitteita, joita koulu voisi haluta, kuten suunta-antennit. Tämä ei kuitenkaan sovi tähän työhön, koska ostetut laitteet jäävät yksittäiselle kotitaloudelle.

Taulukko 4. Opinnäytetyön budjetti

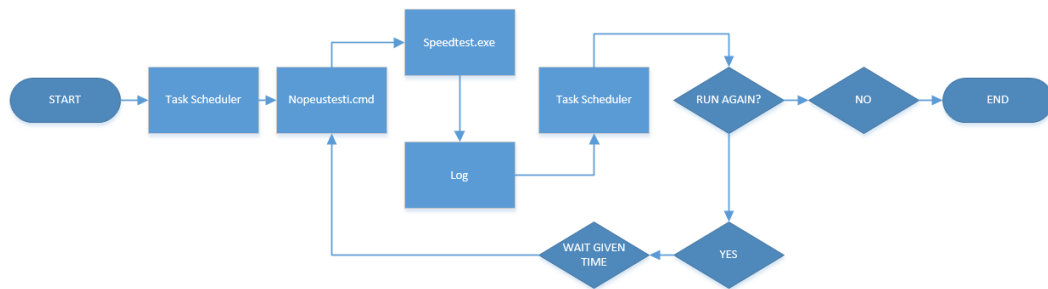
| | |
|-------------------------------------|---------------------|
| Finnsat-FS5800 | 140 € (70 €/kpl) |
| Asennuskoukut | 32 € (16 €/kpl) |
| Zyxel-LTE3301-M209 | 109 € |
| Mobiililaajakaistat | 100 € (n. 30 €/kpl) |
| Naulat, ruuvit, prikot, jne. | 19 € |
| Yhteensä: | 400 € |

Budjettia helpottaa, jos tekijällä on tarvittavia liittymiä, laitteita, ja kaapeleita jo ennestään. Budjetointiin ei ole laskettu mukaan yksittäisellä kotitaloudella valmiiksi olevia laitteita, kuten ADSL-reititintä. Nopeusmittausten aikamääreet ovat budjetille kriittisiä, koska mittausten venyessä, venyy myös mobiililaajakaistojen asiakkuudet, joka aiheuttaa helposti vähintään 70 €/kk lisäkuluja.

5 NOPEUSTESTAAMISEN VALMISTELU

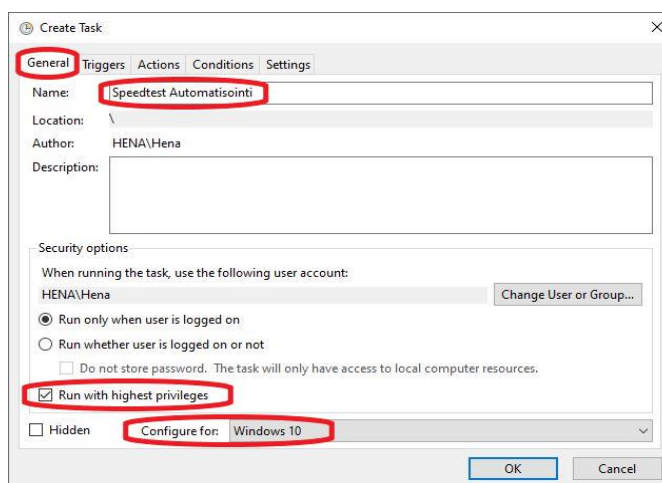
5.1 Nopeustestaamisen automaatio

Nopeustestin automatisointia kuvaa kaavio 1.



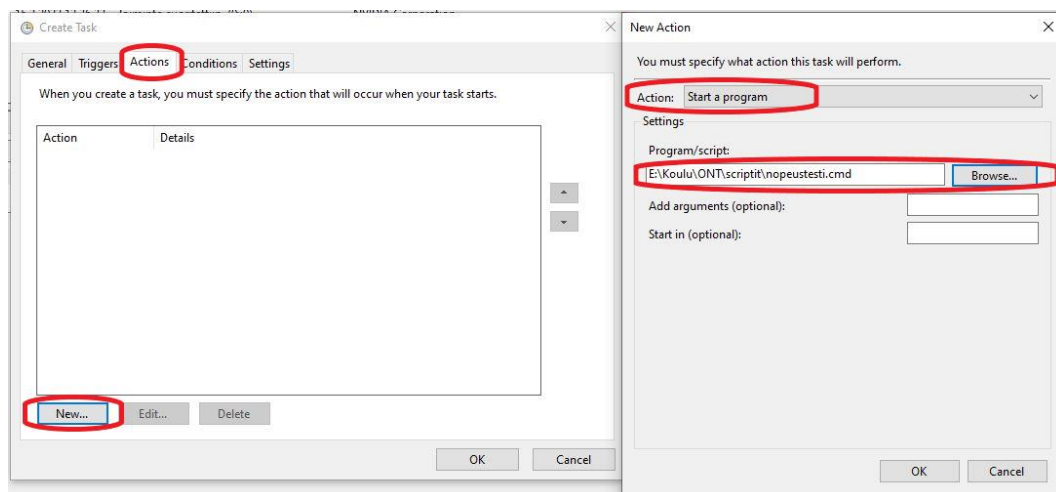
Kaavio 1. Nopeustestin automatisoinnin vuokaavio

Mittatulosten analysointia varten tarvitaan paljon mittatuloksia. Batch-tiedosto aikataulutetaan ajamaan Speedtest.exe -ohjelma, ja tallettamaan mittatulokset. Opinnäytetyössä Batch-tiedosto aikataulutetaan Windowsin Task Schedulerilla. Kuvissa 16-19, on ohjelman aikataulutuksen asetukset.



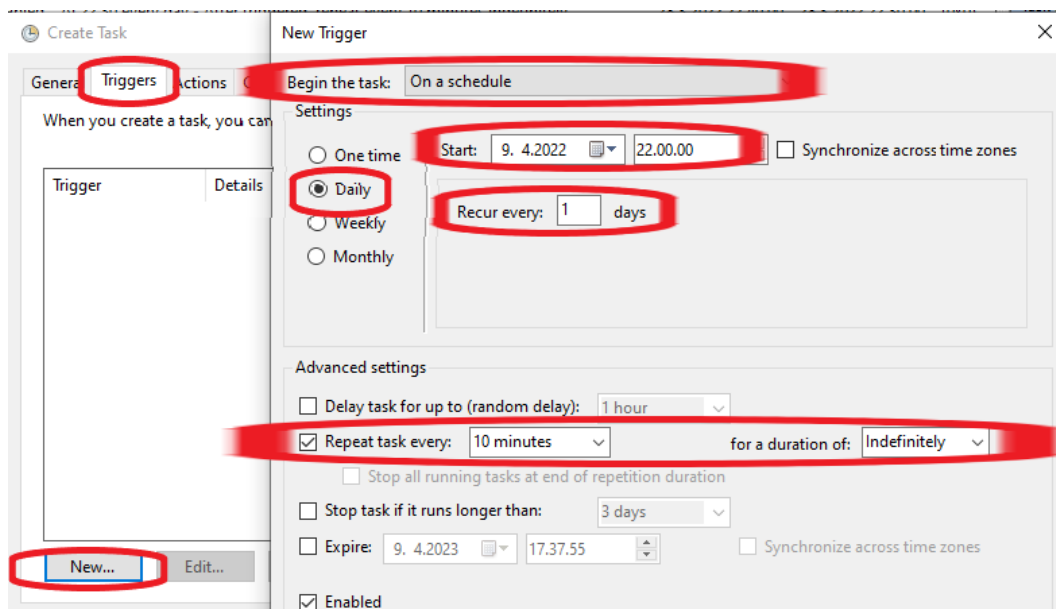
Kuva 16. Task Schedulerin yleiset asetukset

Kuvassa 16 on yleiset asetukset, joista on valittu aikataulutettavan tehtävän nimi, millä käyttöjärjestelmällä tehtävää ajetaan, ja tehtävän suoritus korkeimmalla oikeuksilla. Tehtävä suoritetaan korkeimmilla oikeuksilla, jotta tehtävän suoritus ei keskeytyisi missään vaiheessa puuttuvien oikeuksien takia.



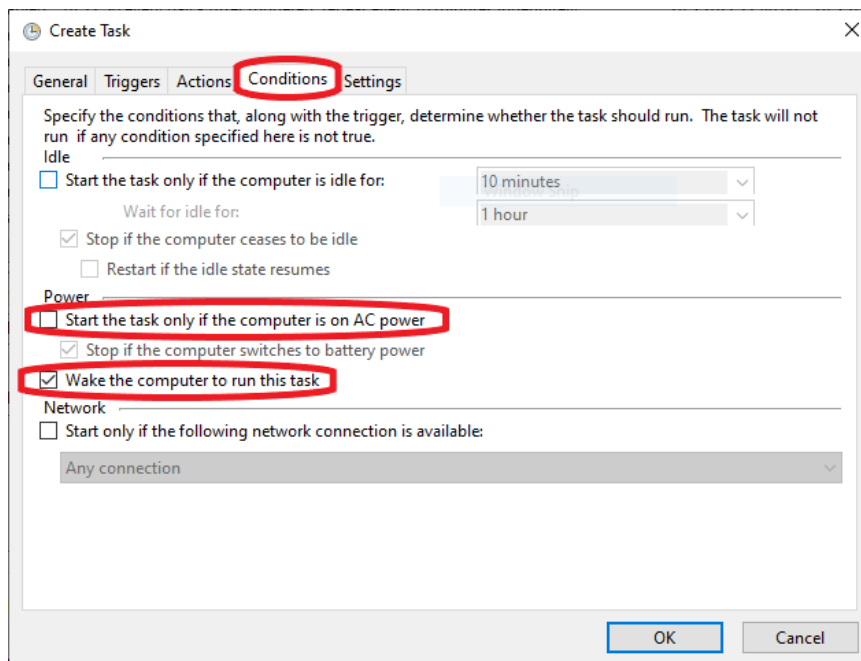
Kuva 17. Task Schedulerin toiminta-asetukset

Kuvassa 17 lisätään tehtävälle suoritettava ohjelma, joka on opinnäytetyössä luotu Batch-tiedosto.



Kuva 18. Task Schedulerin aikataulutusasetukset

Kuvassa 18 asetetaan tehtävän aikataulutus. Valitaan, että tehtävä suoritetaan toistaiseksi päivittäin 10 min välein.



Kuva 19. Task Schedulerin virta-asetukset

Kuvassa 19 on Task Schedulerin virta-asetukset. Vakiona tehtäviä ei suoriteta, jos tietokone ei ole verkkovirrassa, eikä tietokonetta herätetä levosta suorittamaan tehtäviä. Mittatyökaluna toimiva tietokone on kannettava tietokone, joka ei välttämättä ole aina kiinni verkkovirrassa, jotenka vakioasetus muutetaan, että tehtävä voi suoritua, vaikka tietokone ei ole kiinni verkkovirrassa. Kannettavan tietokoneen virta-asetukset on määritetty, niin ettei tietokone mene ikinä itsestään lepoon, mutta Task Schedulerissa määritetään Task Scheduler herättämään tietokone tehtävän suorittamista varten varmuuden vuoksi.

Nopeustesti.cmd on batch-tiedosto, jonka suoritus aikataulutetaan. Nopeustesti.cmd suorittaa Speedtest.exe -ohjelman, jonka suoriuduttua tallettaa nopeustestin tulokset uniikkiin tiedostoon, joka nimetään käyttöjärjestelmän päivämäärän ja kellonajan mukaan. Kuvassa 20 on Nopeustesti.cmd batch-tiedosto. Kuvan 20 alla käydään batch-tiedostoa läpi riveittäin (liite 1).

```

1  :: enter the right directory with the source code and the executable
2  cd /d E:\Koulu\ONT\scriptit
3  :: read 2nd item from date /t - command, and set it as mydate
4  for /F "tokens=2" %%i in ('date /t') do set mydate=%%i
5  :: read 1st item from time /t - command, and set is as mytime
6  for /F "tokens=1" %%i in ('time /t') do set mytime=%%i
7  :: create a textfile with the name: "date - time"
8  set filename=%mydate%-%mytime%.txt
9  :: run the executable
10 speedtest.exe
11 :: log the results from the executable
12 speedtest > %filename%

```

Kuva 20. Nopeustesti.cmd batch-tiedosto

Rivi 2. cd /d siirtyy annetulle kansiolle ja levyllä, jossa on lähdekoodi ja suoritettava ohjelma.

Rivi 4. for /F lukee rivin tekstin. "Tokens=2" lukee "date /t" toisen solun. Do set asettaa "tokens" lukeman kohteen muuttujalle "mydate". Päivänmäärän ohjelma saa kuvan 21 mukaisesta OS (Operating System) -päivänmäärästä.

```

E:\Koulu\ONT\scriptit>date /t
to 17.03.2022

```

Kuva 21. OS-päivänmäärä

Rivi 6. for /F lukee rivin tekstin. "Tokens=1" lukee "time /t" ensimmäisen solun. Do set asettaa "tokens" lukeman kohteen muuttujalle "mytime". Kellonajan ohjelma saa kuvan 22 mukaisesti OS-kellonajasta.

```

E:\Koulu\ONT\scriptit>time /t
01.28

```

Kuva 22. OS-kellonaika

Rivi 8. Luodaan tekstitiedosto, joka nimetään rivien 4 ja 6 mukaisten muuttujien mukaan.

Rivi 10. Suoritetaan speedtest.exe.

Rivi 12. Kirjataan speedtest.exe tulokset rivillä 8. luotuun tekstitiedostoon.

Opinnäytetyössä ei tarvitse käyttää tarkempaa aikamuuttujaa, jossa olisi sekunnit mukana, koska mittaus suoritetaan päivittäin 10 min välein.

Kuvassa 23 on esimerkki batch-tiedoston luomasta tekstitiedostosta.



Kuva 23. Batch-tiedoston luoma tekstitiedosto

Kuva 24 on batch-tiedoston tallettama yhteenveto nopeustestistä.

```

1  Speedtest by Ookla
2
3  Server: RETN - Helsinki (id = 31122)
4  ISP: DNA Oyj
5  Latency: 19.37 ms (5.06 ms jitter)
6
7  Download: 83.00 Mbps (data used: 127.4 MB )
8
9  Upload: 23.35 Mbps (data used: 23.8 MB )
10 Packet Loss: 0.0%
11 Result URL: https://www.speedtest.net/result/c/683372d0-fe84-4803-a3f7-66df552dcaf2
12
13

```

Kuva 24. Nopeustestin yhteenveto

Nopeustestaamisen automaation kannalta on erittäin tärkeää, että ohjelma ei pyydä järjestelmänvalvojan oikeuksia suoriutuakseen. Opinnäytetyössä muokataan Windowsin yhteensopivuusrekisterissä suoritettavan Speedtest.exe -ohjelman oikeuksia (**Kuva 25.**)

```

1  Windows Registry Editor Version 5.00
2
3  [HKEY_CURRENT_USER\Software\Microsoft\Windows NT\CurrentVersion\AppCompatFlags\Layers]
4  "E:\Koulu\ONT\scriptit\speedtest.exe"="RunAsInvoker"

```

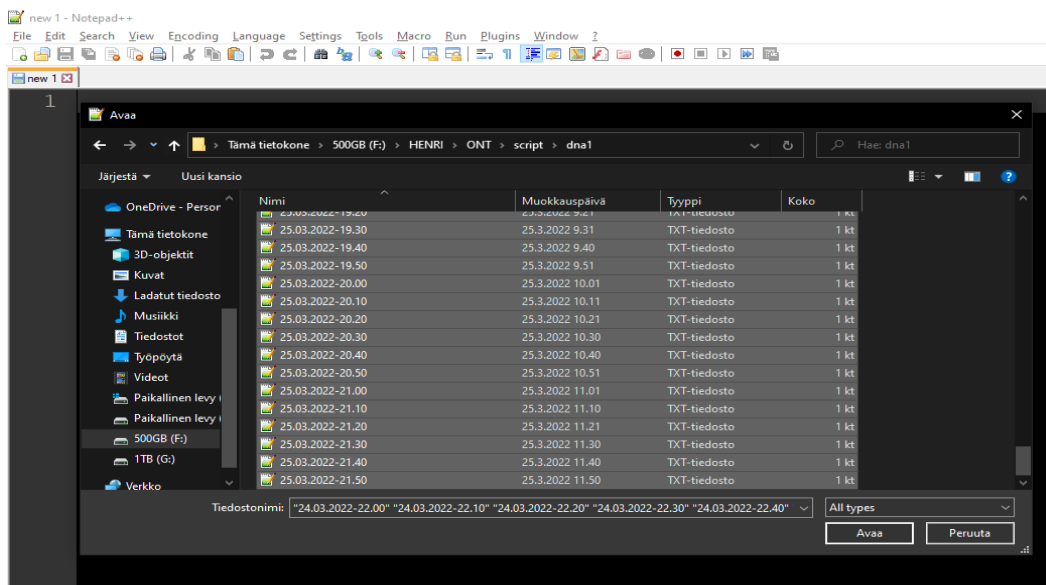
Kuva 25. Registry Editor oikeuksien muokkaus

Rivi 3. Polku yhteensopivuusrekisteriin.

Rivi 4. Polku suoritettavaan ohjelmaan. Suoritettavan ohjelman polun jälkeen "RunAsInvoker" asettaa ohjelmalle oikeudet, jotka ohittavat järjestelmänvalvojan luvan pyytämisen.

