

Jens Mustonen

ADSL-kuluttajalaajakaistojen proaktiivinen viankorjaus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Tietotekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

10.4.2015

Tekijä Otsikko	Jens Mustonen ADSL-kuluttajalaajakaistojen proaktiivinen viankorjaus
Sivumäärä Aika	38 sivua 10.4.2015
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	tietotekniikan koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	tietoliikenneverkot
Ohjaajat	yliopettaja Matti Puska ryhmäesimies Ilkka Valli
<p>Työn tarkoituksena oli kehittää käytännön toimintamalli, jolla voitaisiin tutkia tilaajaverkosta huonoja alueita hyödyntämällä jo saatavilla olevaa dataa ja olemassa olevia järjestelmiä. Työn tilaajana toimi TeliaSonera Finland Oyj, joka on yksi Suomen suurimmista teleoperaattoreista. Toimintamallin tuli olla mahdollisimman kattava, jotta sitä voitaisiin hyödyntää mahdollisimman laajalti eri kohteisiin.</p> <p>Mallin toiminta voitiin jakaa kolmeen osaan: karkeaan tutkintaan jossa valittiin tutkittava alue, syvällisempään tutkintaan valitusta alueesta, ja jatkotoimenpiteiden suunnitteluun ja käyttöönottoon.</p> <p>Kehitetyllä toimintamallilla saatiin luotettavia tuloksia, jonka pohjalta voitiin tehdä suunnitelmia mahdollisista jatkotoimenpiteistä ja niiden käytöstä. Työssä ideoitiin myös kehitysehdotuksia miten toimintamallia ja proaktiivista toimintaa voisi muulla tavoin viedä eteenpäin esimerkiksi tämän työn pohjalta.</p> <p>Työn merkitys tilaajalle laajempaan katseltuna oli verkon toiminta, jolla on suoranaisia vaikutuksia esimerkiksi asiakastytyvyyteen. Toimintamallilla pystyttiin myös esittämään että tilaajan toimesta tähän asti tehdyt tutkimukset eivät olleet tarpeeksi syväluotaavia, ja että tämän kaltaiselle mallille on tarvetta tulevaisuudessa.</p>	
Avainsanat	ADSL, viankorjaus, proaktiivinen

Author Title Number of Pages Date	Jens Mustonen Proactive fault repair of consumer ADSL broadband connections 38 pages 10 April 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Information and Communications Technology
Specialisation option	Telecommunication networks
Instructors	Matti Puska, Principal Lecturer Ilkka Valli, Group Manager
<p>The aim of this thesis is to describe how an operational model was made for searching and pinpointing bad and faulty areas in the subscriber network, using already available data and systems. The client of this thesis was TeliaSonera Finland Oyj, which is one of the largest telecommunication companies in Finland. The operational model had to be as comprehensive as possible, so it could be used broadly.</p> <p>The functions of the model were divided into three steps: coarse investigation in which the investigated area would be decided, deeper inspection of the chosen area, and planning and implementing of the follow-up actions.</p> <p>The developed operational model gave reliable data, which was used to plan possible proactive fault repair methods. The project also included coming up with new ideas and improvements for making the proactive fault repair process more effective and straightforward.</p> <p>The significance of the project for the customer was mainly the overall functionality of the network. It has direct impact for example on customer satisfaction. The project also showed that the research that the company had previously done, wasn't thorough enough to give reliable information, and that this kind of operational model would be useful in the future.</p>	
Keywords	ADSL, fault repair, proactive

Sisälllys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Asymmetric Digital Subscriber Line	2
2.1	ADSL:n historia ja ADSL Suomessa	2
2.2	Laitteet	4
2.3	Tekniikat ja modulaatiot	5
3	DMT-modulaatio	7
3.1	DMT:n toiminta	7
3.2	Yhteyden alustus	9
4	ATM (soluvälitys)	9
5	Kupariparikaapelointi	11
5.1	Kaapelityypit	12
5.2	Kohina	13
5.3	Heijastuminen	13
5.4	Vaimennus	14
5.5	Ylikuuluminen	15
6	Virheiden havaitseminen ja korjaus	16
6.1	Virheenkorjausmenetelmät	16
6.2	Cyclic Redundancy Check	17
6.3	Header Error Control	18
6.4	Lomitus	18
6.5	Fyysisen kerroksen uudelleenlähetys	19
7	Tutkimuksen lähtökohdat	20
7.1	Tavoitteet ja aikaisemmat tutkimukset	20
7.2	Tutkittavan alueen valitseminen	21
8	Teletilan ja kaapeloinnin syvempi tutkimus	23

8.1	Laitteet, jakamot ja PJ-parit	23
8.2	Reittien tutkinta	26
8.3	Vikamäärät ja kustannukset	29
9	Jatkotoimenpiteet	31
9.1	Rakentaminen	31
9.2	Fyysisen kerroksen uudelleenlähetys	32
9.3	Lomitus ja modulaatiopakotukset	33
9.4	Hyvän kaapelinipun hyödyntäminen	34
10	Kehitysideat ja yhteenveto	35
	Lähteet	39

Lyhenteet

ADSL	<i>Asymmetric Digital Subscriber Line</i> . Parikaapelilla toteutettu epäsymmetrinen laajakaistayhteys.
ATM	<i>Asynchronous Transfer Mode</i> . Pakettikytkentäinen protokolla, joka jakaa lähetettävän datan pieniin vakiomittaisiin 53 tavun soluihin.
CAP	<i>Carrierless Amplitude Phase Modulation</i> . QAM-modulaation variantti.
CSV	<i>Comma-Separated Values</i> . Tiedostomuoto, jossa tekstitietoa tallennetaan pilkulla erottaen taulukkomuotoon. Erottimena voi olla myös muu erikoismerkki, kuten ”;”.
CV	<i>Coding Violation</i> . Siirtotiellä tapahtunut virhe, jossa dataa ei ole kyetty palauttamaan alkuperäiseen muotoon.
DMT	<i>Discrete Multitone Modulation</i> . OFDM modulaatiosta johdettu muunnelma, joka perustuu alikantoaaltoihin.
DSLAM	<i>Digital Subscriber Line Access Multiplexer</i> . keskitin, jonka kautta yhdistyy useita parikaapelilla toteutettuja yhteyksiä.
FEC	<i>Forward Error Correction</i> . Virheenkorjaus menetelmät, jotka perustuvat redundanttisiin bitteihin.
FEXT	<i>Far End Crosstalk</i> . Etäpään ylikuulumista jota tapahtuu johdinparien välillä.
HD	<i>High Definition</i> . Teräväpiirtokuva-tekniikka, jonka korkein kuvan resoluutio on 1920x1080 pikseliä.
ITU	<i>International Telecommunication Union</i> . Kansainvälinen televiestintäliitto.
NEXT	<i>Near End Crosstalk</i> . Lähipään ylikuulumista jota tapahtuu johdinparien välillä.