5.2 Mittatulosten käyttöönotto

Mittatulosten käsittely tapahtuu ohjelmissa Notepad++ ja Microsoft Excel. Työssä luotu AHK-ohjelma siirtää mittatulokset Notepad++ -ohjelmasta Excelliin. AHK-ohjelman oikean toiminnan mahdollistamiseksi avataan Notepad++ ja painetaan näppäimistöltä Ctrl + O (open), ja valitaan vuorokauden mittatulokset (**Kuva 26.**) Jos mittatulokset avaa suoraan hakemistosta, niin Notepad++ ei osaa asettaa mittatuloksia oikeaan järjestykseen. Mittatulokset pitää avata niiden mittausajankohdan mukaisesti, jotta mittausdatan automaattinen siirto Excelliin onnistuu.



Kuva 26. Mittatulosten avaaminen Notepad++ -ohjelmalla

Viimeisin Notepad++ -ohjelman luoma välilehti on viimeinen mittatulos (klo 21.50). Siirrytään ensimmäiseen välilehteen, joka on ensimmäinen mittatulos. Siirtyminen on helppoa pitämällä CTRL + PGUP pohjassa, kunnes on ensimmäisen mittatuloksen (klo 22.00) kohdalla. Siirtymisen aikana Notepad++ ottaa muistiin viimeisimmän välilehden missä on käyty, joka on tärkeää tietojen automaattista siirtoa varten.

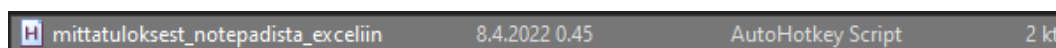
Excelissä kursori asetetaan kuvan 27 osoittamaan kohtaan. Kursorin asetuksen jälkeen painetaan näppäinyhdistelmää ALT + TAB takaisin Notepad++ -ohjelmaan,

jolloin Notepad++ - Excel siirtyminen on viimeisin ALT + TAB siirtyminen, jota AHK käyttää.

| | A | B | C | D | E | F | G |
|---|-----------|-------|--------|--------------|-----------------|---------------|-----------------|
| 1 | Date | Time | Server | Latency (ms) | Download (Mbps) | Upload (Mbps) | Packet loss (%) |
| 2 | 24.3.2022 | 22:00 | | | | | |
| 3 | 24.3.2022 | 22:10 | | | | | |
| 4 | 24.3.2022 | 22:20 | | | | | |
| 5 | 24.3.2022 | 22:30 | | | | | |
| 6 | 24.3.2022 | 22:40 | | | | | |
| 7 | 24.3.2022 | 22:50 | | | | | |

Kuva 27. Excel-kursorin sijoitus ilman siirrettyjä tiedostoja

AHK-skriptin voi käynnistää suorittamalla AutoHotkey Script – tiedoston (**Kuva 28.**) Skriptin käynnistyttyä ohjelma odottaa määritettyä näppäinyhdistelmää, jonka painalluksen jälkeen skriptin suoritus alkaa.



Kuva 28. AHK-suoritus

AHK-skripti siirtää Nopeustesti.cmd luomista tiedostoista kaikki Internet-yhteyden nopeuden keskiarvon laskemista varten tarvittavat tiedot, sekä muita analyttisiä tietoja, kuten palvelimen, viiveen ja paketinmenetyksen (**Kuva 29.**)

| | A | B | C | D | E | F | G |
|---|-----------|-------|-----------------|--------------|-----------------|---------------|-----------------|
| 1 | Date | Time | Server | Latency (ms) | Download (Mbps) | Upload (Mbps) | Packet loss (%) |
| 2 | 24.3.2022 | 22:00 | Server: RETN - | 29,42 | 9,21 | 2,11 | 0 |
| 3 | 24.3.2022 | 22:10 | Server: Cinia C | 27,09 | 7,73 | 2,12 | 0 |
| 4 | 24.3.2022 | 22:20 | Server: Ugandi | 32,65 | 6,90 | 1,64 | 0 |
| 5 | 24.3.2022 | 22:30 | Server: DNA V | 24,7 | 4,74 | 1,21 | 0 |
| 6 | 24.3.2022 | 22:40 | Server: Suomi | 31,57 | 4,43 | 1,81 | Not available, |
| 7 | 24.3.2022 | 22:50 | Server: BlufVP | 29,6 | 8,09 | 1,67 | 0 |

Kuva 29. Exceliin siirretyt tiedot

Opinnäytetyössä käytettävä AHK-skripti on luotu yksinkertaisilla näppäinkomennoilla, joita käydään läpi kuvissa 30-35. Taulukossa 5 on selitteet AHK:ssa näppäinten Ctrl, Shift, ja Tab käyttämiseen.

```

mittatuloksest_notepadista_exceliin.ahk
1 ^j::
2 Loop 144
3 {
4     Sleep 250
5     Send {DOWN 3} ;MOVE CURSOR TO SERVER LINE
6     Send ^+{x} ;COPY SERVER
7     Sleep 250
8     Send {Alt down}%A_Tab%{Alt up} ;CHANGE WINDOW TO EXCEL
9     Sleep 250
10    Send ^{v} ;PASTE SERVER
11    Sleep 250
12    Send %A_Tab% ;MOVE CURSOR TO NEXT CELL IN EXCEL
13    Sleep 250
14    Send {Alt down}%A_Tab%{Alt up} ;CHANGE WINDOW TO NOTEPAD++

```

Kuva 30. AHK-palvelimen siirto

Taulukko 5. Ctrl, Shift, Tab

| | |
|---------|-------|
| ^ | Ctrl |
| + | Shift |
| %A_Tab% | Tab |

Rivi 1. Näppäinyhdistelmä, joka aloittaa ohjelman suorituksen (CTRL + J).

Rivi 2. Lukumäärä, kuinka monta kertaa kierto toistetaan. Laskettu kaavassa 6.

$$Loop\ x = \frac{24\ h}{10\ min} \rightarrow \frac{1440}{10} = 144 \quad (6)$$

Rivi 3. Loop alku.

Rivi 4. "Sleep 250", käskee ohjelman odottaa 250 ms. Ohjelman on välillä hyvä pitää taukoja, jotta tietokone pysyy leikepöydän perässä.

Rivi 5. "Send {DOWN 3}", liikuttaa kursoria 3 kertaa alaspäin.

Rivi 6. "Send ^+{x}", kopioi koko rivin (CTRL + SHIFT + X), jossa kursori sijaitsee. Palvelinrivi kopioidaan kokonaisuudessaan, koska palvelimien nimissä voi olla eroavaisuuksia.

Rivi 8. "Send {Alt down} %A_Tab% {Alt up}", on ikkunanvaihto (ALT + TAB).

Rivi 10. Liitetään rivillä 6. kopioitu arvo Exceliin.

Rivi 12. Siirrytään Excelissä seuraavaan soluun.

Rivi 14. ATL + TAB takaisin Notepad++.

```

16 Sleep 250
17 Send {DOWN 2} ;MOVE CURSOR TO LATENCY LINE
18 Send {HOME} ;MOVE CURSOR TO START OF THE WORD "LATENCY:"
19 Send {RIGHT 8} ;MOVE CURSOR TO END OF THE WORD "LATENCY:"
20 Sleep 250
21 Send {Ctrl down}{Shift down}{RIGHT 3}{Ctrl up}{Shift up} ;SELECT THE VALUE OF THE LATENCY
22 Sleep 250
23 Send ^{c} ;COPY LATENCY
24 Sleep 250
25 Send {Alt down}%A_Tab%{Alt up} ;CHANGE WINDOW TO EXCEL
26
27 Sleep 250
28 Send ^{v} ;PASTE LATENCY
29 Sleep 250
30 Send %A_Tab% ;MOVE CURSOR TO THE NEXT CELL IN EXCEL
31 Sleep 250
32 Send {Alt down}%A_Tab%{Alt up} ;CHANGE WINDOW TO NOTEPAD++

```

Kuva 31. AHK-viiveen siirto

Rivi 18. "Send {HOME}", siirtää kursorin rivin ensimmäisen sanan alkuun.

Rivi 19. "Latency:" = 8 merkkiä -> siirrytään 8 oikealle, jotta päästään sanan ohi, ja tyhjälle alueelle, joka johtaa kopioitavalle arvolle.

Rivi 21. Valitaan alue maalaamalla, jotta saadaan kopioitava arvo leikepöydälle ilman ylimääräisiä merkkejä.

Rivi 23. Kopioidaan maalattu alue.

```

33
34 Sleep 250
35 Send {DOWN 2} ;MOVE CURSOR TO DOWNLOAD LINE
36 Send {HOME} ;MOVE CURSOR TO START OF THE WORD "DOWNLOAD:"
37 Send {RIGHT 9} ;MOVE CURSOR TO END OF THE WORD "DOWNLOAD:"
38 Sleep 250
39 Send {Ctrl down}{Shift down}{RIGHT 3}{Ctrl up}{Shift up} ;SELECT THE VALUE OF THE DOWNLOAD
40 Sleep 250
41 Send ^{c} ;COPY DOWNLOAD
42 Sleep 250
43 Send {Alt down}%A_Tab%{Alt up} ;CHANGE WINDOW TO EXCEL
44
45 Sleep 250
46 Send ^{v} ;PASTE DOWNLOAD
47 Sleep 250
48 Send %A_Tab% ;MOVE CURSOR TO THE NEXT CELL IN EXCEL
49 Send {Alt down}%A_Tab%{Alt up} ;CHANGE WINDOW TO NOTEPAD++

```

Kuva 32. AHK-latausnopeuden siirto

```

50
51     Sleep 250
52     Send {DOWN 2}      ;MOVE CURSOR TO UPLOAD LINE
53     Send {HOME}       ;MOVE CURSOR TO START OF THE WORD "UPLOAD:"
54     Send {RIGHT 7}    ;MOVE CURSOR TO END OF THE WORD "UPLOAD:"
55     Sleep 250
56     Send {Ctrl down}{Shift down}{RIGHT 3}{Ctrl up}{Shift up} ;SELECT THE VALUE OF THE UPLOAD
57     Sleep 250
58     Send ^{c}         ;COPY UPLOAD
59     Sleep 250
60     Send {Alt down}%A_Tab%{Alt up}
61
62     Sleep 250
63     Send ^{v}         ;PASTE UPLOAD
64     Sleep 250
65     Send %A_Tab%     ;MOVE CURSOR TO THE NEXT CELL IN EXCEL
66     Sleep 250
67     Send {Alt down}%A_Tab%{Alt up} ;CHANGE WINDOW TO NOTEPAD++

```

Kuva 33. AHK-lähetysnopeuden siirto

```

68
69     Sleep 250
70     Send {DOWN 1}    ;MOVE CURSOR TO PACKET LOSS LINE
71     Send {HOME}     ;MOVE CURSOR TO START OF THE WORD "PACKET LOSS:"
72     Send {RIGHT 12} ;MOVE CURSOR TO END OF THE WORD "PACKET LOSS:"
73     Sleep 250
74     Send {Ctrl down}{Shift down}{RIGHT 3}{Ctrl up}{Shift up} ;SELECT THE VALUE OF THE PACKET LOSS
75     Sleep 250
76     Send ^{c}       ;COPY PACKET LOSS
77     Sleep 250
78     Send {Alt down}%A_Tab%{Alt up} ;CHANGE WINDOW TO EXCEL
79
80     Sleep 250
81     Send ^{v}       ;PASTE PACKET LOSS
82     Sleep 250
83     Send {ENTER}   ;CHANGE ROW IN EXCEL
84     Sleep 250
85     Send {Alt down}%A_Tab%{Alt up} ;CHANGE WINDOW TO NOTEPAD++

```

Kuva 34. AHK-pakettihäviön siirto

```

86
87     Sleep 250
88     Send ^{w}      ;CLOSE THE CURRENT TAB IN NOTEPAD++
89     Sleep 250
90 }
91 Esc::ExitApp     ;HOTKEY TO END THE SCRIPT
92

```

Kuva 35. AHK-lopetus

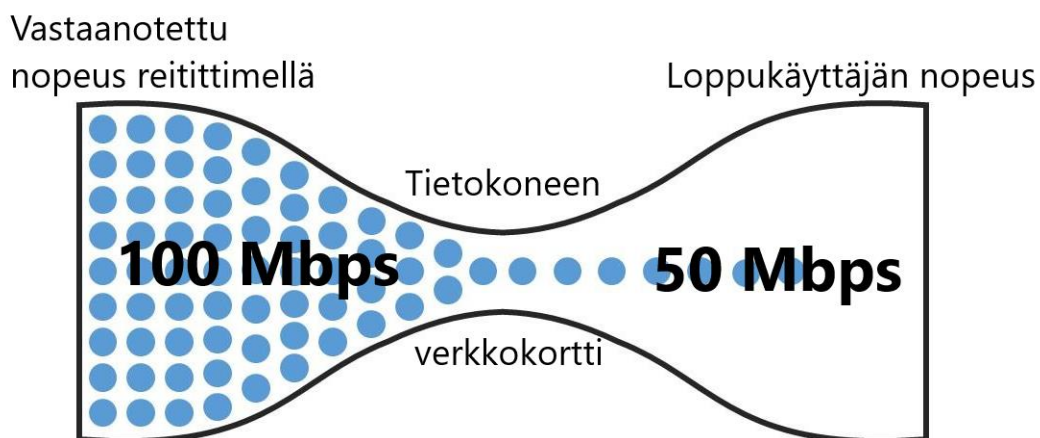
Rivi 88. CTRL + W sulkee nykyisen Notepad++ välilehden (klo 22.00), jonka seurauksena suljetun tilalle siirtyy automaattisesti seuraava mittatulos (klo 22.10).

Rivi 90. Loop loppu, josta palataan takaisin loop alkuun, kunnes loop on suoritettu Loop x – määrän kertoja.

Rivi 91. "Esc::ExitApp", lopettaa ohjelman suorituksen, joka on hyvä olla valmiina, jos ohjelma tekee jotain väärin.

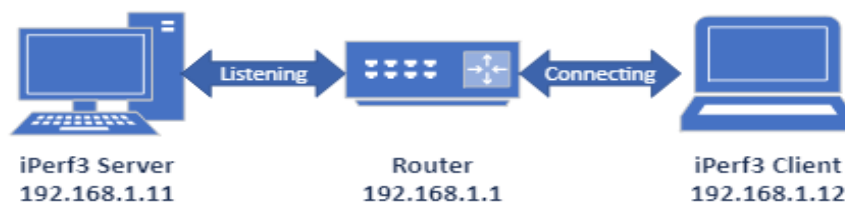
5.3 Lähiverkon maksimi tiedonsiirtonopeus

Opinnäytetyössä tavoitellaan tiettyä Internet-yhteyden nopeutta, jotenka on selvitettävä, ettei kytkennässä ole mahdollisia pullonkauloja, jotka rajoittaisivat yhteyden toimivuutta. Kuvassa 36 on esimerkkinä tilanne, jossa pullonkaula on tietokoneen verkkokortti. Liittymä on 100 Mbit/s, reititin pystyy käsittelemään 100 Mbit/s, ja vastaanottaa 100 Mbit/s operaattorilta, mutta tietokoneen verkkokortti pystyy käsittelemään vain 50 Mbit/s, jolloin loppukäyttäjän Internet-yhteyden nopeus tietokoneella olisi vain 50 Mbit/s.



Kuva 36. Pullonkaulaesimerkki

Työssä tarkistetaan lähiverkon maksimi tiedonsiirtonopeus iPerf3-työkalulla. Lähiverkon maksimi tiedonsiirtonopeuden mittaamista varten tarvitaan kaksi tietokonetta, kaksi CAT5 (Category 5) -ethernetkaapelia, ja reititin (**Kuva 37.**)



Kuva 37. iPerf3-kytkentä

Lähiverkon maksimi-tiedonsiirtonopeuden mittaamiseksi tietokoneet kytketään pois operaattorin ulkoverkosta. Toinen tietokoneista asetetaan iPerf3-työkälulla palvelimeksi (**Kuva 38.**), ja toinen käyttäjäksi (**Kuva 39.**) Palvelin odottaa käyttäjän yhteydenottoa, jonka saatua iPerf3 mittaa lähiverkon maksimi tiedonsiirtonopeuden.

```
F:\HENRI\iperf-3.1.3-win64>iperf3 -s
-----
Server listening on 5201
-----
-s, --server                run in server mode
```

Kuva 38. iPerf3-palvelin

Kuvassa 39 keltaisella merkatulla alueelle on iPerf3:n mittaama lähiverkon maksimi tiedonsiirtonopeus noin 100 Mbit/s, joka todistaa työssä käytettävien laitteiden sopivuuden työn Internet-yhteyden nopeustavoitteisiin. Palvelimen osoitetta seuraava parametri "-bidir" asettaa mitattavan yhteyden full-duplex-tilaan (Vouzis, 2020), joka on myös palveluntarjoajien lähettämien yhteyksien tila. (Cellmapper, 2022)

```
C:\Windows\System32\cmd.exe
C:\Users\Hena\Downloads\iperf-3.1.3-win64\iperf-3.1.3-win64>iperf3 -c 192.168.1.11 -bidir
Connecting to host 192.168.1.11, port 5201
[ 4] local 192.168.1.12 port 64688 connected to 192.168.1.11 port 5201
[ ID] Interval           Transfer     Bandwidth
[ 4]  0.00-1.00   sec    11.6 MBytes  96.9 Mbits/sec
[ 4]  1.01-2.00   sec    11.2 MBytes  94.9 Mbits/sec
[ 4]  2.00-3.01   sec    11.4 MBytes  94.9 Mbits/sec
[ 4]  3.01-4.00   sec    11.2 MBytes  94.9 Mbits/sec
[ 4]  4.00-5.01   sec    11.2 MBytes  93.9 Mbits/sec
[ 4]  5.01-6.00   sec    11.4 MBytes  95.9 Mbits/sec
[ 4]  6.00-7.01   sec    11.4 MBytes  95.0 Mbits/sec
[ 4]  7.01-8.00   sec    11.2 MBytes  94.9 Mbits/sec
[ 4]  8.00-9.00   sec    11.4 MBytes  95.0 Mbits/sec
[ 4]  9.00-10.00  sec    11.2 MBytes  94.4 Mbits/sec
-----
[ ID] Interval           Transfer     Bandwidth
[ 4]  0.00-10.00  sec    113 MBytes  95.1 Mbits/sec  sender
[ 4]  0.00-10.00  sec    113 MBytes  95.1 Mbits/sec  receiver
iperf Done.
C:\Users\Hena\Downloads\iperf-3.1.3-win64\iperf-3.1.3-win64>
-c, --client <host>      run in client mode, connecting to <host>
```

Kuva 39. iPerf3-käyttäjä

5.4 Suunta-antennien asennus kohti tukiasemaa B

Suunta-antennien asentaminen muille tukiasemille, kuin tukiasema B, ei ole mahdollista opinnäyteyön aikamääreiden sisällä, koska tukiasemaan A saataisiin yhteys vain katolle sijoitetuilla suunta-antenneilla. Opinnäytetyöhön valitut antennit on määritelty tukiaseman B sijainnin perusteella, jotenka tämä ei vaikuta negatiivisesti opinnäyteyön onnistumiseen.

Suunta-antennit asennettiin siten, että pisimpien antennielementtien etäisyys on noin 24,5 cm. Asennettu etäisyys on todella lähellä optimaalista etäisyyttä (noin 28,0 cm) 2100 MHz signaalia varten, ja on yli 1800 MHz signaalin minimi etäisyyden (noin 21,0 cm). (Tele-Tukku Oy, 2020). Suunta-antennien sijainti ei mahdollista 800 MHz asennusta (etäisyys noin 75,0 cm) ilman, että alempi antenni osoittaisi suoraan naapurin taloon, jolloin yhteys heikkenisi.

Kuvassa 40 näkee suunta-antennit asennettuina MIMO-kytkennällä. Punaisella merkattu alue on suunta-antennien etäisyys toisistaan. Vihreällä merkattu alue on antennikaapelin väliaikainen sisääntulo eristevillan läpi. Antennikaapeli on tuotu sisälle ilman tiukkoja mutkia tai antennikaapelia puristavia kohtia, jotka heikentäisivät antennikaapelin kuljettamaa signaalia. (NASA, 2002).



Kuva 40. Suunta-antennit asennettuina MIMO-kytkennällä

5.5 LTE-reitittimien konfigurointi

Opinnäytetyössä käytettäviä reitittämiä testattiin toisiansa vastaan reitittimien ympärisäteilevillä vakioantenneilla Vaasan Palosaassa tukiaseman vieressä. Mittaukset suoritettiin, jotta saadaan selville mahdolliset suoriutumiserot reitittimillä vakioantenneilla, joita voi verrata reitittimien suoriutumiseen suunta-antenneilla opinnäytetyön alueella. Jokaista operaattoria mitattiin viisi kertaa kolmen minuutin välein Vaasan mittauksissa, jotta saadaan selville mahdolliset erot reitittimien suoriutumisessa hyvällä kuuluvuusalueella. Hyvän kuuluvuusalueen mittatuloksia voi sitten verrata Auneksessa suoritettuihin suunnattuihin mittatuloksiin. Huawei-reitittimen käyttöohjeissa oli huomautus, että reitittimen kanssa pitäisi käyttää vain verkkopalveluntarjoajan toimittamia ulkoisia antenneja (Huawei, 2016). Suunnatuista mittatuloksista näkee, että onko tällä huomautuksella jotain merkitystä. Jos suunnatut mittatulokset ovat Huawei-reitittimellä heikkomat, kuin Zyxel-reitittimellä, niin voi päätellä, että paras reititin ympärisäteilevissä mittauksissa ei välttämättä ole paras suunnatuissa mittauksissa.

Kuvissa 41-42 on molempien reitittimien ympärisäteilevien mittausten palvelutiedot Vaasassa alueella, jossa on hyvä Internet-yhteys. Vihreällä merkatulla alueella on Palosaassa sijaitsevan tukiaseman Elisan 2600 MHz signaalin solutunniste, joka todistaa, että reitittimiä testattiin samalla yhteydellä. Punaisella alueella on signaalin laatu, joka on erittäin hyvä.

Laitteen Tiedot

Päivitä

Laitteen nimi: B525s-65a
IMEI: 864005032716833
IMSI: 244054109434310
Oma numero: Tuntematon
Laitteistoversio: WL2B520M
Ohjelmistoversio: 11.236.01.00.260
Web UI -versio: 21.100.31.00.03
LAN MAC -osoite: E4:0E:EE:F4:4C:79
WAN IP -osoite: [Redacted]
WAN IPv6 -osoite: [Redacted]

CELL_ID: 1745157
RSRQ: -11dB
RSRP: -66dBm
RSSI: >=-51dBm
SINR: 18dB

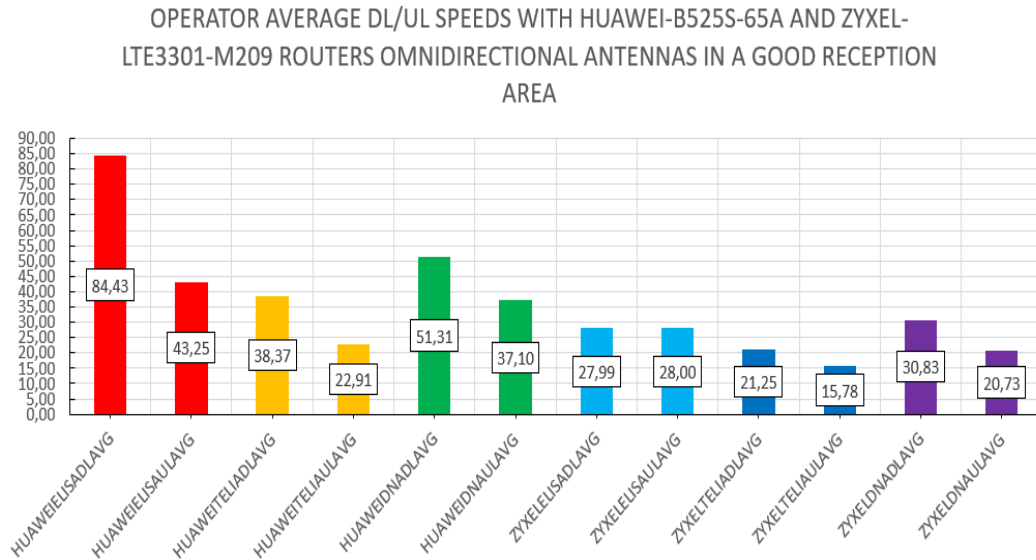
Kuva 41. Huawei -reitittimen ympärisäteilevän mittauksen palvelutiedot Vaasa

| Service Information | | | | | | | | | |
|---------------------|----------------|--------------------|--------------------|----------------|--|------------|--------------|----------------|------|
| Operator | Cell Broadcast | MCC | MNC | LAC | TAC | Cell ID | Service Type | Operation Band | RSSI |
| elisa | N/A | 244 | 5 | N/A | 26015 | 1745157 | LTE | LTE 2600 | -51 |
| CS Register Status | Ecto | PS Register Status | PS Attached Status | Roaming Status | IMSI | SMSC | MSISDN | | |
| Registered | N/A | Registered | Attached | Not Roaming | 244054109434310 | [Redacted] | N/A | | |
| RSRP | RSRQ | SINR | PLMN | MIMO | Support Band List | | | | |
| -66 | -12 | 17 | 24405 | 1T2R | E-GSM 900P-GSM 900/GSM 1800/WCDMA 2100/WCDMA 900/LTE 2100/LTE 1800-LTE 2600/LTE 900 GSM/LTE 800 DD/LTE 700 APT/LTE TD 2600/LTE TD 2300 | | | | |

Kuva 42. Zyxel -reitittimen ympärisäteilevän mittauksen palvelutiedot Vaasa

Reitittimet olivat näköetäisyydellä tukiasemasta vuorotellen mitaten samaa yhteyttä. Tukiasemassa on kaikkien kolmen operaattorin lähettimet. Molemmat reitittimet kokivat signaalin yhtä häiriöttömäksi, mutta Huawei-B525S-65A pystyi huomattavasti nopeampiin yhteyksiin, kuin Zyxel-LTE3301-M209 (**Kaavio 2.**)

Kaaviossa 2 on mittatulokset Vaasassa tukiaseman vieressä suoritetuista nopeus-
testauksista. Keskiarvoiset nopeudet kummallakin opinnäytetyössä käytettävillä
reitittimillä ja kaikilla kolmella mobiililaajakaistalla.



Kaavio 2. Vaasassa suoritettut nopeusmittaukset

6 NOPEUSTESTAAMINEN

6.1 Ympärisäteilevä nopeustestaaminen

Opinnäytetyössä mitataan ensiksi alueella vaikuttava tukiasemalta A tuleva Internet-yhteys. Mittaukset suoritetaan reitittimellä Zyxel-LTE3301-M209 -reitittimen ympärisäteilevillä vakioantenneilla. Mittaukset suoritetaan Zyxel-reitittimellä, eikä Huawei-reitittimellä, vaikka Huawei-reititin osoittautui Vaasan mittauksissa nopeammaksi. Zyxel-reitittimellä mitataan siksi, että saataisiin huonoimmat mahdolliset ympärisäteilevät tulokset, yhdellä tietyllä reitittimellä, joihin voi verrata saman reitittimen suunta-antenneilla mitattuja tuloksia. Opinnäytetyössä käytetty Zyxel-reititin on hyvä esimerkki reitittimestä, jonka käyttäjä voi ajattelematta ostaa, miettimättä reitittimien vakioantennien eroja. Kyseisen reitittimen Internet-yhteyden nopeudet antavat hyvän esimerkin huonolla kuuluvuusalueella asuvan käyttäjän Internet-yhteyden nopeuksista. Mittaukset suoritetaan vain yhdellä reitittimellä, koska suunta-antennien yhteys on parempi, kuin kumpikaan ympärisäteilevä, eikä opinnäytetyön perinpohjainen tarkoitus ole mitata eri reitittimen suoriutumista ympärisäteilevillä antenneilla.

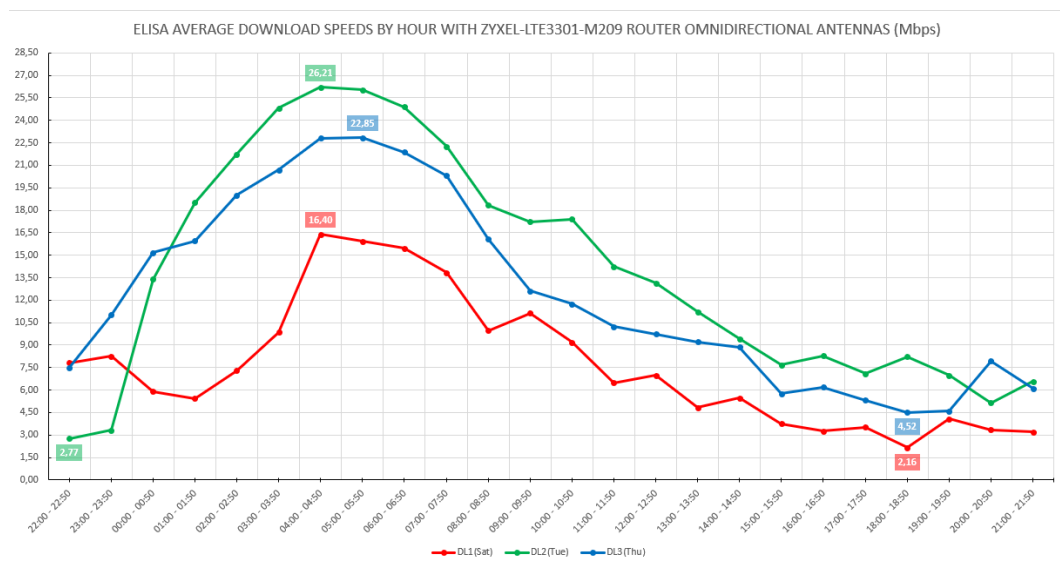
6.1.1 Elisa 4G ympärisäteilevä mittaus

Kuvassa 43 on Elisa 4G-verkon ympärisäteilevän mittauksen palvelutiedot. Vihreällä merkätut alueet näyttävät operaattorin ja solutunnuksen, jotka viittaavat mobiililaajakaistaan, joka on käytössä, ja tukiasemaan, johonka reititin muodostaa yhteyden. Solutunnus kuuluu tukiasemalle A. Kuvan punaiset alueet näyttävät signaalin laadun, joka on heikko. Sininen alue näyttää yhteyden taajuuden, joka on 800 MHz.

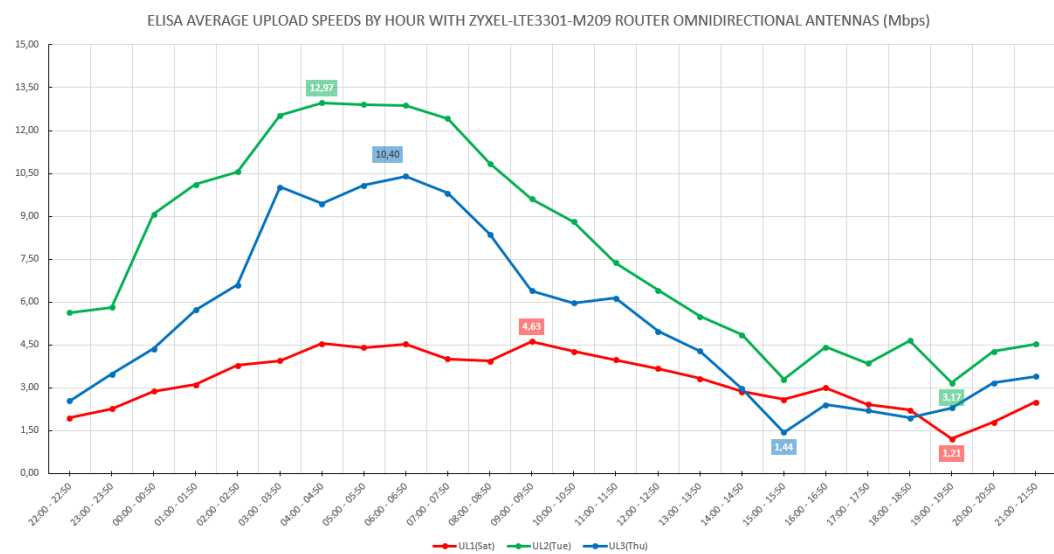
| Service Information | | | | | | | | | |
|---------------------|----------------|--------------------|--------------------|----------------|---|---------|--------------|----------------|------|
| Operator | Cell Broadcast | MCC | MNC | LAC | TAC | Cell ID | Service Type | Operation band | RSSI |
| elisa | N/A | 244 | 5 | N/A | 26100 | 983299 | LTE | LTE 800 DD | -69 |
| C.S Register Status | Echo | PS Register Status | PS Attached Status | Roaming Status | IMSI | SMSC | MSISDN | | |
| Registered | N/A | Registered | Attached | Not Roaming | 244054109434310 | | N/A | | |
| RSRP | RSRQ | SINR | PLMN | MIMO | Support Band List | | | | |
| -101 | -15 | -9 | 24405 | 1T2R | E-GSM 900P-GSM 900CSM 1800WCDMA 2100WCDMA 900LTE 2100LTE 1800-LTE 2600LTE 800 GSM-RF 900 DCS-LTE 700 APPT/LTE TD 2600/LTE TD 2500 | | | | |

Kuva 43. Elisa 4G-verkon ympärisäteilevän mittauksen palvelutiedot

Kaavioissa 3-4 on ympärisäteilevillä antennilla mitatut Elisa 4G-mobiililaajakais-
tan lataus- ja lähetyksenopeudet. Mittatulokset on laskettu kaavioihin keskiarvoina
tunneittain, koska vastaavat keskiarvot kuvaavat hyvin loppukäyttäjän yleistä ko-
kemusta yhteyden kanssa. Kaaviot 3-4 kuvaavat hyvin Internet-yhteyden käyttäy-
tymistä kellonajan ja viikonpäivän mukaan. Kaavioiden 3-4 perusteella on nähtä-
vissä, että mittauspäivinä opinnäytetyön alueella Elisa 4G-mobiililaajakaistalla yh-
teydet ovat yöllä parhaimmillaan.