OFDM	<i>Orthogonal Frequency-Division Multiplexing</i> . Alikantoaaltoihin perustuva modulaatiotekniikka.
POTS	<i>Plain Old Telephone Service</i> . Puheen analogisen siirron mahdollistava palvelu.
PVC	<i>Permanent Virtual Channel</i> . Staattinen virtuaalikanava, joka on ennalta määrätty tiedonsiirtoa varten.
QAM	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i> . Modulointitekniikka, jossa yhdistyy vaihemodulaatio ja amplitudimodulaatio.
SHDSL	<i>Symmetrical High-Bitrate Digital Subscriber Line</i> . Symmetrinen tiedonsiirtotapa, jossa yhteysnopeus on molempiin suuntiin samansuuruinen.
SNR	<i>Signal to Noise Ratio</i> . Signaali-kohinasuhde. Hyöty- ja kohinasignaalin tehojen suhde, ilmaistaan yleensä logaritmisessa muodossa desibeleinä.
VCI	<i>Virtual Channel Identifier</i> . Virtuaalipiirin arvo, joka ohjaa ATM-solun kulkua verkossa VPI arvon kanssa.
VPI	<i>Virtual Path Identifier</i> . Virtuaalipolun arvo, joka ohjaa ATM-solun kulkua verkossa VCI arvon kanssa.
xDSL	Yleisnimitys DSL-tekniikalla toteutetuille tiedonsiirtotekniikoille.

1 Johdanto

Suomessa ja muuallakin maailmalla on edelleen laajalti käytössä ADSL-tekniikkaan pohjautuvia kiinteitä laajakaistayhteyksiä. ADSL tulee sanoista Asymmetric Digital Subscriber Line, joka tarkoittaa epäsymmetristä digitaalista tilaajayhteyttä. Pääsyä Internetiin pidetään tänä päivänä jo perushyödykkeenä ja itsestäänselvyytenä. Viestintäviraston määräys, joka on päivitetty 1.12.2014:

Suomessa jokaisella on oikeus saada vakituiseen asuinpaikkaansa tai yrityksensä toimipisteeseen kohtuuhintainen ja moitteettomasti toimiva puhelinliittymä ja 1 Mbit/s laajakaistaliittymä [7].

Määräyksessä määritellään tarkemmin että nämä palvelut voivat olla myös langattomia ratkaisuja, mutta edelleen kiinteitä yhteyksiä on valtava määrä. Vuonna 2013 kaikista Suomen kiinteistä laajakaistaliittymistä 61 % oli toteutettu xDSL-tekniikalla [8]. xDSL:llä viitataan kaikkiin eri DSL-tekniikoilla toteutettuihin laajakaistaratkaisuihin. Useat julkiset palvelut ja pankkipalvelut ovat olleet verkossa jo vuosia ja näiden hyödyntäminen on ihmisille arkipäivää. Siksi toimivat laajakaistayhteydetkin ovatkin tärkeitä, ja asettavat paineita operaattorien suuntaan tuotteiden ja palveluiden laadun ja toiminnan suhteen.

ADSL-tekniikka käyttää fyysisenä tiedonsiirtotienään puhelinverkkoa, joka on rakennettu enemmän tai vähemmän viimeisen 50 vuoden aikana. Kuitenkin edelleen näitä samoja linjoja käytetään tiedonsiirrossa joihin niitä ei alun perin suunniteltu. Vanha ja edelleen vanheneva verkko poikii häiriöitä ja ongelmia laajakaistayhteyksiin joita se kantaa. Yleisesti ongelmia käsitellään yksittäisten liittymien vikoina, jolloin taustalla olevat laajemmat ongelmat saattavat jäädä piiloon ja huomaamatta.

Työ tehtiin TeliaSonera Finland Oyj:lle. Työn merkitys tilaajalle liittyy verkon toimivuuteen yleisesti. Verkon toimivuudella on suoraan isoja vaikutuksia useampaan asiaan, esimerkiksi asiakastytyvyyteen. Parempi verkon toiminta myös vähentää esimerkiksi asiakkaiden jättämien vikailmoitusten määrää, jonka johdosta toimintaa voidaan tehostaa ja säästetään kustannuksissa. Nykypäivänä ei juurikaan enää investoida isoja määriä kuperikaapeleihin, vaan niitä korjataan tarpeen mukaan. Nykyään uudet vedettävät kaapelit ovat pääsääntöisesti optisia kuituja.

Työn tavoitteena oli kehittää yleispätevä menetelmä, joka mahdollistaisi laajempien ongelmien löytämisen tilaajaverkosta. Kyseessä voi olla esimerkiksi viallinen kaapelinippu,

jatkos tai rima. Työssä hyödynnetään liittymistä saatavilla olevaa informaatiota ja sitä tutkitaan olemassa olevilla järjestelmillä. Tavoitteena on myös esittää kehitysehdotuksia millä tavoin informaatiota ja järjestelmiä voisi tehokkaammin hyödyntää jatkossa proaktiivisessa viankorjauksessa. Myös tämänlaisen toiminnan vaikutuksia tarkastellaan.

2 Asymmetric Digital Subscriber Line

2.1 ADSL:n historia ja ADSL Suomessa

DSL-tekniikan kehitys alkoi 1980-luvulla, kun Yhdysvaltalainen teleoperaattori AT&T pyrki parantamaan T1-yhteyksien kykyä siirtää tietoa. T1-yhteydet vaativat kaksi parikaapelia, yhden parin kumpaankin suuntaan. Parien piti olla eri kaapelinipuissa, jotta ne eivät häiritsisi toisiaan. Parien piti siis olla mahdollisimman häiriöttömiä, ja mahdolliset jatkokset olisivat hyvin tehtyjä. T1-yhteydet tarvitsivat myös toistimia pidemmillä matkoilla. [4.]