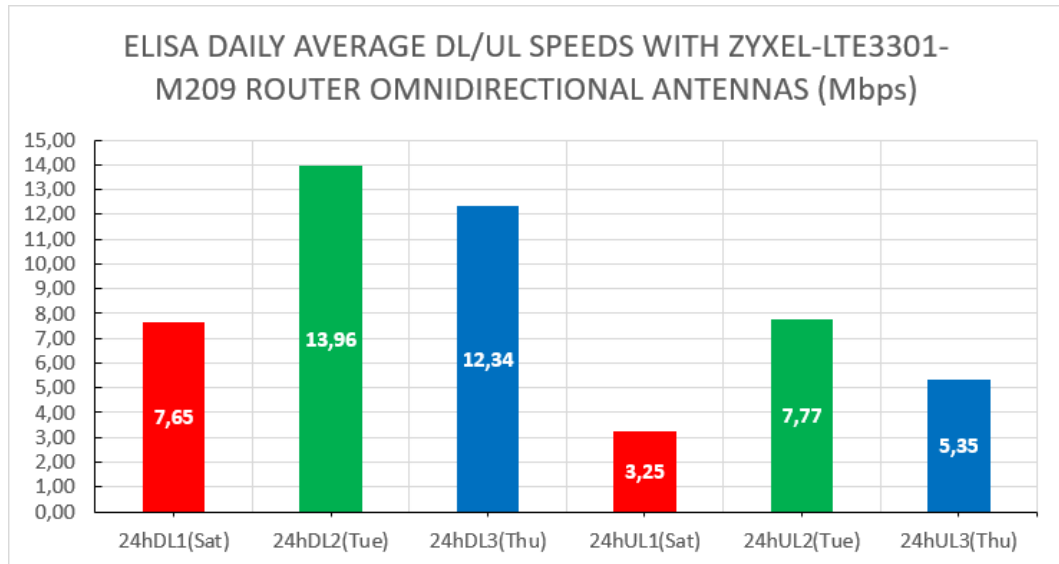


Kaavio 3. Elisa 4G ympärisäteilevän mittauksen latausnopeuden keskiarvot



Kaavio 4. Elisa 4G ympärisäteilevän mittauksen lähetyksenopeuden keskiarvot

Kaaviossa 5 on laskettuna keskiarvoinen Internet-yhteyden nopeus ympärisäteilevillä antennilla opinnäytetyön alueella Elisa 4G-mobiililaajakaistalla jokaiselta mittauspäivältä.



Kaavio 5. Elisa 4G ympärisäteilevän mittauksen päivittäiset keskiarvot

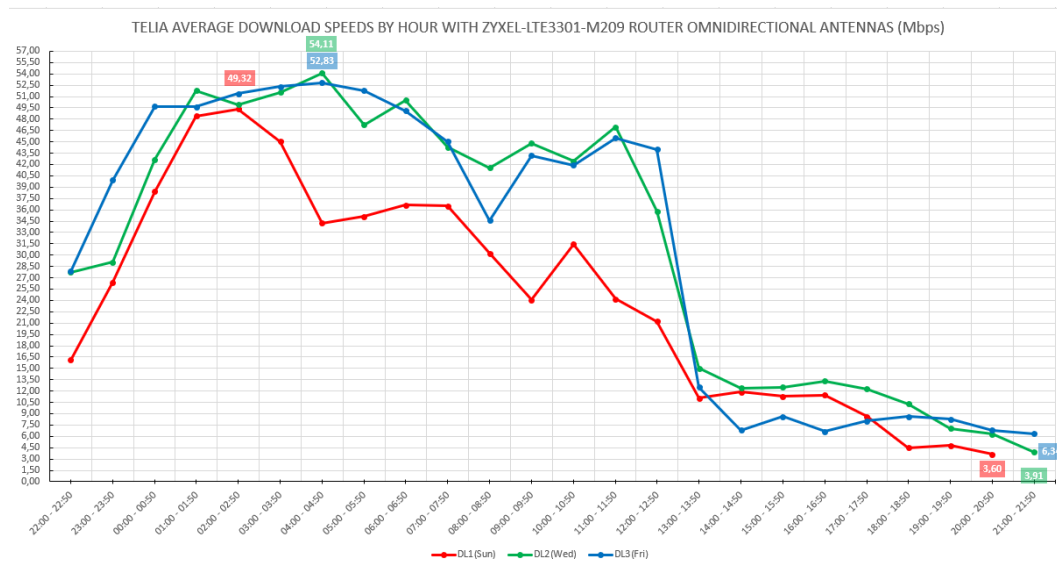
6.1.2 Telia 4G ympärisäteilevä mittaus

Kuvassa 44 on Telia 4G-verkon ympärisäteilevän mittauksen palvelutiedot. Solutunnus kuuluu tukiasemalle C. Muillakin mittauspäivillä reititin yhdisti tukiasemaan C. Signaalin laatu on kohtalainen. Käytössä oleva taajuus on 800 MHz.

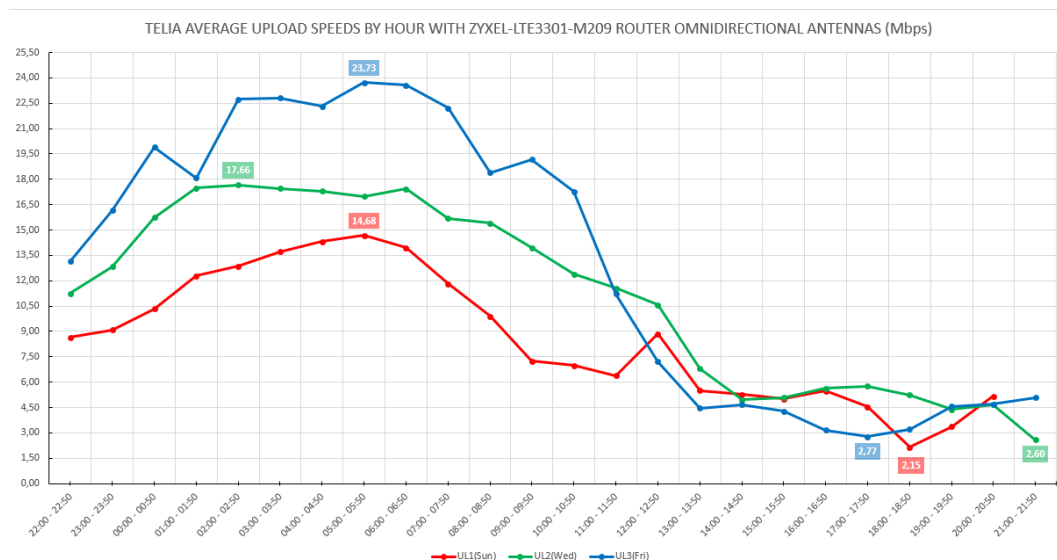
| Service Information | | | | | | | | | |
|---------------------|----------------|--------------------|--------------------|----------------|--|----------|--------------|----------------|------|
| Operator | Cell Broadcast | MCC | MNC | LAC | TAC | Cell ID | Service Type | Operation Band | RSSI |
| Telia FI | N/A | 244 | 91 | N/A | 4100 | 37681942 | LTE | LTE 800 DD | -67 |
| CS Register Status | Ecto | PS Register Status | PS Attached Status | Roaming Status | IMSI | SMSC | MSISDN | | |
| Registered | N/A | Registered | Attached | Not Roaming | 244915420927147 | | N/A | | |
| RSRP | RSRQ | SINR | PLMN | MIMO | Support Band List | | | | |
| -97 | -13 | 9 | 24491 | 1T2R | E-GSM 900/P-GSM 900/GSM 1800/WCDMA 2100/WCDMA 900/LTE 2100/LTE 1800+/LTE 2600/LTE 900 GSM/LTE 900 DL/LTE 700 APT/LTE TD 2500/LTE TD 2500 | | | | |

Kuva 44. Telia 4G-verkon ympärisäteilevän mittauksen palvelutiedot

Kaavioissa 6-7 on ympärisäteilevillä antennilla mitatut Telia 4G-mobiililaajakaistan lataus- ja lähetysnopeudet. Mittatulokset on laskettu keskiarvoina tunneittain. Kaavioiden 6-7 perusteella on nähtävissä, että mittauspäivinä opinnäytetyön alueella Telia 4G-mobiililaajakaistalla yhteydet ovat yöllä parhaimmillaan.

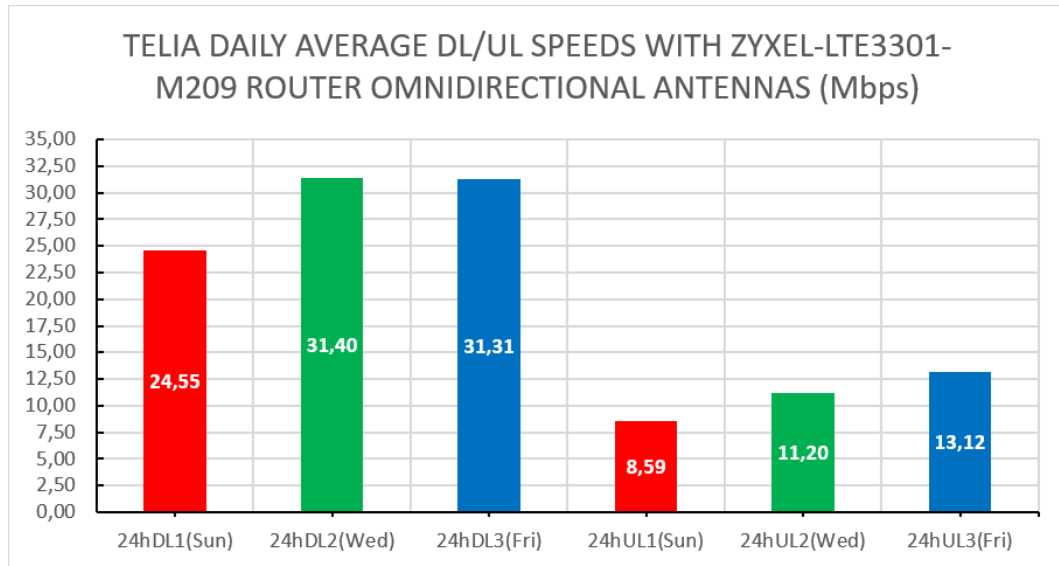


Kaavio 6. Telia 4G ympärisäteilevän mittauksen latausnopeuden keskiarvot



Kaavio 7. Telia 4G ympärisäteilevän mittauksen lähetysnopeuden keskiarvot

Kaaviossa 8 on laskettuna keskiarvoinen Internet-yhteyden nopeus ympärisäteilevillä antennilla opinnäytetyön alueella Telia 4G-mobiililaajakaistalla jokaiselta mittauspäivältä. Telian keskiarvoiset nopeudet ovat korkeampia Aunekessa, kuin Vaasassa. Auneksen mittaukset suoritettiin kolmen vuorokauden aikana, jotenka öiset huippunopeudet vaikuttavat keskiarvoon. Vaasan mittaukset suoritettiin tunnin sisällä illalla, jolloin on suuri käyttäjämäärä verkossa, joka vaikuttaa yhteyden nopeuksiin.



Kaavio 8. Telia 4G ympärisäteilevän mittauksen päivittäiset keskiarvot

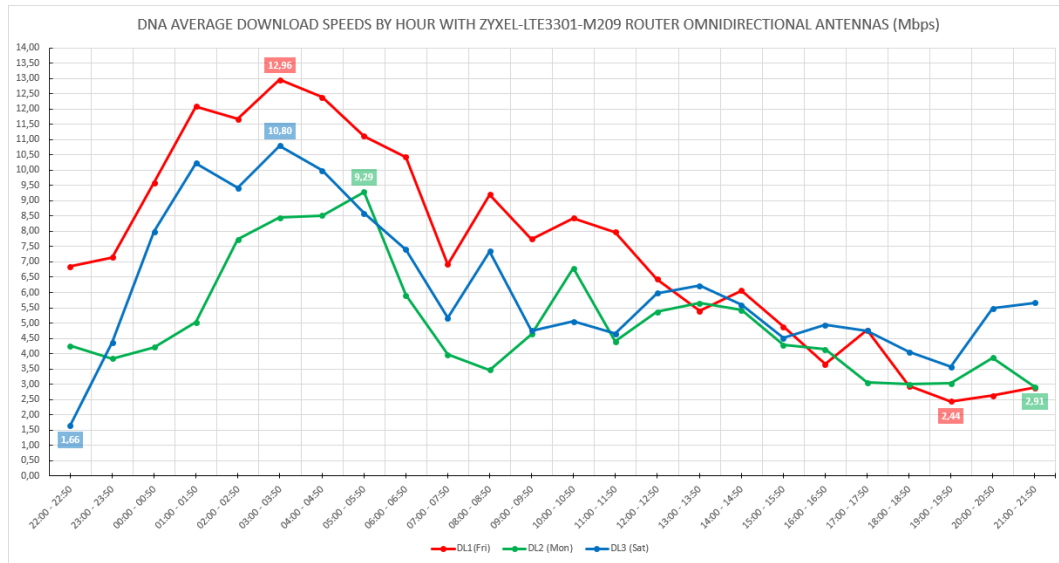
6.1.3 DNA 4G ympärisäteilevä mittaus

Kuvassa 45 on DNA 4G-verkon ympärisäteilevän mittauksen palvelutiedot. Solu-tunnus kuuluu tukiasemalle B. Signaalin laatu on heikko. Käytössä oleva taajuus on 800 MHz.

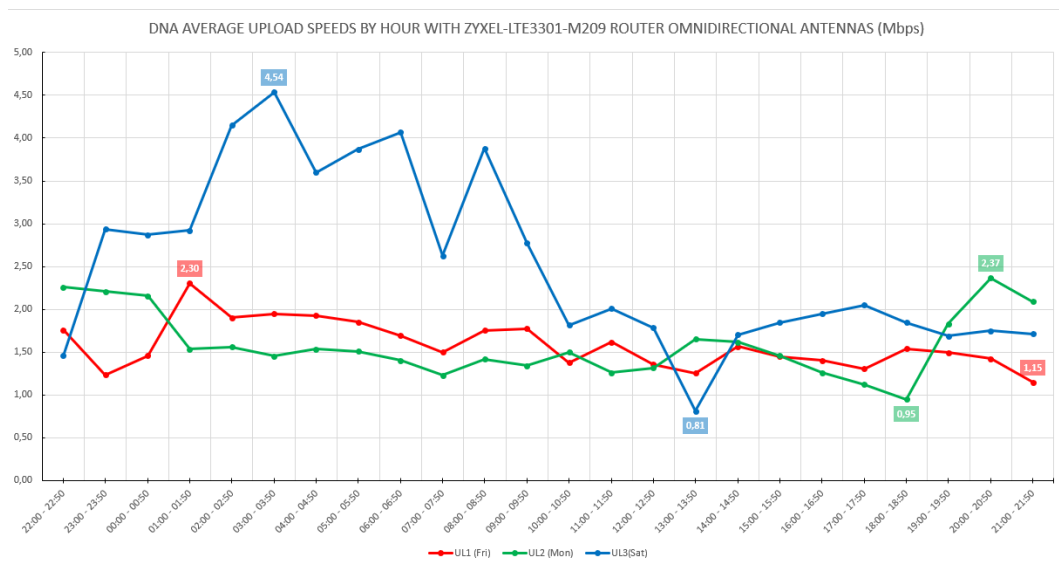
| Service Information | | | | | | | | | |
|---------------------|----------------|--------------------|--------------------|----------------|---|---------|--------------|----------------|------|
| Operator | Cell Broadcast | MCC | MNC | LAC | TAC | Cell ID | Service Type | Operation Band | RSSI |
| DNA | N/A | 244 | 12 | N/A | 17101 | 1260052 | LTE | LTE 800 DD | -71 |
| CS Register Status | Eclo | PS Register Status | PS Attached Status | Roaming Status | IMSI | SMSC | MSISDN | | |
| Registered | N/A | Registered | Attached | Not Roaming | 244121686306004 | | N/A | | |
| RSRP | RSRQ | SINR | PLMN | MIMO | Support Band List | | | | |
| -102 | -14 | -2 | 24412 | 1T2R | E-GSM 900/P-GSM 900/GSM 1800/WCDMA 2100/WCDMA 900/LTE 2100/LTE 800/LTE 2600/LTE 900/GSM/LTE 900/DL/LTE 700/AP/LTE TD 2600/LTE TD 2300 | | | | |

Kuva 45. DNA 4G-verkon ympärisäteilevän mittauksen palvelutiedot

Kaavioissa 9-10 on ympärisäteilevillä antennilla mitatut DNA 4G-mobiililaajakais-tan lataus- ja lähetyksenopeudet. Mittatulokset on laskettu keskiarvoina tunneittain. Kaavioiden 9-10 perusteella on nähtävissä, että mittauspäivinä opinnäytetyön alu-eella DNA 4G-mobiililaajakaistalla yhteydet ovat yöllä parhaimmillaan.

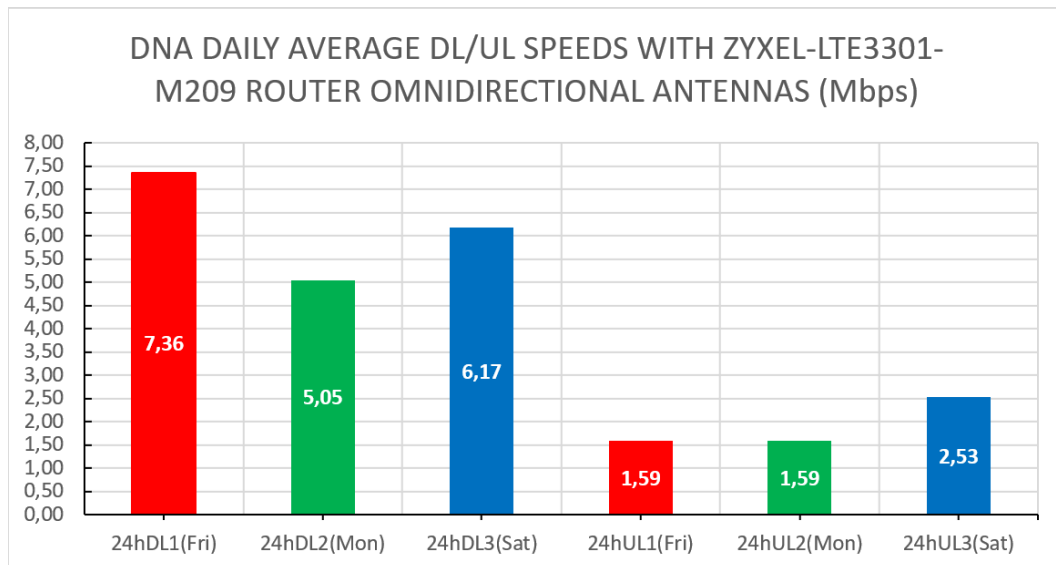


Kaavio 9. DNA 4G ympärisäteilevän mittauksen latausnopeuden keskiarvot



Kaavio 10. DNA 4G ympärisäteilevän mittauksen lähetyksenopeuden keskiarvot

Kaaviossa 11 on laskettuna keskiarvoinen Internet-yhteyden nopeus ympärisäteilevillä antennilla opinnäytetyön alueella DNA 4G-mobiililaajakaistalla jokaiselta mittauspäivältä.



Kaavio 11. DNA 4G ympärisäteilevän mittauksen päivittäiset keskiarvot

6.2 Suunnattu nopeustestaaminen

Parhaan suuntauksen löydyttyä suunta-antennit lukitaan paikoilleen ja aloitetaan lyhytkestoiset suunnatut nopeusmittaukset viisi kertaa kolmen minuutin välein, joiden perusteella päätetään, mobiililaajakaista, jota käytetään opinnäytetyön loppuun asti, ja joka jää loppukäyttäjille yleiseen käyttöön. Hitaammat liittymät irtisanotaan heti mittatulosten analysoinnin jälkeen, jotta opinnäytetyön budjetti ei ylittyisi. Mittaukset aloitetaan Zyxel-LTE3301-M209 -reitittimellä. DNA:n lähettimet ovat muita operaattoreita korkeammalla tukiasemalla B (mastoasentaja, 2022), jotenka kunnon suuntauksen löydyttyä DNA:lle, muutkin operaattorit testataan samalla suuntauksella, jotta työssä ei kuluisi liikaa aikaa jokaisen operaattorin parhaan suuntauksen etsimiseen ja mittaamiseen. Kumpikaan Cellmapper tai operaattori eivät kerro lähettimien korkeudesta tukiasemilla, jotenka suuntauksen löytäminen ja nopeustestaaminen on hyvä tapa päätellä itse lähettimien sijainnit tukiasemalla. Jos oletetusti DNA:n lähettimet ovat korkeimmassa kohdassa tukiaseman mastossa, ja muut operaattorit sen alla, niin muiden operaattoreiden signaalit törmäävät todennäköisemmin maastoesteisiin, kuin DNA:n signaali. Mittatulosten perusteella voidaan päätellä, pitääkö entisen mastoasentajan väittää paikkansa.

6.2.1 DNA 4G suunnattu mittaus

Kuvassa 46 on DNA 4G-verkon ympärisäteilevän mittauksen palvelutiedot. Solutunnus kuuluu tukiasemalle B. Signaalin laatu on heikko. Käytössä oleva taajuus on 800 MHz. Kuva 46 on juuri ennen suunta-antennien kytkemistä reitittimeen.

| Service Information | | | | | | | | | |
|---------------------|----------------|--------------------|--------------------|----------------|--|---------|--------------|----------------|------|
| Operator | Cell Broadcast | MCC | MNC | LAC | TAC | Cell ID | Service Type | Operation Band | RSSI |
| FI DNA | N/A | 244 | 12 | N/A | 17101 | 1260052 | LTE | LTE 800 DD | -77 |
| CS Register Status | Ecto | PS Register Status | PS Attached Status | Roaming Status | IMSI | SMSC | MSISDN | | |
| Registered | N/A | Registered | Attached | Not Roaming | 244121606306004 | | N/A | | |
| RSRP | RSRQ | SINR | PLMN | MIMO | Support Band List | | | | |
| -106 | -11 | 3 | 24412 | 1T2R | E-GSM 900P-GSM 900GSM 1800WCDMA 2100WCDMA 900LTE 2100+LTE 1800+LTE 2600LTE 900 GSM/LTE 900 DCA/LTE 700 APT/LTE TD 2600/LTE TD 2300 | | | | |

Kuva 46. DNA 4G-verkon ympärisäteilevän palvelutiedot ennen suunta-antenneja

Kuvassa 47 on heikon suuntauksen palvelutiedot juuri suunta-antennien kytkemisen jälkeen. Solutunnus vaihtui, koska yhteyden taajuus myös vaihtui, 800 MHz:stä 1800 MHz:iin. Signaalin laatu on heikko, koska suunta-antenneja ei ole vielä suunnattu. Antennit suunnataan liikuttelemalla niitä käyttäjän valitseman karttapalvelun luoman linnuntiereitin mukaan, pitäen reitittimen näyttämiä laatuarvoja silmällä.

| Service Information | | | | | | | | | |
|---------------------|----------------|--------------------|--------------------|----------------|--|---------|--------------|----------------|------|
| Operator | Cell Broadcast | MCC | MNC | LAC | TAC | Cell ID | Service Type | Operation Band | RSSI |
| FI DNA | N/A | 244 | 12 | N/A | 17101 | 1260034 | LTE | LTE 1800+ | -77 |
| CS Register Status | Ecto | PS Register Status | PS Attached Status | Roaming Status | IMSI | SMSC | MSISDN | | |
| Registered | N/A | Registered | Attached | Not Roaming | 244121606306004 | | N/A | | |
| RSRP | RSRQ | SINR | PLMN | MIMO | Support Band List | | | | |
| -118 | -13 | 0 | 24412 | 1T2R | E-GSM 900P-GSM 900GSM 1800WCDMA 2100WCDMA 900LTE 2100+LTE 1800+LTE 2600LTE 900 GSM/LTE 900 DCA/LTE 700 APT/LTE TD 2600/LTE TD 2300 | | | | |

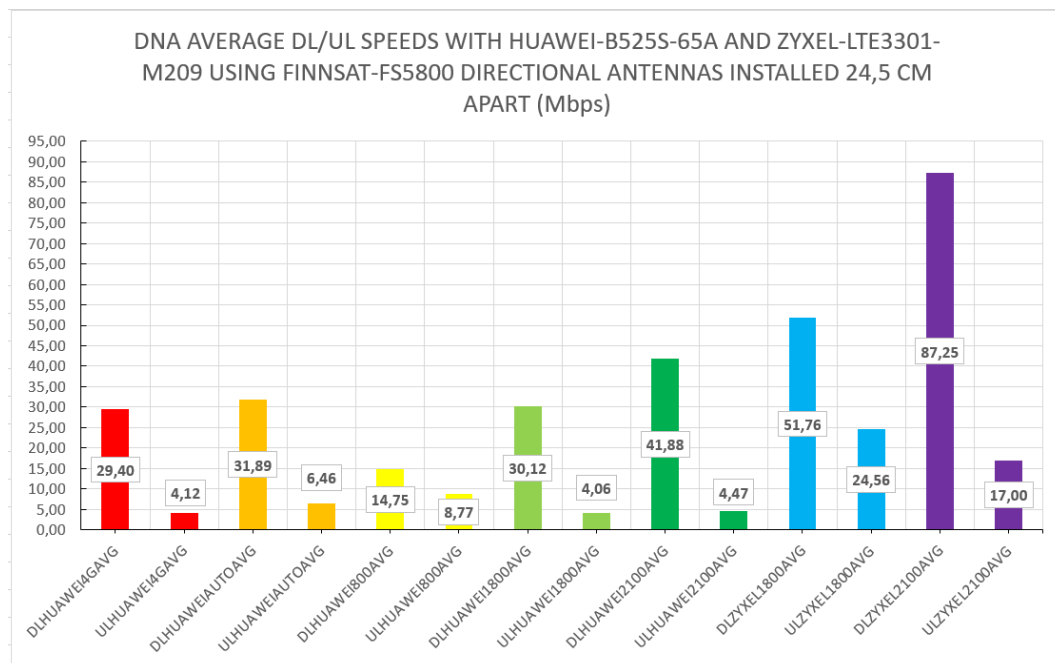
Kuva 47. DNA 4G-verkon heikon suuntauksen palvelutiedot

Kuvassa 48 on palvelutiedot parhaasta suuntauksesta mitä saatiin DNA 4G-mobiililaajakaistalle. Sinisellä merkatulta alueelta on huomattavissa, että reititin yhdistää automaattisesti 2100 MHz yhteyteen. Signaalin laatu on hyvä.

| Service Information | | | | | | | | | |
|---------------------|----------------|--------------------|--------------------|----------------|---|---------|--------------|----------------|------|
| Operator | Cell Broadcast | MCC | MNC | LAC | TAC | Cell ID | Service Type | Operation Band | RSSI |
| DNA | N/A | 244 | 12 | N/A | 17101 | 1260054 | LTE | LTE 2100 | -65 |
| CS Register Status | Ecto | PS Register Status | PS Attached Status | Roaming Status | IMSI | SMSC | MSISDN | | |
| Registered | N/A | Registered | Attached | Not Roaming | 244121606306004 | | N/A | | |
| RSRP | RSRQ | SINR | PLMN | MIMO | Support Band List | | | | |
| -100 | -12 | 23 | 24412 | 1T2R | E-GSM 800P-GSM 800 GSM 1800 GSM 1800 WCDMA 2100 WCDMA 2100 LTE 2100 LTE 1800 LTE 2600 LTE 900 GSM LTE 800 DDLTE 700 APT/LTE TD 2600 LTE TD 2300 | | | | |

Kuva 48. DNA 4G-verkon parhaan suuntauksen palvelutiedot

Suuntauksen löydyttyä mitataan molemmilla opinnäytetyössä käytettävillä reitittimillä DNA 4G-mobiililaajakaistan nopeudet, lukiten eri taajuudet vuorotellen reitittimen asetuksista (**Kaavio 12.**) Kaavion 12 mukaan DNA:n 2100 MHz signaali reitittimellä Zyxel-LTE3301-M209 on ylivoimaisesti paras. Korkea taajuus on alttiimpi häiriöille (Rysavy, 2012), jotenka DNA:n 1800 MHz ja 2100 MHz otetaan pitkäkestoiseen nopeustestaamiseen, jolla todetaan, kumpi on parempi yhteys yleiseen käyttöön. Suunta-antennien 24,5 cm etäisyys toisistaan tukee molempia 1800 MHz ja 2100 MHz signaaleja. DNA 4G-verkon keskiarvoiset latausnopeudet ovat hyvä esimerkki siitä, että entisen mastoasentajan väittämät DNA:n lähettimien sijainnista tukiaseman mastossa ovat todennäköisesti totta.



Kaavio 12. DNA 4G suunnatut nopeudet molemmilla reitittimillä eri taajuuksilla

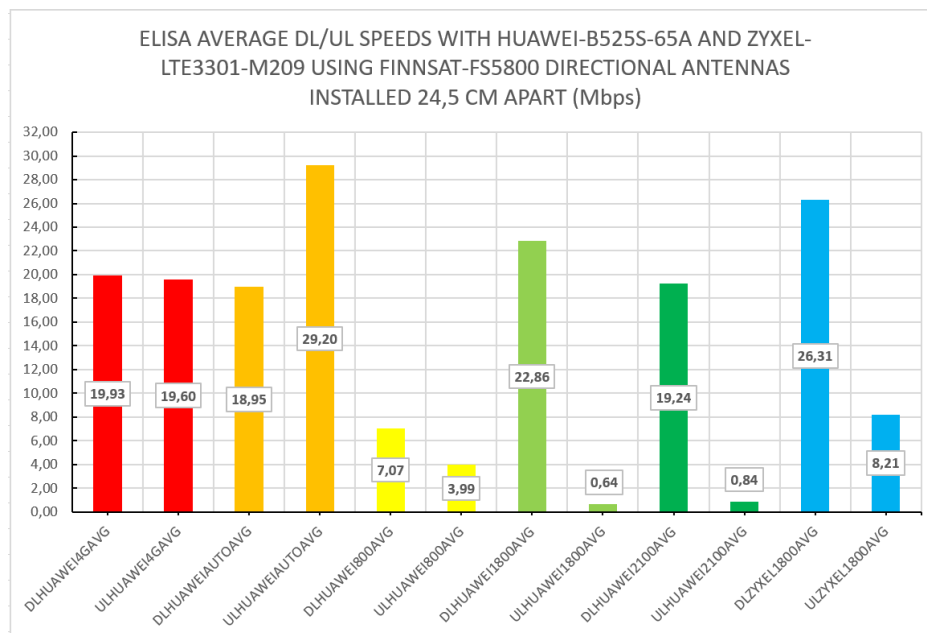
6.2.2 Elisa 4G suunnattu mittaus

Kuvassa 49 on Elisa 4G-verkon suunnatun mittauksen palvelutiedot. Solutunnus kuuluu tukiasemalle B. Signaalin laatu on kohtalainen. Käytössä oleva taajuus on 1800 MHz, koska Elisa ei lähetä opinnäytetyön alueelle 2100 MHz.

| Service Information | | | | | | | | | |
|---------------------|----------------|--------------------|--------------------|----------------|---|---------|--------------|----------------|------|
| Operator | Cell Broadcast | MCC | MNC | LAC | TAC | Cell ID | Service Type | Operation Band | RSSI |
| elisa | N/A | 244 | 5 | N/A | 28100 | 813573 | LTE | LTE 1800+ | -71 |
| CS Register Status | Ecto | PS Register Status | PS Attached Status | Roaming Status | IMSI | SMSC | MSISDN | | |
| Registered | N/A | Registered | Attached | Not Roaming | 244054109434310 | | | N/A | |
| RSRP | RSRQ | SINR | PLMN | MIMO | Support Band List | | | | |
| -102 | -14 | 7 | 24405 | 1T2R | E-GSM 900/P-GSM 900/GSM 1800/WCDMA 2100/WCDMA 800/LTE 2100/LTE 1800+LTE 2600/LTE 800 GSM/LTE 800 DCS/LTE 700 APF/LTE TD 700/LTE TD 2500 | | | | |

Kuva 49. Elisa 4G-verkon suunnatun mittauksen palvelutiedot

Kaaviossa 13 on Elisa 4G-verkon suunnatun mittauksen nopeudet molemmilla opinnäytetyön reitittimillä ja niiden eri taajuuksilla. Zyxel-reititin suoriutui paremmin 1800 MHz yhteydessä, kuin Huawei-reititin, mutta Huawein 4G ja Auto olivat muuten parempia. Yhteydet eivät kuitenkaan saavuttaneet Zyxel-reitittimen DNA 4G-verkon 1800 MHz ja 2100 MHz nopeuksia, jotenka Elisan mobiililaajakaistan voi irtisanoa.



Kaavio 13. Elisa 4G suunnatut nopeudet molemmilla reitittimillä eri taajuuksilla

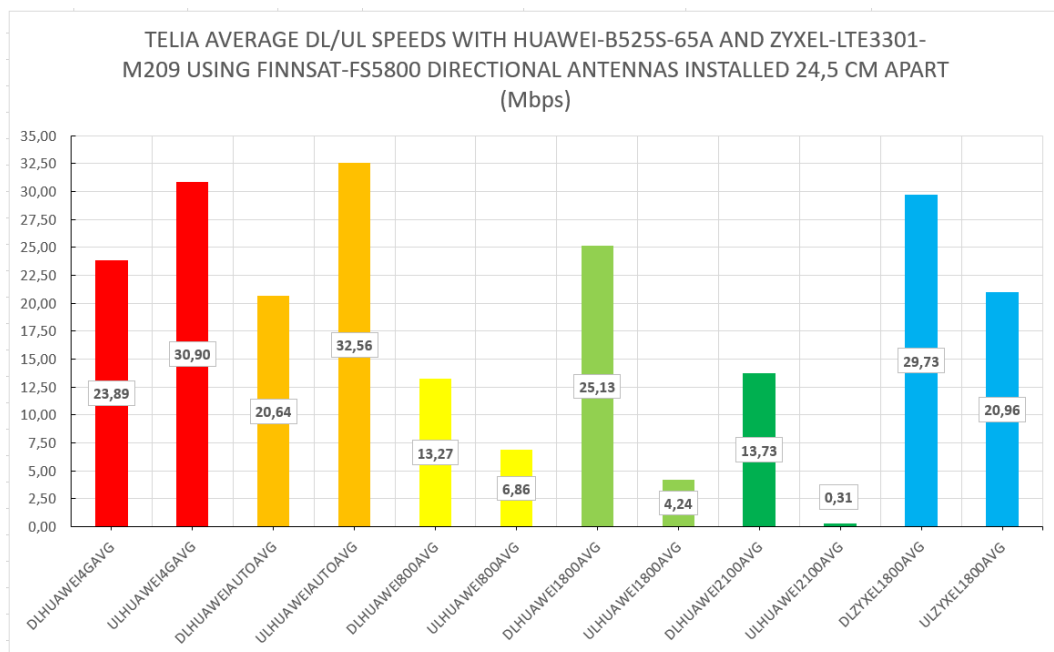
6.2.3 Telia 4G suunnattu mittaus

Kuvassa 50 on Telian 4G-verkon suunnatun mittauksen palvelutiedot. Solutunnus kuuluu tukiasemalle B. Signaalin laatu on heikko. Käytössä oleva taajuus on 1800 MHz, koska Teliakaan ei lähetä opinnäytetyön alueelle 2100 MHz.

| Service Information | | | | | | | | | |
|---------------------|----------------|--------------------|--------------------|----------------|--|----------|--------------|----------------|------|
| Operator | Cell Broadcast | MCC | MNC | LAC | TAC | Cell ID | Service Type | Operation Band | RSRP |
| Telia FI | N/A | 244 | 91 | N/A | 4100 | 36862997 | LTE | LTE 1800+ | -61 |
| CS Register Status | Ecto | PS Register Status | PS Attached Status | Roaming Status | IMSI | SMSC | MSISDN | | |
| Registered | N/A | Registered | Attached | Not Roaming | 244915420927147 | | N/A | | |
| RSRP | RSRQ | SINR | PLMN | MIMO | Support Band List | | | | |
| -95 | -14 | 3 | 24491 | 1T2R | E-GSM 900/P-GSM 900/GSM 1800/WCDMA 2100/WCDMA 900/LTE 2100/LTE 1800+LTE 2600/LTE 900/GSM LTE 800/LTE 700 APT/LTE TD 2600/LTE TD 2300 | | | | |

Kuva 50. Telia 4G-verkon suunnatun mittaukset palvelutiedot

Kaaviossa 14 on Telia 4G-verkon suunnatun mittauksen nopeudet molemmilla opinnäytetyön reitittimillä ja niiden eri taajuuksilla. Zyxel-reititin suoriutui paremmin 1800 MHz yhteydessä, kuin Huawei-reititin, mutta Huaweiin 4G ja Auto olivat muuten parempia. Yhteydet eivät kuitenkaan saavuttaneet Zyxel-reitittimen, DNA 4G-verkon 1800 MHz ja 2100 MHz nopeuksia, jotenka Teliankin mobiililaajakaistan voi irtisanoa.