ADSL on epäsymmetrinen tiedonsiirtotapa, joka tarkoittaa että nopeudet lähetys- ja vastaanottosuuntaan ovat eriarvoiset. Yleisimmät laajakaistatuotteet ovat liittymiä, joiden nopeus on 8/1 ja 24/1 Mbit/s.

Suomessa operaattorit ovat perinteisesti tarjonneet 8 Mbit/s laajakaistoja, jotka ovat saavutettavissa vanhalla ADSL1-tekniikan modulaatioilla ja vanhoilla päätelaitteilla. 8 Mbit/s nopeus voidaan hyvissä kaapeleissa saavuttaa jopa 5 kilometrin pituisissa kaapeleissa. Toinen yleisesti käytössä oleva nopeusluokka on 24 Mbit/s, joka saavutetaan pääsääntöisesti ADSL2+ -tekniikkaa tukevilla laitteilla. Nopeus 24 Mbit/s voidaan saavuttaa noin kilometrin pituisissa kaapeleissa. Viime vuosina tarkoista nopeuslupauksista on kuitenkin luovuttu ja tuotteissa puhutaan enemmän nopeuden vaihteluvälistä kun teoreettisista maksiminopeuksista. Tämä johtuu siitä, koska operaattorit eivät tiedä tarkkaan, mihin liittymät kykenevät tietyllä alueella, ennen kuin kaapeleiden päihin on kytketty asiakkaan laite. Operaattorit eivät siis halua luvata nopeuksia, jotka eivät käytännössä toteudu. Vaihteluvälistä huolimatta nopeudeksi määritellään kuitenkin aina tietty maksiminopeus, joka voi olla suurempi kuin käytännössä toteutuva.

Toteutuviin nopeuksiin vaikuttaa pitkälti puhelinverkossa olevan kaapelin kunto, tyyppi ja pituus. Asiakkaiden asunnoissa voi olla myös sisäverkon suhteen erilaisia ratkaisuja,

joilla voi olla vaikutuksia toteutuvaan nopeuteen. Esimerkiksi vanhoissa kerrostaloissa saattaa sisäverkko olla vanhaa lyijykaapelia, tai niin sanottua ”lapamato” -kaapelia, joka on siis parikaapeli, jota ei ole parikierretty, vaan johtimet kulkevat rinnakkain.

ADSL:n teknisissä tiedoissa saatetaan puhua lyhyemmistä etäisyyksistä saavutettaville nopeuksille, mutta nämä laskelmat ovat yleensä tehty 0,40 mm:n kaapelipaksuudella. Suomessa valtaosassa alueita on käytetty 0,50 mm:n halkaisijalla olevaa kaapelia, joka huomattavasti parantaa toimintaa pidemmillä matkoilla. Toisaalta vanha puhelinverkko asettaa muita tiettyjä fyysisiä rajoitteita.

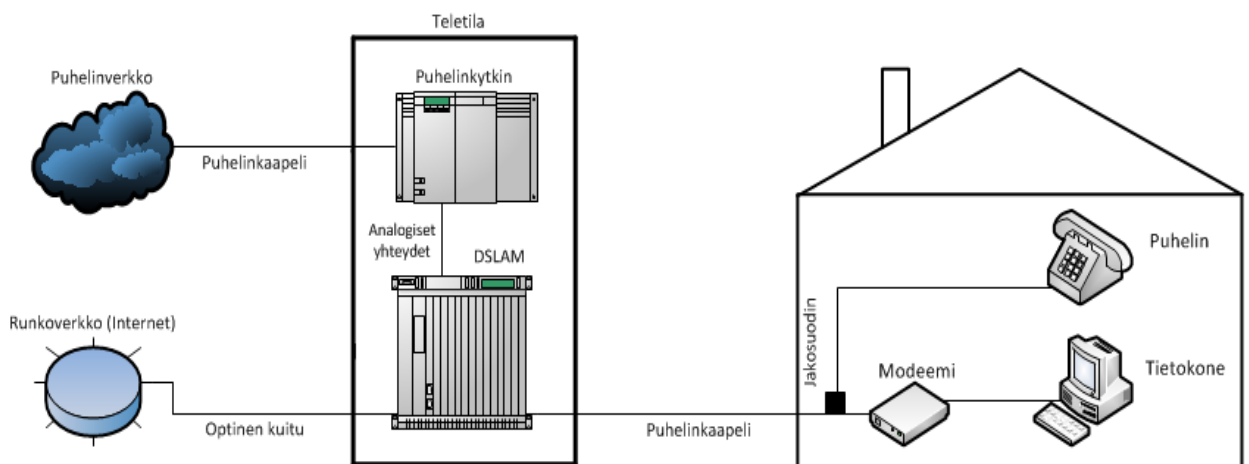
Koska kuparikaapelit ovat herkkiä ulkopuolisille häiriöille, varsinkin samoissa nipussa kulkeville toisille pareille, pyrittiin tekniikan kehitysvaiheessa digitaalisella signaalinkäsittelyllä vähentämään siirrosta muille pareille aiheutuvia häiriötä, ja samalla lisäämään myös oman yhteyden häiriönsietokykyä. Samassa kaapelinipussa voi olla satoja pareja. Menetelmänä tähän oli erilaiset modulaatiot. Tärkeimpinä modulaatioina käytettiin CAP-, QAM-, ja DMT-modulaatiota. CAP-modulaatiolla tarkoitetaan kantoaallotonta linjakoodausmenetelmää. QAM on modulointitekniikka, joka yhdistää vaihe- ja amplitudimodulaation, ja DMT-modulaatio on muunnelma OFDM-moduloinnista, joka perustuu Fourier-käänteismuunnokseen. Nykypäivänä on lähinnä käytössä vain DMT-modulaatiolla toteutettuja yhteyksiä xDSL-verkoissa. Puhelinlinjoja ei alun perin suunniteltu kantamaan ADSL:n tarvitsemia korkeita taajuuksia. Tämä tarkoitti sitä, että linjan pituus vaikutti suuresti ADSL:n toimintaan, koska korkeat taajuudet vaimentuivat ja heikkenivät pitkillä matkoilla. [4.]