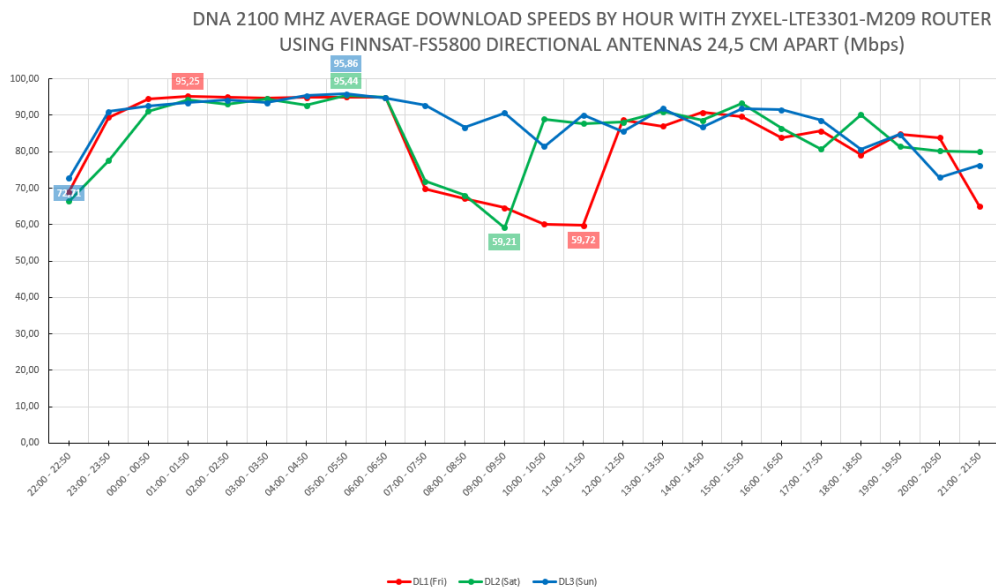
Kaavio 14. Telia 4G suunnatut nopeudet molemmilla reitittimillä eri taajuuksilla

6.2.4 DNA 2100 MHz suunnattu mittaus

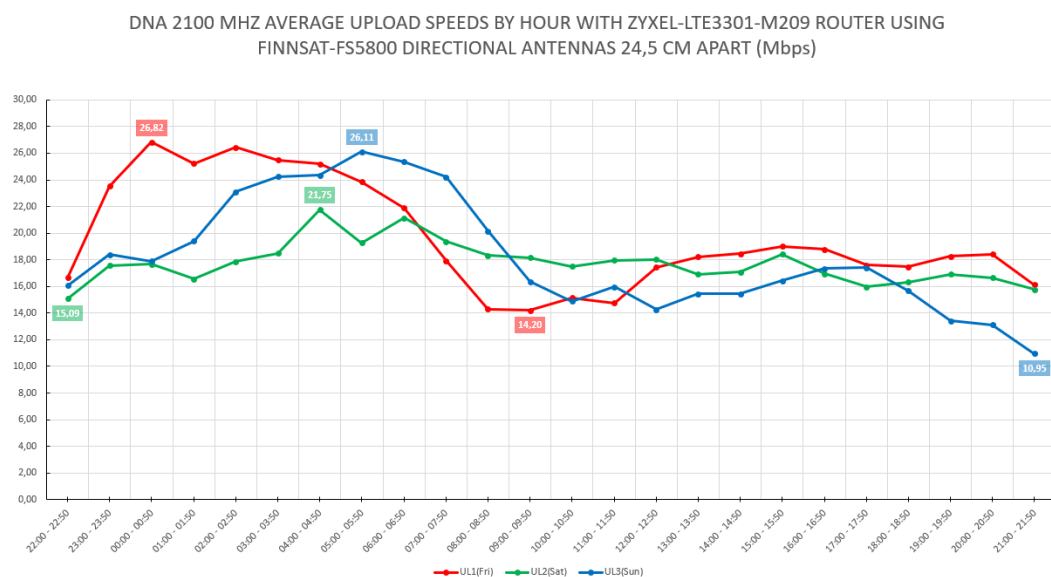
Kun DNA:n 2100 MHz oli todettu nopeimmaksi yhteydeksi, sitä mitattiin kolme vuorokautta, jotta saatiin selville mahdolliset nopeudenpudotukset kellonajan, viikonpäivän, ja sään mukaan.

Kaavioissa 15-16 on suunta-antenneilla mitatut DNA 4G-mobiililaajakaistan 2100 MHz lataus- ja lähetysnopeudet. Mittatulokset on laskettu keskiarvoina tunneittain. Kaaviot 15-16 kuvaavat hyvin Internet-yhteyden käyttäytymistä kellonajan, viikonpäivän, ja sään mukaan.

Kaavioiden 15-16 perusteella on nähtävissä, että mittauspäivinä opinnäytetyön alueella DNA 4G-mobiililaajakaistalla 2100 MHz yhteydet ovat yöllä parhaimmillaan, ja että päivällä ja illalla yhteys on epätasaisimmillaan, kun verkossa taas paljon käyttäjiä ja ilma on kostea. Huomattavimmat seikat kaavioissa on perjantain ja lauantain jyrkät latausnopeuspudotukset klo. 07:10 – 12:00, ja 07:10 – 10:10. Jyrkät nopeuspudotukset johtuvat mahdollisesti kyseisinä päivinä vallinneista korkeista kosteuksista (**Kaaviot 17-18.**), sillä korkea kosteus voi vaikuttaa langattomiin yhteyksiin huomattavasti (Jones, 2021). Saman solun käyttäjät ovat yleisesti suurin vaikuttava tekijä Internet-yhteyden nopeuteen, mutta nopeuksien jyrkkä putoaminen ja paluu normaalin nopeuteen mainittuihin kellonaikoihin voi mahdollisesti viitata sään vaikutukseen. Kaaviossa 15 on nähtävissä, että illalla yhteys on epätasaisimmillaan, joka on hyvä esimerkki saman solun käyttäjien vaikutuksesta Internet-yhteyteen. Saman solujen käyttäjistä ei ole dataa saatavilla, jotenka mittatuloksia on mahdotonta verrata käyttäjien määrään, mutta voidaan olettaa, että illalla on eniten käyttäjiä verkossa, kun he ovat päässeet toimistaan kotia, ja alkavat käyttämään Internet-yhteyttä. Säystä on tarkkaa mittadataa noin 20 km päästä Auneksesta, jota voidaan verrata Internet-yhteyden nopeuksiin.



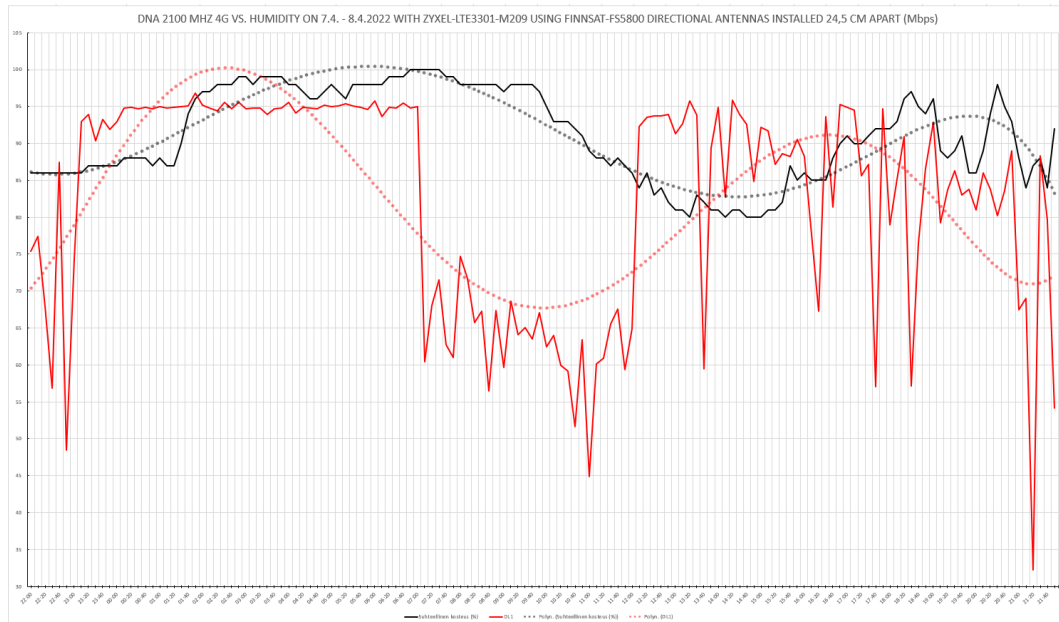
Kaavio 15. DNA 4G 2100 MHz suunnatun mittauksen latausnopeuden keskiarvot



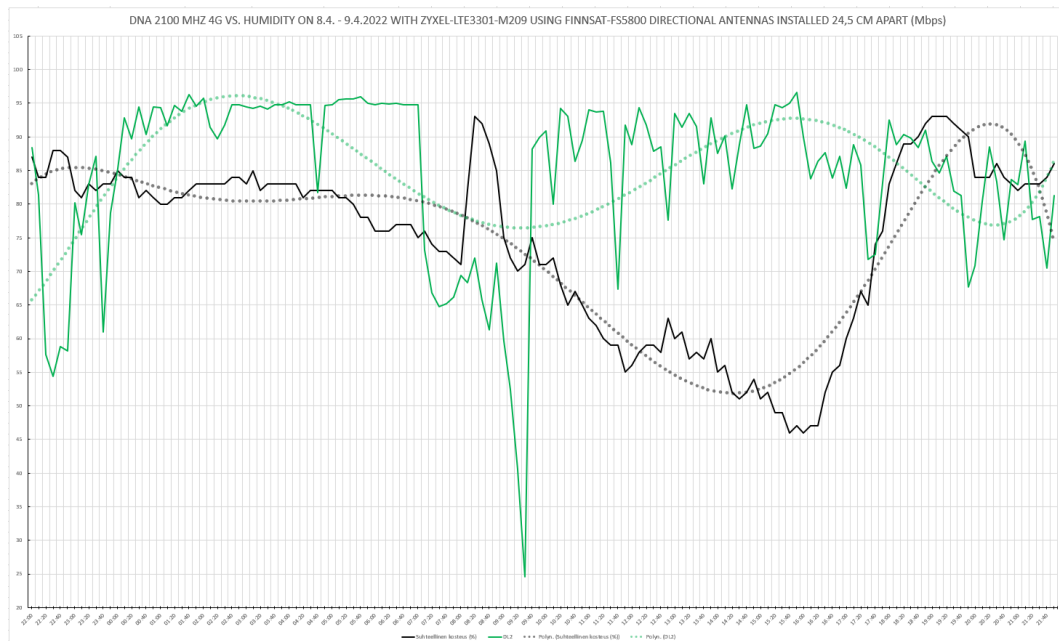
Kaavio 16. DNA 4G 2100 MHz suunnatun mittauksen lähetysnopeuden keskiarvot

Säädädata on ladattu Ilmatieteen laitoksen ”Havaintojen lataus” –palvelusta, jota saa käyttää Creative Commons lisenssillä. Kaavioiden 17-19 kosteuden mitannut sääasema on lähin sääasema, jota on opinnäytetyön alueen lähetyvillä, sekä sääasema on tukiaseman B suunnassa. Latausnopeus ja sää eivät käyttäydy suhteellisesti aivan minuutilleen, koska sääasemalle on noin 20 km matkaa. Kaaviot 17-19 kuitenkin havainnollistavat hyvin korkean taajuuden käyttäytymistä korkeassa

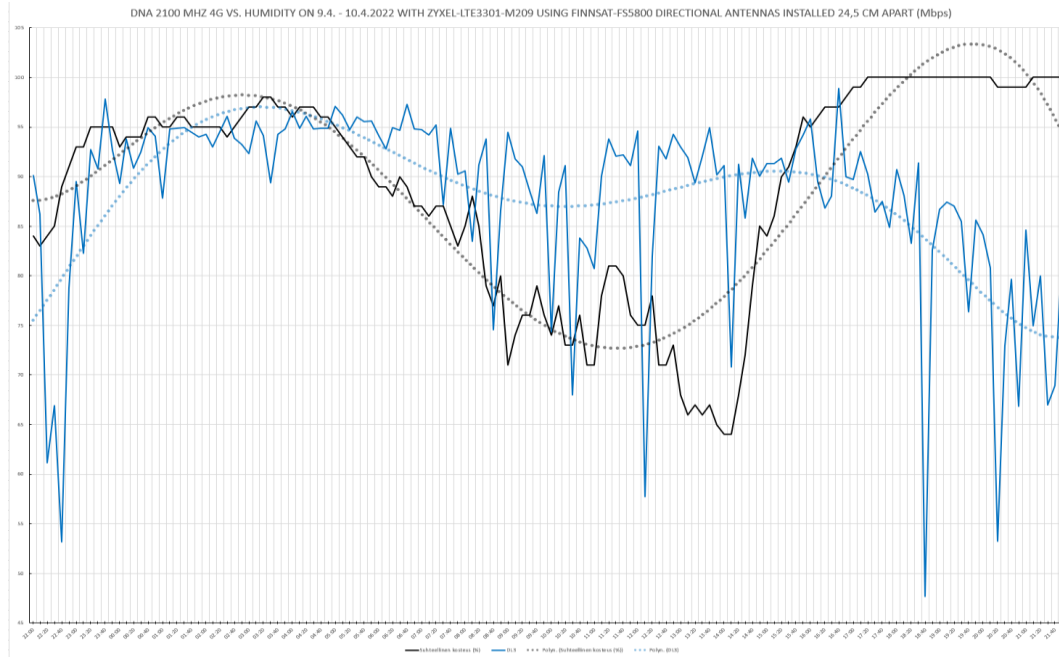
kosteudessa. Kaavioissa 17-19 mustat käyrät kuvastavat suhteellista kosteutta, ja RGB (Red, Green, Blue) -värit kuvastavat latausnopeutta. Kaavioihin 17-19 on luotu käyristä polynomiset trendiviivat, jotka helpottavat latausnopeuden ja kosteuden vertaamista suhteessa toisiinsa.



Kaavio 17. Kosteuden vaikutus 2100 MHz yhteyteen 7.4. – 8.4.2022

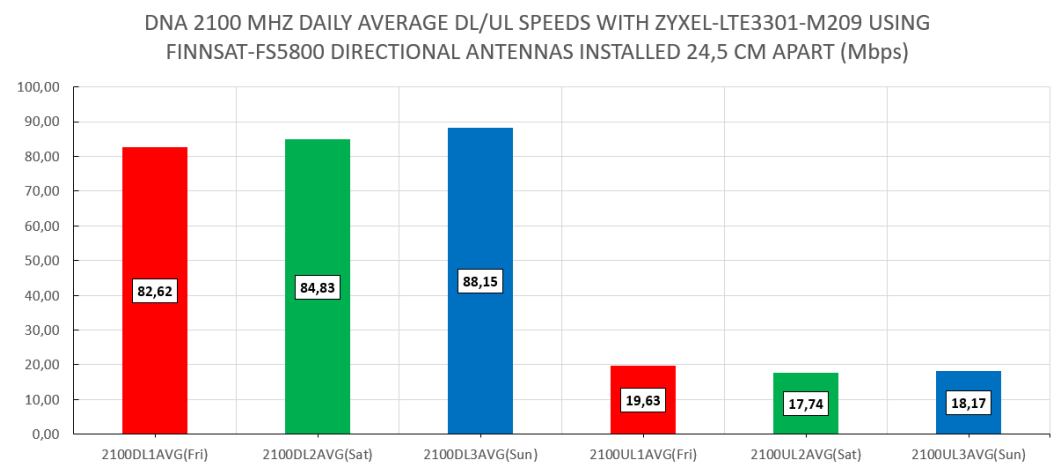


Kaavio 18. Kosteuden vaikutus 2100 MHz yhteyteen 8.4. - 9.4.2022



Kaavio 19. Kosteuden vaikutus 2100 MHz yhteyteen 9.4. - 10.4.2022

Kaaviosta 20 on nähtävissä, että korkeasta kosteudesta ja käyttäjämääristä huolimatta vuorokauden suunnatut keskiarvonopeudet ovat paljon parempia, kuin muilla mitatuilla yhteyksillä.

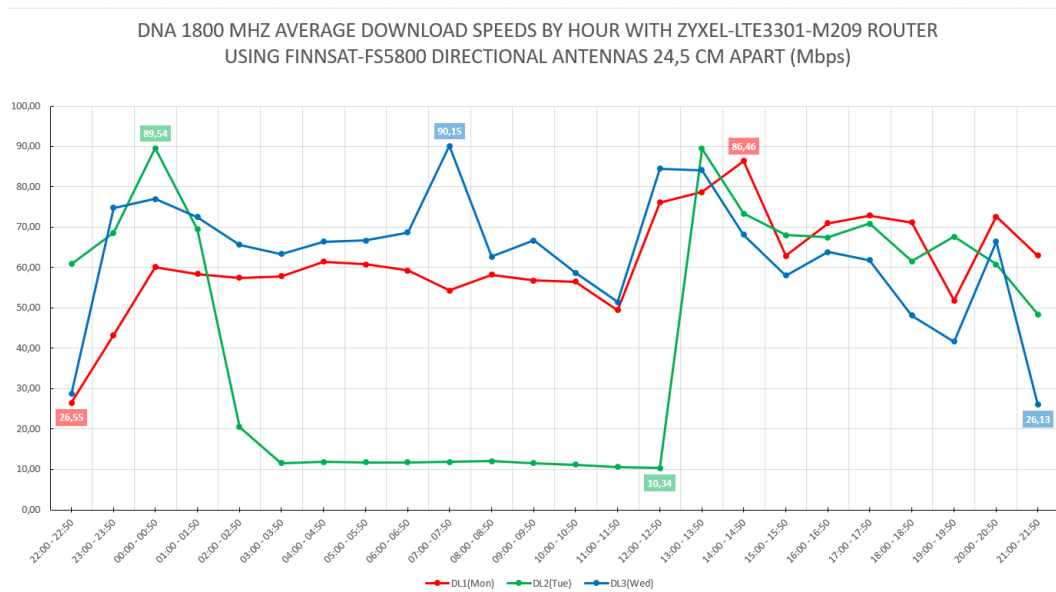


Kaavio 20. DNA 4G 2100 MHz suunnatun mittauksen vuorokautiset keskiarvot

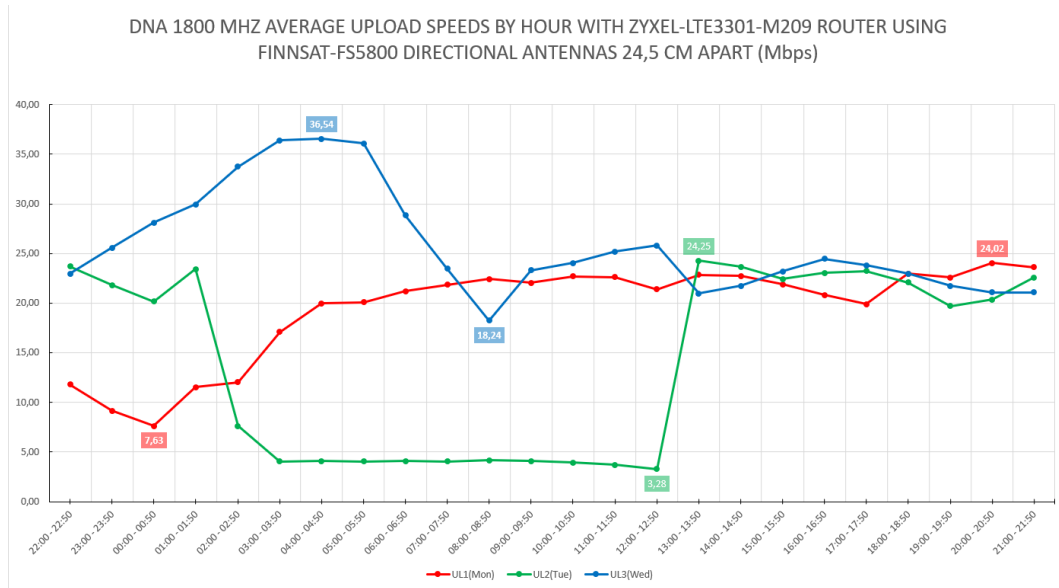
6.2.5 DNA 1800 MHz suunnattu mittaus

DNA:n 2100 MHz mittausten jälkeen suoritetaan DNA:n 1800 MHz mittaukset. Korkeampi taajuus on herkempi häiriöille ja maastoesteille, mutta sen latausnopeudet ovat lyhyiden mittausten perusteella nopeampia, kuin 1800 MHz, joka voi taas olla vakaampi erilaisissa häiriötiloissa ja maastoesteiden vaikutuksessa. Mittauksia suoritetaan kolme päivää myös 1800 MHz yhteydelle, jonka mittatulosten perusteella voi päättää johtopäätökset paremmasta yhteydestä loppukäyttäjälle.

Kaavioiden 21-22 huomattava putoaminen tiistaina johtuu siitä, että reititin optimoi yhteyden WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) -900:lle (**Kuva 51.**) Opinnäytetyössä ei saatu selville mistä tämä johtui, mutta sen sai korjattua asettamalla reitittimen uudelleen johonkin tiettyyn taajuuteen. Reititin asetettiin uudelleen 1800 MHz loppujen mittatulosten vuoksi. Oletettavasti 1800 MHz ei olisi ollut tuona aikana parempi, kuin 2100 MHz.



Kaavio 21. DNA 4G 1800 MHz suunnatun mittaukset latausnopeuden keskiarvot

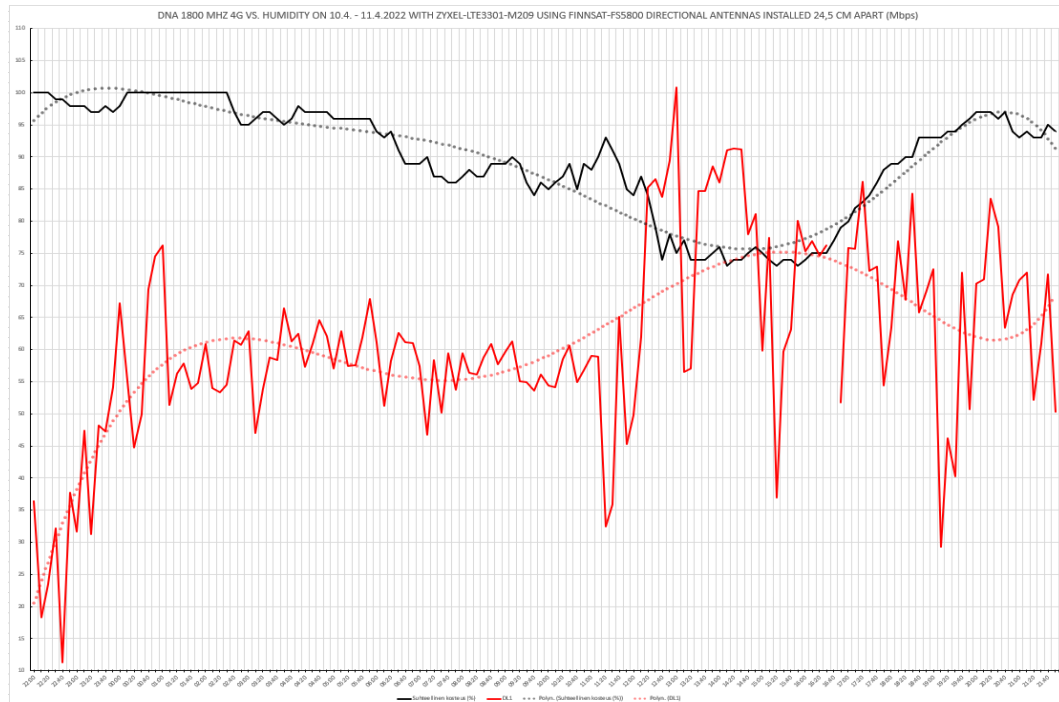


Kaavio 22. DNA 4G 1800 MHz suunnatun mittauksen lähetyksenopeuden keskiarvot

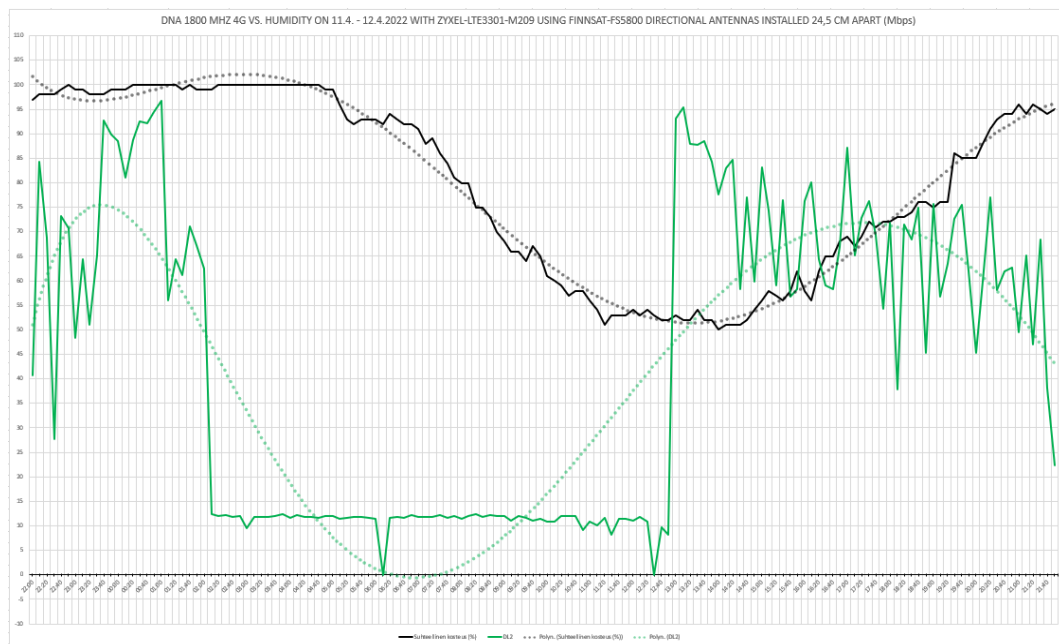
| Service Information | | | | | | | | | |
|---------------------|----------------|--------------------|--------------------|----------------|--|---------|--------------|----------------|------|
| Operator | Cell Broadcast | MCC | MNC | LAC | TAC | Cell ID | Service Type | Operation Band | RSSI |
| FI DNA | NA | 244 | 12 | N/A | N/A | 7894703 | WCDMA | WCDMA 900 | -75 |
| CS Register Status | Echo | PS Register Status | PS Attached Status | Roaming Status | IMSI | SMSC | MSISDN | | |
| Registered | -8 | Registered | Attached | Not Roaming | 244121598306004 | | N/A | | |
| RSRP | RSRQ | SINR | PLMN | MIMO | Support Band List | | | | |
| N/A | N/A | N/A | 24412 | 1T2R | E-GSM 900P-GSM 800/GSM 1800/WCDMA 2100/WCDMA 900/TE 2100/TE 1900/TE 2000/TE 900 GSM/TE 800 DDL/TE 700 APT/TE TD 2800/TE TD 700 | | | | |

Kuva 51. WCDMA-900

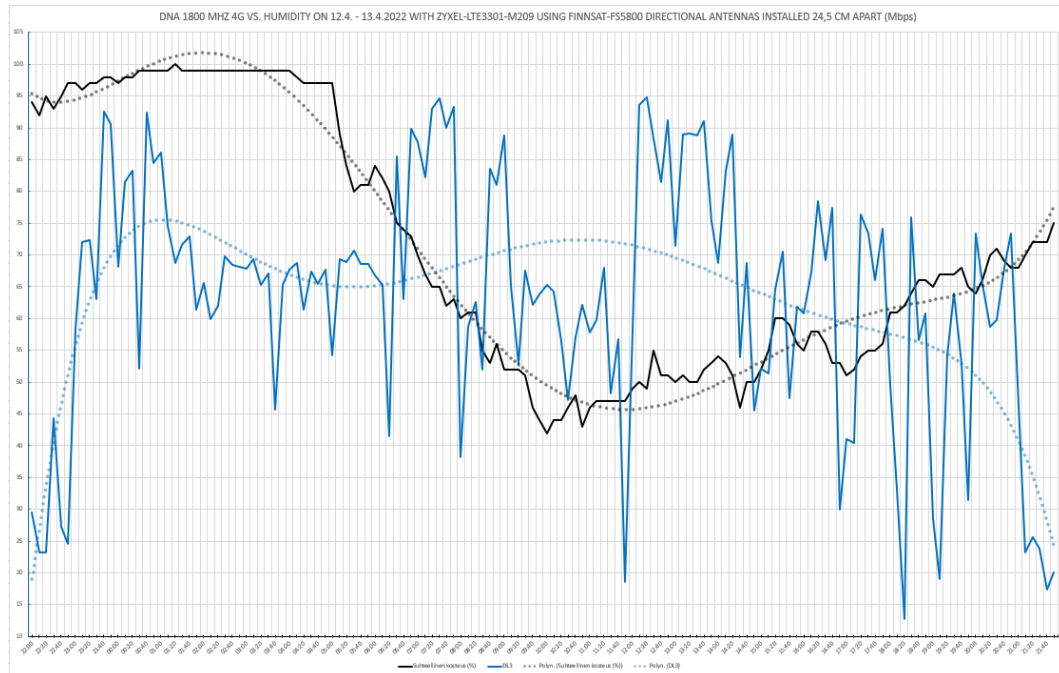
Kaaviossa 23 on lähes täydellinen esimerkki kosteuden mahdollisesta vaikutuksesta 1800 MHz yhteyteen. Kaavioiden 23-25 data on samasta lähteestä, kuin kaavioiden 17-19. Kaaviot 23-25 kuvastavat 1800 MHz mittauspäiviltä kosteuden vaikutusta latausnopeuteen. Kaavioissa on polynomiset trendiviivat ja sama värikoodaus, kuin kaavioissa 17-19.



Kaavio 23. Kosteuden vaikutus 1800 MHz yhteyteen 10.4. - 11.4.2022

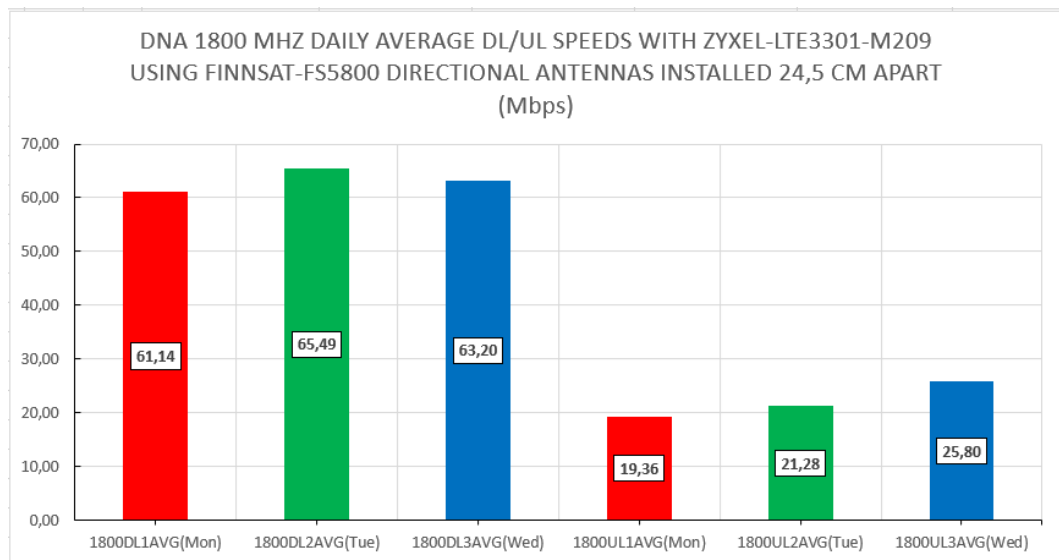


Kaavio 24. Kosteuden vaikutus 1800 MHz yhteyteen 11.4. - 12.4.2022



Kaavio 25. Kosteuden vaikutus 1800 MHz yhteyteen 12.4. - 13.4.2022

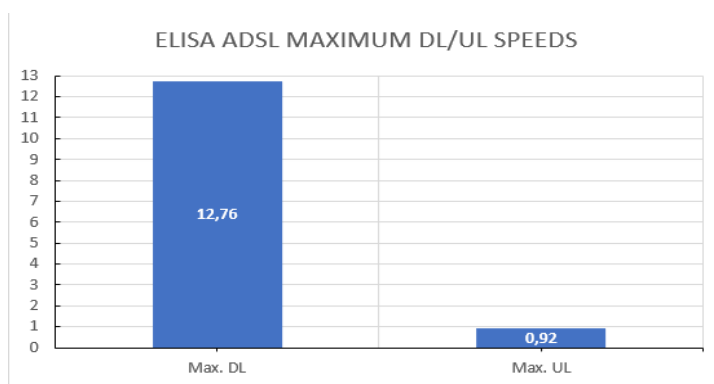
Kaaviossa 26 on DNA 4G-verkon vuorokautiset keskiarvot. Tiistain keskiarvoihin ei ole laskettu häiriötilan nopeuksia. Suunnatut DNA 4G-verkon 1800 MHz latausnopeudet eivät silti päässeet suunnatun 2100 MHz yhteyden latausnopeuksiin.