Lankapuhelimen tai muun puhelinverkkoa käyttävän laitteen käyttö samassa linjassa ADSL:n kanssa onnistuu, koska ADSL toimii esimerkiksi puheensierrossa käytettävien taajuuksien yläpuolella. Tämä vaatii kuitenkin häiriösuodattimen kaikkiin muihin laitteisiin paitsi modeemiin, jolloin taajuudet saadaan eroteltua tehokkaasti ja varmuudella. Myös DSLAM:n päässä pitää tällöin olla jakosuodatin, joka ohjaa ADSL-liikenteen yleensä optiseen kuituun kohti laajempia verkkoja ja Internetiä, ja puheliikenteen puhelinverkossa eteenpäin. DSLAM tulee sanoista Digital Subscriber Line Access Multiplexer ja on siis DSL-keskitin, johon puhelinverkko on yhdistetty. Tämä on havainnollistettu kuviossa 1. Nykyään suotimia tarvitaan vähemmän ja vähemmän koska ihmiset ovat siirtyneet käyttämään mobiililaitteita lankapuhelimien sijasta. Tämä on hyvä yhteyksien kannalta, koska verkon rakenne on tämän takia yksinkertaisempi ja sisältää vähemmän komponentteja, jotka voivat aiheuttaa ongelmia.

2.2 Laitteet

ADSL-yhteyden muodostaminen vaatii ADSL-modeemin, joka tarkoittaa loppukäyttäjän päätelaitetta sekä palveluntarjoajan keskittimen (DSLAM), joka sijaitsee palveluntarjoajan teletilassa tai keskuksessa. Laitteista käytetään myös nimityksiä ATU-R ja ATU-C, ADSL Termination Unit Remote ja Central (office). DSLAM:ltä eteenpäin yhteys kulkee normaalisti optista kuitua pitkin kohti laajempia verkkoja ja Internetiä. Kuitenkin näiden kahden laitteen välissä tieto siirtyy vanhoissa puhelinlinjoissa. Uusimmat laitteet, mukaan lukien modeemit ja keskittimet, osaavat hyödyntää ADSL2+ -tekniikkaa, joka mahdollistaa jopa tiedonsiirtonopeuden 24 Mbit/s. [4.]

Keskittimet sisältävät kortteja, joissa on laitteesta ja kortista riippuen on vaihteleva määrä porttipaikkoja. Yleisesti näkee 48-porttisia kortteja. Yhteen porttipaikkaan liitetään aina yksi liittymä. Laitteissa ei ole tiettyä määrättyä määrää kortteja, vaan niitä voidaan lisätä tarvittaessa tiettyyn kappalemäärään asti. Jos keskittimen korttipaikat tulevat täyteen, niin lisätään keskittimiä. Keskittimet sijaitsevat fyysisesti teletilassa, joka voi olla laitteille erikseen rakennettu tila tai esimerkiksi kerrostalon telelaitteille varattu tila. Teletilat sijaitsevat kuitenkin aina puhelinverkon kannalta sen solmukohdissa, joista lähtee paljon puhelinkaapeleita.



Kuvio 1. Esimerkki ADSL-verkon laitteista ja niiden topologiasta.

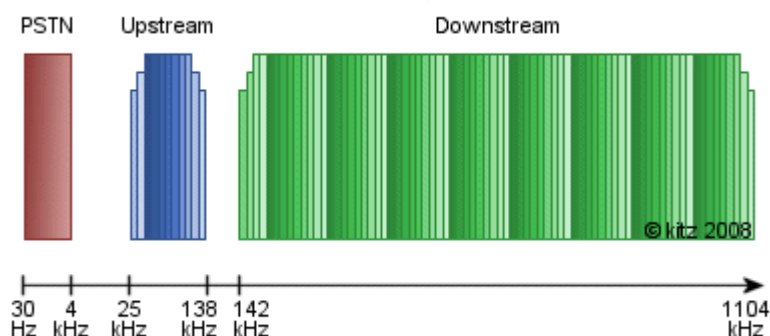
Kuvion 1 jakosuodin kuvastaa samalla talon puhelinpistorasiaa, johon on kytkettynä siis ADSL-modeemi ja lankapuhelin, jos tällainen on käytössä.

Uudemmat päätelaitteet ovat aina taaksepäin yhteensopivia. Esimerkiksi modeemin ostopäätöstä tehtäessä ei tarvitse murehtia onko ADSL2+ modeemi yhteensopiva normaalin ADSL teknologian kanssa.

2.3 Tekniikat ja modulaatiot

ITU G.992.1, ADSL1 on ITU:n, International Telecommunication Unionin, eli kansainvälinen televiestintäliiton standardi, joka käsittää G.DMT-modulaation. Tämä laajensi käytettävää ADSL-signaalin taajuusaluetta metallijohtimissa 1104 kHz:iin asti. Väliä 30 Hz – 4 kHz käytetään perinteisen puheensiirtoon, väli 4–25 kHz on käyttämätön suoja-alue, 25–138 kHz on käytössä lähetyssuuntaan ja 138–1104 kHz vastaanottosuuntaan. Taajuusalueet on havainnoitu kuviossa 2. [4; 17.]

ANSI:n eli American National Standards Insituten vastaava standardi on ANSI T1.413 vuodelta 1998. Laitteet, niin päätelaitteet kuten DLSAM:tkin, jotka tukevat ITU:n määrittelemää G.DMT:tä, ovat yleensä myös kykeneviä käyttämään ANSI:n standardia. Varsinkin vanhat tavalliset ADSL-modeemit vieläkin käyttävät T1.413-standardia. Toiminnan kannalta näissä kahdessa ei siis juurikaan ole eroa, molemmat hyödyntävät DMT:tä ja alikantoaaltoja tiedonsiirrossa ja käytettävät taajuudet ovat samat. Vain yhteyden muodostus tapahtuu ITU:n standardissa tehokkaammin. Se on määritelty G.994.1-standardissa. [4; 17.]