Kaavio 26. DNA 4G 1800 MHz suunnatun mittauksen vuorokautiset keskiarvot

6.3 ADSL-nopeustestaaminen

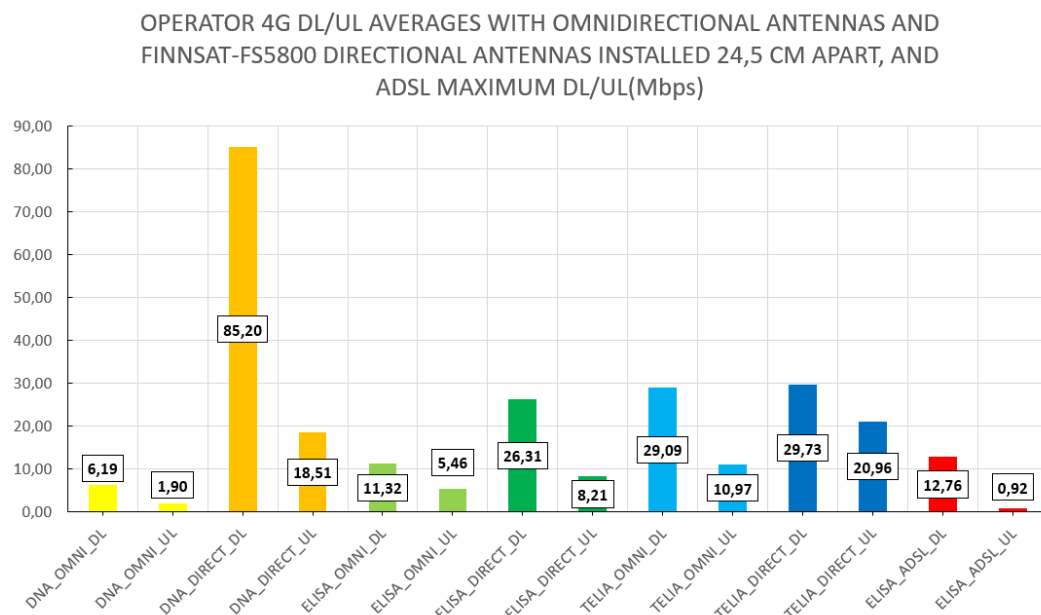
Kiinteä laajakaistayhteys on tasainen, jotenkin opinnäytetyössä käytettävän Elisa-ADSL-yhteyden mittaaminen pitkällä aikavälillä ei ole opinnäytetyön ajankäytön arvoista. Tärkeimmät tiedot ADSL-yhteydestä ovat sen maksimi lataus- ja lähetysnopeudet, jotka ovat nähtävissä kaaviosta 27. Maksiminopeuksia voi verrata suunta-antenneilla saatuun DNA 4G-yhteyteen, jolloin voi päättää ADSL-yhteyden irtisanomisesta. Elisan ADSL-yhteys on huomattavasti hitaampi, kuin DNA 4G suunta-antenneilla, jotenkin Elisan ADSL-yhteyden voi irtisanoa.



Kaavio 27. ADSL maksimi DL/UL

7 MITTATULOSTEN JOHTAMINEN

Kaaviossa 28 on operaattoreiden nopeudet ympärisäteilevillä- ja suunta-antenneilla, sekä ADSL-maksiminopeudet. Kaaviosta 28 on nähtävissä, että suunta-antennit antavat korkeampia nopeuksia kaikilla operaattoreilla, sekä että ADSL-yhteys on toiseksi heikoin laajakaista. Huomattavin operaattorin nopeus on DNA 4G, joka on ylivoimaisesti nopein yhteys kaikista muista laajakaistoista. MIMO-kytkennässä Finnsat-FS5800 -suunta-antennit ovat 24,5 cm etäisyydellä toisistaan, joka mahdollistaa 1800 MHz ja 2100 MHz yhteyden käyttämisen, jonka avulla saatiin selville paras taajuus: 2100 MHz, ja paras reititin: Zyxel-LTE3301-M209.



Kaavio 28. Operaattoreiden nopeudet antenneilla, sekä ADSL maksiminopeudet

Suunta-antenneilla 2100 MHz DNA 4G-mobiililaajakaista on latausnopeudeltaan 186 %, ja lähetysnopeudeltaan 69 % nopeampi, kuin korkeimmat nopeudet ympärisäteilevillä antenneilla. DNA 4G-mobiililaajakaista on latausnopeudeltaan 567 %, ja lähetysnopeudeltaan 1911 % nopeampi, kuin kiinteä laajakaista.

8 YHTEENVETO

8.1 Johtopäätökset

Opinnäytetyön tarkoituksena oli analysoida ja parantaa maaseudun verkkoa. Analysointia varten opinnäytetyössä luotiin yksinkertaisia ohjelmia, jotka auttavat mittatulosten johtamisessa. Vaikka ohjelmat olivatkin yksinkertaisia, ne toimivat erittäin hyvin. Opinnäytetyötä ei olisi voitu toteuttaa ilman näitä ohjelmia.

Yksittäisen kotitalouden verkon parannus onnistui myös todella hyvin. Yksittäisen kotitalouden langattoman verkon parannus oli suuri muutos aiemmasta langattomasta- ja langallisesta verkosta. Ennen opinnäytetyössä asennettuja suunta-antenneja yksittäisen kotitalouden loppukäyttäjät eivät ole ikinä nähneet alueella niin suuria lataus- ja lähetysnopeuksia, kuin suunta-antennit antavat. Auneksen ja sen läheisten alueiden verkon parannus valokuidulla on vielä opinnäytetyön aikamääreiden sisällä kesken, jotenka sen onnistumisesta ei voi vielä kommentoida enempää kuin, että opinnäytetyön kirjoitusvaiheessa valokuidun alustavaan tarkkelyyn on vastannut myönteisesti 52 mahdollista liittijää. Kaupallista tuontia varten tarvitaan 92 liittijää. Vaikka suunta-antenneilla saadaankin paremmat yhteydet, kuin aiemmin, niin valokuitu on silti paras mahdollinen vaihtoehto, sen ylivoimaisten nopeuksien ja häiriönsiedon ansiosta. Lisäksi suunta-antennit eivät välttämättä sovi kaikkien Auneksen asukkaiden talojen sijaintiin ja, jos alueelle asentaa useita suunta-antenneja, niin toiset käyttäjät voivat huomata pudotuksia aiemmissa nopeuksissaan.

Opinnäytetyön mittatulosten avulla saatiin johdettua hyvin 4G-verkon käyttäytyminen riippuen eri tekijöistä, kuten kosteus, käyttäjämäärä, ja kellonaika.

Opinnäytetyön toteutuksen aikana tuli ilmi paljon uusia asioita, jotka voisi jatkokehityksessä hyvinkin liittää opinnäytetyön ohjelmiin säästäten ohjelmien käyttäjältä entistä enemmän manuaalista työtä.

8.2 Jatkokehitys

Jatkokehityksenä voisi luoda oman sääaseman, joka mittaisi ilmankosteutta, ja ohjelman, joka tallettaisi nopeusmittauksen jälkeen myös reitittimen palvelutiedoista signaalin laatuarvot, ja itsetehdyn sääaseman kosteusarvot. Näiden avulla analysointi olisi vielä tarkempaa. Oman sääaseman luonti myös antaisi tarkempaa dataa, kun saisi kosteuden selville mittausalueelta, eikä lähimmältä sääasemalta, joka saattaa sijaita useiden kilometrien päässä.

Jatkokehityksenä myös asennetaan suunta-antennit antenniputkella talon katolle, jolloin eliminoidaan vielä enemmän mahdollisia maasto- ja rakenne-esteitä suunta-antennien ja tukiaseman välillä. Katolle asentaminen myös mahdollistaa 800 MHz taajuusalueen käyttämisen, kun suunta-antennit voi asentaa kauemmas toisistaan.

mastoasentaja, E., 2022. *Valokuitukyselyn yhteydessä* [Haastattelu] (7 Huhtikuu 2022).

NASA, 2002. *NASA WORKMANSHIP STANDARDS*.

Viitattu 11.4.2022

<https://workmanship.nasa.gov/lib/insp/2%20books/links/sections/404%20Coaxial.html>

Pedamkar, P., 2022. *Difference Between CMD and BAT*.

Viitattu 11.4.2022 <https://www.educba.com/cmd-vs-bat/>

Rysavy, P., 2012. *Low Versus High Radio Spectrum*.

Viitattu 11.4.2022 <https://hightechforum.org/low-versus-high-radio-spectrum/>

ShareTechNote, 2022. *LTE Quick Reference*.

Viitattu 25.4.2022

https://www.sharetechnote.com/html/Handbook_LTE_RSRP_RSRQ_SINR_Interplay.html

Southwest Antennas, Inc, 2016. *Understanding the Basics of MIMO Communication Technology*.

Viitattu 26.4.2022 <https://www.rfmw.com/data/swa-mimo-basics.pdf>

Telco Antennas, 2022. *Guide to Understanding MIMO*.

Viitattu 11.4.2022 <https://www.telcoantennas.com.au/site/how-does-mimo-work>

Tele-Tukku Oy, 2020. *Suunnattavien MIMO-antennien asennusetäisyydet*.

Viitattu 11.4.2022 https://shop.tele-tukku.fi/media/contenttype/MIMO-antennien_asennuset_isyys.pdf

Teltonika, 2022. *Mobile Signal Strength Recommendations*.

Viitattu 11.4.2022 https://wiki.teltonika-networks.com/view/Mobile_Signal_Strength_Recommendations#4G_.28LTE.29

Times Microwave Systems, 2022. *Coaxial Cable Attenuation & Power Handling Calculator*.

Viitattu 11.4.2022 <https://www.timesmicrowave.com/Calculator?Product=LMR-200&RunLength=32&Frequency=1800>

Traficom, 2021. *Suomesta poistetaan kupariverkon liittymiä ennätystahtia - Traficom valvoo asiakkaiden ja kilpailevien teleyritysten oikeuksia*.

Viitattu 11.4.2022 <https://www.traficom.fi/fi/ajankohtaista/suomesta-poistetaan-kupariverkon-liittymia-ennatystahtia-traficom-valvoo-asiakkaiden>

Vainio, S., 2016. *Suunta-antennin valinta*.

Viitattu 26.4.2022 https://shop.tele-tukku.fi/media/contenttype/Suunta-antenni_valinta.pdf

Verkkokauppa, 2022. *Zyxel-LTE3301-M209*.

Viitattu 25.4.2022 https://cdn.verk.net/cdn-cgi/image/w=1125,h=703,fit=scale-down,q=75,f=auto,sharpen=0.5/images/5/2_455001-640x777.jpeg

Vouzis, P., 2020. *Linux for Network Engineers: iPerf3 Bidirectional Test*.

Viitattu 11.4.2022 <https://netbeez.net/blog/linux-for-network-engineers-iperf3-bidirectional-test/>

YateBTS, 2015. *Radio Performance Concepts*.

Viitattu 26.4.2022 <https://i0.wp.com/yatebts.com/wp-content/uploads/2019/08/signal-strength-values.png>

LIITTEET

LIITE 1 BATCH-KOODI

```
:: enter the right directory and disk with the source code and
the executable
cd /d E:\KOULU\ONT\scriptit
:: read 2nd item from date /t -command, and set it as mydate
for /F "tokens=2" %%i in ('date /t') do set mydate=%%i
:: read 1st item from time /t - command ,and set it as mytime
for /F "tokens=1" %%i in ('time /t') do set mytime=%%i
:: create a textfile with the name: "date - time"
set filename=%mydate%-%mytime%.txt
:: run the executable
speedtest.exe
:: log the results from the executable
speedtest > %filename%
```

LIITE 2 AUTOHOTKEY-KOODI

```

^j::
Loop 144
{
Sleep 250
Send {DOWN 3}      ;MOVE CURSOR TO SERVER LINE
Send ^+{x}        ;COPY SERVER
Sleep 250
Send {Alt down}%A_Tab%{Alt up}      ;CHANGE WINDOW TO EXCEL
Sleep 250
Send ^{v}         ;PASTE SERVER
Sleep 250
Send %A_Tab%     ;MOVE CURSOR TO NEXT CELL IN EXCEL
Sleep 250
Send {Alt down}%A_Tab%{Alt up}      ;CHANGE WINDOW TO NOTEPAD++

Sleep 250
Send {DOWN 2}    ;MOVE CURSOR TO LATENCY LINE
Send {HOME}     ;MOVE CURSOR TO START OF THE WORD "LATENCY:"
Send {RIGHT 8}  ;MOVE CURSOR TO END OF THE WORD "LATENCY:"
Sleep 250
Send {Ctrl down}{Shift down}{RIGHT 3}{Ctrl up}{Shift up}
                ;SELECT THE VALUE OF THE LATENCY
Sleep 250
Send ^{c}       ;COPY LATENCY
Sleep 250
Send {Alt down}%A_Tab%{Alt up}      ;CHANGE WINDOW TO EXCEL

Sleep 250
Send ^{v}       ;PASTE LATENCY
Sleep 250
Send %A_Tab%   ;MOVE CURSOR TO THE NEXT CELL IN EXCEL
Sleep 250
Send {Alt down}%A_Tab%{Alt up}      ;CHANGE WINDOW TO NOTEPAD++

Sleep 250
Send {DOWN 2}   ;MOVE CURSOR TO DOWNLOAD LINE
Send {HOME}    ;MOVE CURSOR TO START OF THE WORD "DOWNLOAD:"

```

```
Send {RIGHT 9}      ;MOVE CURSOR TO END OF THE WORD "DOWNLOAD:"
Sleep 250
Send {Ctrl down}{Shift down}{RIGHT 3}{Ctrl up}{Shift up}
    ;SELECT THE VALUE OF THE DOWNLOAD
Sleep 250
Send ^{c}          ;COPY DOWNLOAD
Sleep 250
Send {Alt down}%A_Tab%{Alt up}      ;CHANGE WINDOW TO EXCEL

Sleep 250
Send ^{v}          ;PASTE DOWNLOAD
Sleep 250
Send %A_Tab%      ;MOVE CURSOR TO THE NEXT CELL IN EXCEL
Send {Alt down}%A_Tab%{Alt up}      ;CHANGE WINDOW TO NOTEPAD++

Sleep 250
Send {DOWN 2}     ;MOVE CURSOR TO UPLOAD LINE
Send {HOME}      ;MOVE CURSOR TO START OF THE WORD "UPLOAD:"
Send {RIGHT 7}   ;MOVE CURSOR TO END OF THE WORD "UPLOAD:"
Sleep 250
Send {Ctrl down}{Shift down}{RIGHT 3}{Ctrl up}{Shift up}
    ;SELECT THE VALUE OF THE UPLOAD
Sleep 250
Send ^{c}        ;COPY UPLOAD
Sleep 250
Send {Alt down}%A_Tab%{Alt up}

Sleep 250
Send ^{v}        ;PASTE UPLOAD
Sleep 250
Send %A_Tab%     ;MOVE CURSOR TO THE NEXT CELL IN EXCEL
Sleep 250
Send {Alt down}%A_Tab%{Alt up}      ;CHANGE WINDOW TO NOTEPAD++

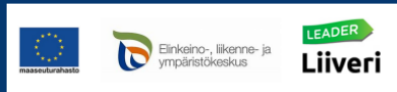
Sleep 250
Send {DOWN 1}    ;MOVE CURSOR TO PACKET LOSS LINE
Send {HOME}     ;MOVE CURSOR TO START OF THE WORD "PACKET LOSS:"
Send {RIGHT 12} ;MOVE CURSOR TO END OF THE WORD "PACKET LOSS:"
Sleep 250
```

```
Send {Ctrl down}{Shift down}{RIGHT 3}{Ctrl up}{Shift up}
    ;SELECT THE VALUE OF THE PACKET LOSS
Sleep 250
Send ^{c}          ;COPY PACKET LOSS
Sleep 250
Send {Alt down}%A_Tab%{Alt up}          ;CHANGE WINDOW TO EXCEL

Sleep 250
Send ^{v}          ;PASTE PACKET LOSS
Sleep 250
Send {ENTER}      ;CHANGE ROW IN EXCEL
Sleep 250
Send {Alt down}%A_Tab%{Alt up}          ;CHANGE WINDOW TO NOTEPAD++

Sleep 250
Send ^{w}          ;CLOSE THE CURRENT TAB IN NOTEPAD++
Sleep 250
}
Esc::ExitApp          ;HOTKEY TO END THE SCRIPT
```

LIITE 3 VALOKUITULIIHTYMÄN TARVEKYSELY



Valokuituliittymän tarvekysely - Kaanaa

Kaanaan alueelle on suunnitteilla valokuituverkon rakentamishanke. Hankkeen toteutuminen edellyttää riittävää valokuitutarvetta kyseisellä alueella. Verkkokyselyllä ja tällä postilaatikkokyselyllä kartoitetaan alustavasti Kaanaan alueen asukkaiden valokuitutarve. Kyselyyn vastaaminen ei sido vastaajaa minkäänlaisiin sopimuksiin, eikä tilauksiin. Kyselyn tuloksia käytetään valokuituverkon alustavaan suunnitteluun, jonka perusteella voidaan tehdä päätös mahdollisista jatkotoimenpiteistä. Täten kyselystä koottua kappalemääräistä ja prosentuaalista tietoa voidaan luovuttaa kolmansille osapuolille (kyläyhdistys, E-P:n liitto, verkko-operaattorit). Kysely on laadittu Leader Liiverin toimesta ja se on osa Vauhtia valokuituun -hanketta. Kyselylomake on kaksipuolinen.

Vastattuasi kyselyyn, palauta se viimeistään **30.4** mennessä postilaatikkoon **xxxxxxxx Aunes**.
Yhteyshenkilöt: Henri Vähä-Koivisto [REDACTED] ja Mikko Ojainväli / Leader Liiveri [REDACTED]