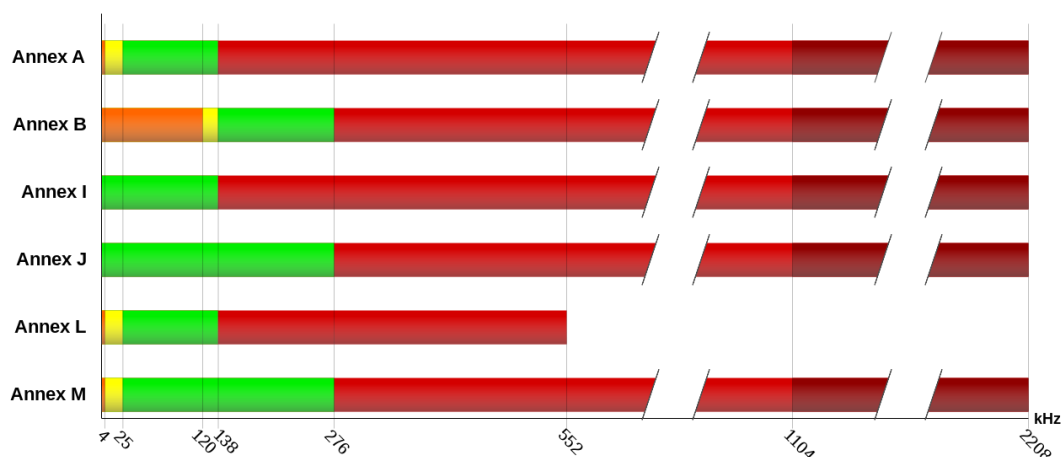


Kuvio 2. ADSL:n käyttämät taajuudet [1].

Standardi *ITU G.992.3, ADSL2* paransi ADSL:n tiedonsiirtonopeutta aina 12 Mbit/s:iin asti. Standardia kutsutaankin myös nimellä ADSL2. Käyttämällä samaa taajuusaluetta

kuin aikaisemmin mutta parannetuilla modulaatiomenetelmillä saatiin tiedonsiirtonopeutta nostettua. G.992.3 toi mukanaan useita eri mahdollisuuksia miten taajuudet oli jaettu. Haluttiinko esimerkiksi saada parempia lähetyksnopeuksia jolloin oltaisiin voitu käyttää Annex M –modulaatiota, joka nostaa lähetykseen käytettävän taajuusalueen 25–276 kHz:iin, jolloin teoriassa voitiin saada lähetyksnopeus 3,3 Mbit/s. Tämä standardi on kuitenkin hyvin niukasti käytössä koska G.992.5 sisältää samat modulaatiot mutta kaksinkertaistuneella taajuusalueella. Harvempi esiintyneisyys johtuu myös siitä, että teleoperaattorit tarjoavat yleensä tuotteita vain nopeuksilla 8 Mbit/s ja 24 Mbit/s. Myös yhteyden muodostuksen automaattisuus vaikuttaa. Vaikka yhteys olisi vain 8 Mbit/s, voi modulaationa toimia ADSL2+. Lopullinen nopeus määräytyy aina lopulta palvelurajauksella. [4; 15.]

ITU G.992.5, ADSL2+ kaksinkertaisti vastaanottoon käytettävän taajuusalueen 2,2 MHz:iin asti. tämä tarkoitti sitä, että vastaanottonopeus myös kaksinkertaistui 24 Mbit/s:iin. Tämä mahdollisti niin sanotut Triple Play -palvelut, tarkoittaen että yhden yhteyden kautta voitiin tarjota laajakaista internet, televisio- ja puhelinpalvelu. Myös HD-tasoisien TV-kuvan siirtäminen on mahdollista yhteysnopeudella 24 Mbit/s, HD-kuva tarvitsee noin 10–12 Mbit/s siirtonopeuden toimiakseen saumattomasti. Standardi sisältää useita eri modulaatioita mutta vain kahta käytetään Suomessa yleisesti: G.992.5 Annex A ja Annex M. Annex A:lla lähetyksnopeus pysyi saman kuin aikaisemminkin ja Annex M:llä päästiin lähetyksnopeudessa teoreettiseen nopeuteen 3,3 Mbit/s. [4; 16.]



Kuvio 3. Eri Annex modulaatioiden käyttämät taajuudet. Varatut taajuudet värikoodauksen mukaan: Oranssi – puheelle eli POTS, keltainen – suojataajuus, vihreä – lähetyssuunta, punainen – vastaanottosuunta. Tummempi punainen esittää taajuusalueen joka sisältyy G.992.5-standardiin. [4.]

Yleensä yhteyksiin, joissa linjan pituus on suuri, ei hyödynnetä Annex M:n tuomaa korkeampaa lähetysnopeutta, koska vastaanottonopeus on yleensä tärkeämpi. On kuitenkin kohteita, joissa ADSL2+:aa tukeva keskitin on tuotu esimerkiksi kerrostalon alakertaan tai talojakamoon. Tällöin yhteys nousee talon sisäverkossa puhelinkaapelointia pitkin. Näissä tilanteissa on hyödyllistä käyttää Annex M -modulaatiota, koska linja on vain talon sisäverkon pituinen, jolloin häviötä ja vaimennusta esiintyy paljon vähemmän. Tällä tavoin voidaan saavuttaa jopa 24/3 Mbit/s yhteys keskitimen ja päätelaitteen välille. Eri modulaatioiden käyttämät taajuusalueet ovat esitetty kuviossa 3.

3 DMT-modulaatio

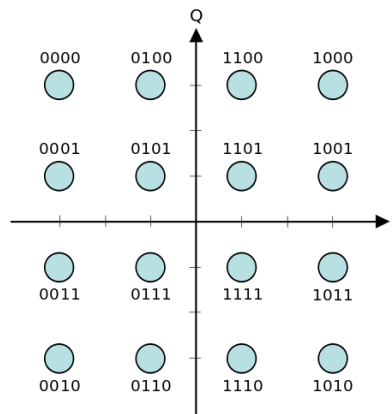
3.1 DMT:n toiminta

DMT eli Discrete Multitone Modulation on OFDM:stä (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) tehty muunnelmä, jota käytetään kiinteissä verkoissa. Käytännössä ne toimivat samalla tavalla, mutta OFDM nimitystä käytetään langattomien verkkojen kohdalla, kuten langattomassa lähiverkossa (WLAN) ja neljännen sukupolven mobiiliverkoissa (LTE). [10, s. 113.]

DMT perustuu alikantaaaltoihin (engl. bin). DMT-modulaatio jakaa käytettävän taajuusalueen 256 alikantaaaltoon ADSL- ja ADSL2-tekniikoissa. ADSL2+ -tekniikassa on yhteensä 512 alikantaaaltoa laajemman taajuusalueen myötä. Jokainen alikantaaalloista on keskitetty 4,3125 kHz:n välein. Jokaisen kanavan spektri menee siis hieman päällekkäin naapuri alikantaaaltojen kanssa. Lähetys-suuntaan on käytössä 25 alikantaaaltoa (7–31) ja vastaanotto-suuntaan 224 alikantaaaltoa, 32–255, tai ADSL2+:ssa 32–511. Annex M modulaatiossa vastaavat alikantaaallot ovat lähetys-suuntaan 7–57 ja vastaanotto-suuntaan 61–511. Yleensä kuitenkin muutama kanava vastaanotto- ja lähetystaajuuksien välissä ei ole käytössä, ettei lähetys- ja vastaanottosignaalit häiritsisi toisiaan ylikuulumisella. Käyttämättömät taajuudet vaihtelevat laitevalmistajasta riippuen. Välitaajuuksien käyttämättä jättäminen ei ole standardissa suoraan määriteltyä toimintaa, vaan laitevalmistajien suunnittelema toiminta. [1.]

DMT:ssä siis käsitellään jokaista alikanavaa yksittäisinä. Jokaiselle alikanavalle koodataan bittejä 2–15 kappaletta, riippuen siitä mikä on alikanavan vaimennus ja SNR eli

signaali-kohinasuhde. Tämä lukema lasketaan hyöty- ja kohinasignaalin tehojen suhteesta, ja se esitetään yleensä desibeleissä. Bitit koodataan konstellaationa QAM-modulaatiota käyttäen. QAM-modulaatio yhdistää amplitudi- ja vaihemodulaation, eli alikantoaallolle siirrettävän signaalissa vaihtelevat sekä amplitudi että vaihe. [1.]



Kuvio 4. Esimerkki 16QAM-konstellaatiosta [4].

Kuvion 4 konstellaatiosta voi huomata, että vierekkäiset bittikuviot eli pisteet eroavat vain yhden bitin verran toisistaan. Tämä on Gray-koodin mukaista. Tällä tavoin jos kohina aiheuttaa vain pienen yhden bitin virhetulkinnan, on se helposti korjattavissa virheenkorjauksella.

Jotta yksi bitti voidaan koodata alikantoaallolle, pitää sen SNR-lukeman olla vähintään 3 dB, mutta koska bittejä koodataan aina vähintään kaksi, pitää SNR-tason olla vähintään 6 dB, jolloin voidaan katsoa bittien koodaantuneen luotettavasti. Vastaavasti esimerkiksi kuudelle bitille pitää olla $6 * 3 \text{ dB} = 18 \text{ dB}$. Tämä rajoitus koski kuitenkin vain G.992.1-standardia. ADSL2:ssa ja ADSL2+ssa voidaan koodata vain yksi bitti per alikantoaalto. Tämä on hyödyllistä varsinkin ADSL2+ -tekniikassa, koska siinä käytössä olevat korkeat taajuudet ja alikantoaallot ovat häiriöille herkempiä, mutta ne saadaan kuitenkin valjastettua tiedonsiirtoon jos SNR-lukema on 3dB alikantoaallolle. Jos jollakin taajuudella esiintyy liikaa häiriötä ja SNR-lukema on huono, voidaan kokonaisia alikantoaaltoja jättää käyttämättä. Tällä parannetaan yhteyden häiriönsietokykyä nopeuden hinnalla. [1.]

3.2 Yhteyden alustus

Kun ADSL-modeemi kytketään verkkoon, lähettää se tervehdysviestin DSLAM:lle. Viesti sisältää, mitkä teknologiat ovat käytettävissä (ADSL, ADSL2/2+) ja mitä protokollia käytetään. Teknologiasta riippuen valitaan taajuusalue ja alikantoaaltojen määrä. DSLAM määrittää myös tässä vaiheessa, mitkä alikantoaallot jätetään käyttämättä. Tämän jälkeen alustavat arviot linjan vaimennuksesta, lähetystehojen taso ja mahdolliset tehojen rajoitus tehomaskeilla tietyillä taajuuksilla. Tehomaskeilla pyritään tietyissä tilanteissa välttämään mahdollista ylikuulumista. [1.]

Tämän jälkeen alikantoaaltojen tila tarkastetaan. Tehotasot ja SNR-lukemat lasketaan jokaiselle alikantoaallolle, ja sen perusteella määrätään koodattujen bittien määrä. Kun laskelmat on tehty, päättävät laitteet varsinaisen synkronoidun nopeuden linjalle. DSLAM lähettää testiksi dataa ja tarkistaa, että modeemi pystyy ottamaan tällä nopeudella sen vastaan. Jos jokin näistä vaiheista epäonnistuu, alkaa alustus alusta ja toistetaan niin pitkään, kunnes yhteys on onnistuneesti synkronoitu. On siis mahdollista, että yhteyttä ei koskaan saada synkronoitua yhdestä tai useammasta häiriöstä johtuen. [1.]

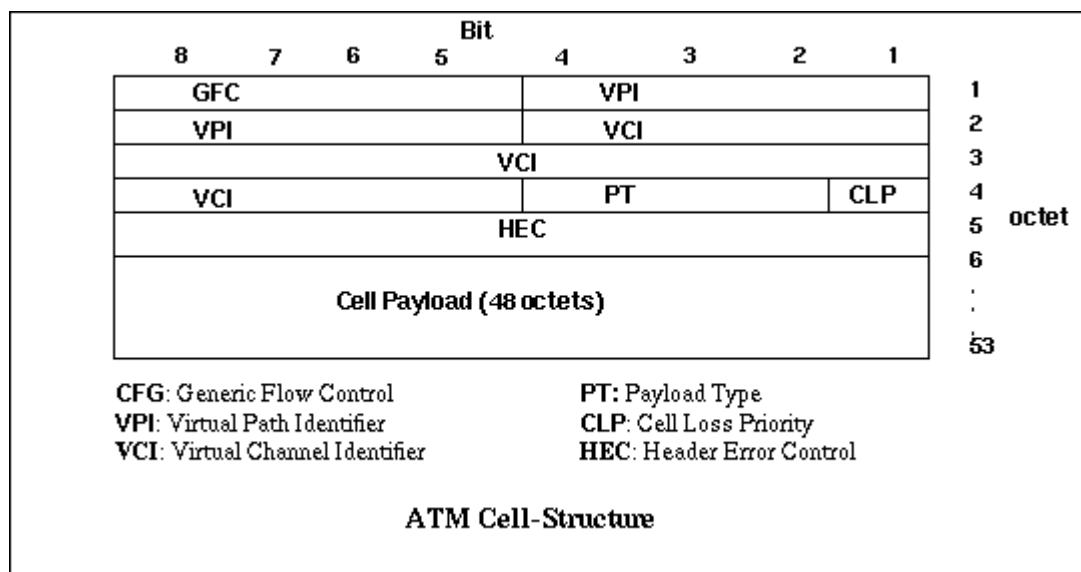
Jos laitteet ovat automaattitilassa, (Auto Mode) yhteyttä yritetään ensin G.992.5 Annex M tai Annex A -modulaatiolla. Jos yhteyden muodostus kuitenkin epäonnistuu, yritetään yleensä seuraavaksi alemman tason modulaatiota. Tämä yleensä jo viittaa ongelmaan jos yhteys ei muodostu toivotulla modulaatiolla. Esimerkiksi nopeudella 24 Mbit/s konfiguroitu linja voi häiriöstä johtuen joutua käyttämään G.DMT tai ANSI T1.413 -modulaatiota, jolloin maksiminopeus on vain 8 Mbit/s. Viankorjauksen kannalta tämä on hankalaa, sillä 8 Mbit/s nopeus 24 Mbit/s liittymässä voi johtua myös vanhasta ADSL-modeemista, joka tukee vain G.DMT tai ANSI T1.413 -modulaatiota.

4 ATM (soluvälitys)

ATM (Asynchronous Transfer Mode) on asynkroninen tiedonsiirtotapa. ADSL hyödyntää tiedonsiirrossa ATM-soluja. ATM jakaa lähetettävän datan pieniin 53 tavun vakiomittaisiin soluihin ja on siis pakettikytkentäinen protokolla. Ensimmäiset 5 tavua muodostavat otsikon (engl. header) ja loput 48 tavua ovat tietosisältöä (engl. payload). ATM sopii hyvin

äänien ja videon siirtoon, koska reaaliaikasovellukset ovat herkkiä viiveelle, jota isot paketit tai solut voivat aiheuttaa. Laitteiden ei myöskään tarvitse tarkistaa saapuneen solun kokoa, jonka takia niiden siirto tapahtuu tehokkaasti. [4; 12.]

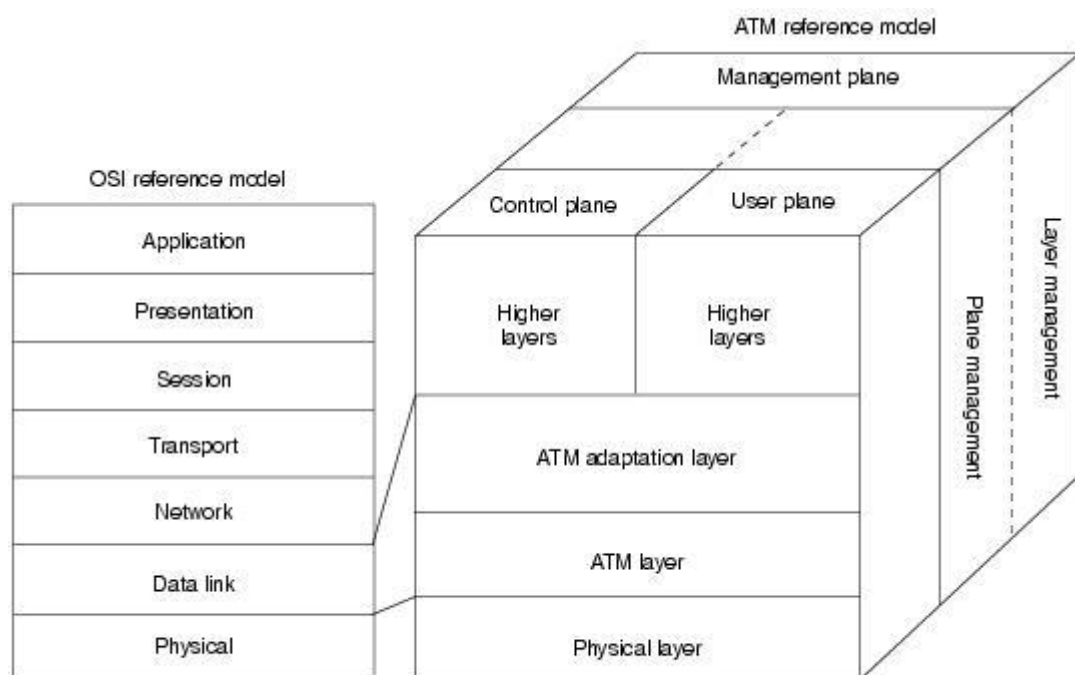
ATM-soluja on kahta erilaista: UNI ja NNI eli User Network Interface ja Network to Network Interface. UNI-soluja käytetään ATM-kytkimen (DSLAM) ja asiakkaan päätelaitteen (modeemi) väliseen tiedonsiirtoon ja NNI-soluja kytkimien väliseen siirtoon. NNI-solun otsikko sisältää GFC-kentän (General Flow Control) sijasta pidemmän VPI-kentän, jolloin tietoa voidaan siirtää pitempiä matkoja runkoyhteyksissä.



Kuvio 5. ATM UNI-solun rakenne [12].

ATM-verkko koostuu yleensä useasta silmukasta tai kytkimestä, ja tietoa lähetetään useaan suuntaan näiden välillä. Tiedon ohjaamiseen oikeaan suuntaan käytetään staattisia virtuaalikanavia (PVC, Permanent Virtual Channel). PVC koostuu otsikosta löytyvästä virtuaalipolusta (VPI, Virtual Path Identifier) ja virtuaalipiiristä (VCI, Virtual Channel Identifier). VPI-arvo määrää miten solu etenee runkokytkimien välillä. VCI-arvoa tarkastellaan, kun solu on lähellä määränpäättään. VCI-arvo kertoo lopullisen uniikin osoitteen, minne solu ohjataan [12]. Eri teleoperaattoreilla on omat VPI/VCI-arvonsa omissa verkoissaan. VPI- ja VCI-arvoilla voidaan myös jaotella liikennettä toisistaan, esimerkiksi reaaliaikaliikenteelle voidaan määritellä omat VPI/VCI-arvot. Näin liikennettä voidaan luokitella ja priorisoida.

ATM-arkkitehtuuria voidaan ymmärtää paremmin Yhdessä ADSL-tekniikan kanssa vertaamalla sitä OSI-mallin alimpiin kerroksiin. OSI-malli on Open Systems Interconnection Reference Model, joka kuvastaa tiedonsiirtoprotokollien yhdistelmän seitsemässä kerroksessa. ATM on toisen tason eli siirtokerroksen protokolla. Aikaisemmin käsitellyt ADSL-standardit määräävät, miten tieto siirretään fyysisessä linkissä eli OSI-mallin alimmalla tasolla. ADSL-modeemi, joka on saanut ethernet-kehyksen sisältävän paketin tietokoneelta, poistaa kehyksen ja segmentoi sen ATM-arkkitehtuurin sovituserroksen mukaisesti soluiksi. Sovituserros sisältää useita protokollia, mutta ethernet-sisällön siirtäminen ATM-verkon välityksellä tapahtuu sovituserroksen AAL5-protokollalla (ATM Adaptation Layer 5). Kuviossa 6 verrataan OSI-mallia ATM-arkkitehtuuria vasten. [4; 12.]



Kuvio 6. ATM-arkkitehtuuri verrattuna OSI-mallin kerroksien kanssa [12].

5 Kupariparikaapelointi

Kuten jo aiemmin mainittu, toimii vanha puhelinverkko fyysisenä tiedonsiirtoverkkona ADSL-tekniikalle. Käytännössä vanha puhelinverkko koostuu isoista kaapelinipuista parikierrettyjä kuparikaapeleita. Kaapelit lähtevät keskuksilta tai teletiloista, jotka sisältävät tarvittavat datalaitteet ja kytkentärimat. Kaapelit jatkavat seuraaville jakamoille, joissa on

lisää kytkentärimoja ja lopulta päätyvät yhden tai useamman jakamon kautta loppukäyttäjän asuntoon ja puhelinpistorasiaan. Kaapelit voivat kulkea maassa, ilmassa ja tarvittaessa myös vesistöissä. Yhtä ADSL-yhteyttä kohti on aina yksi johdinpari. On myös muita DSL-tekniikoita, jotka voivat hyödyntää kahta tai useampaakin paria tiedonsiirtoon samanaikaisesti. Näitä ovat esimerkiksi SHDSL-yhteydet (Symmetrical High-Bitrate Digital Subscriber Line), jotka poikkeavat normaalista ADSL:stä siinä, että tiedonsiirtonopeudet ovat symmetriset. Normaalisti SHDSL-yhteyksiä myydään yrityksille, joiden tarve tiedon lähettämiseen on yleensä suurempi kun yksityisellä kuluttajalla.

5.1 Kaapelityypit

Normaalisti puhelinverkosta löytyy kolmea erilaista kaapelityyppiä. Ne eroavat toisistaan vaipan materiaalin ja johtimien ympärillä olevan eristeen perusteella. Tyypillinen kaapelimerkintä on esimerkiksi VMOHBU 200*2*0,5. Kirjaimet kertovat tyyppimerkinnän ja numerot johtimien tai parien lukumäärän sekä johtimien halkaisijan millimetreissä. Esimerkissä on siis muovieristeistä kaapelia, joka sisältää 200 paria ja joiden halkaisija on 0,5 millimetriä.

Muovivaippaisten kaapelien tyyppimerkinnät ovat VMHBU ja VMOHBU. Tyyppimerkintä O viittaa että kaapelissa on käytetty vaseliinitäytettä, joka toimii kosteussulkuna. Johtimena toimii hehkutettu kuparilanka, jonka ympärillä on polyeteenistä koostuva muovieriste. Johtimet ovat aina pareittain. Välivaippa on muovia, jonka päällä metallilaminaattisuojaus ja uloimpana jälleen muovivaippa. Uudet asennettavat kaapelit ovat muovivaippaisia. Niiden käyttö yleistyi 80-luvulla. [13.]

Alumiinivaippaisissa kaapeleissa johtimena toimii kuparilanka, joiden eristeinä kerros paperia. Johtimet ovat neljän ryhmässä tähtinelikierteenä ja välivaippa on kerros alumiinia. Uloimpana on puristettu muovivaippa. Alumiinivaippaisia kaapeleita asennettiin yleisesti 70-luvulla. [13.]

Lyijyvaippaiset kaapelit ovat vanhimpia kaapeleita, joita verkosta löytyy. Tyyppimerkintöjä ovat LVJ ja LU. Kuten muissakin, johtimena hehkutettu kuparilanka ja kuten alumiinikaapelissa, johtimien eristeinä kerros kuivaa paperia. Johtimet ovat neljän ryhmässä tähtinelikierteenä. Vaippa on seostettua lyijyä. Lyijykaapeleita asennettiin 50–70-luvuilla.

Paperieristeisiä lyijy- ja alumiinikaapeleita pyritään tarvittaessa korvaamaan, koska paperi eristeenä ei ole pitkällä ajalla toimiva ratkaisu. Jos kaapeli vioittuu ja esimerkiksi kosteutta pääsee kaapeliin, leviää se imeytyessään paperiin laajemmalle alueelle. Tällöin joudutaan kaapelia korjattaessa poistamaan isompia pätkiä tai mahdollisesti koko kaapeli. Paperi on myös herkempi halkeamaan, joka voi aiheuttaa mahdollista ylikuulumista. [13.]

5.2 Kohina

Kuparikaapeleissa esiintyy erilaisia kohinasignaaleja, jotka voivat pahimmassa tapauksessa hukuttaa hyötysignaalin alleen. Käytännössä kohina on johtimessa kulkevan virran satunnaisvaihteluja. Lämpökohinaa esiintyy kaikissa elektronisissa laitteissa, koska se syntyy atomien lämpöliikkeistä. Ympäristö ja ulkoiset häiriölähteet ovat myös tavanomaisia kohinan aiheuttajia. Myös itse signaalinkäsittely voi aiheuttaa kohinaa. Ylikuulumista pidetään myös kohinana, vaikka kohinan aiheuttava häiritsevä signaali voi olla sen alkuperäiselle johtimelle hyötysignaali. Kohinaa voi esiintyä myös voimakkaana ja hetkittäisenä impulssikohinana. Impulssikohina on yleensä ulkopuolisen häiriölähteen aiheuttama. Kohinoiden summa voi ajoittain nousta korkeaksi, mikä aiheuttaa haasteita tiedonsiirrossa. [10, s. 26.]

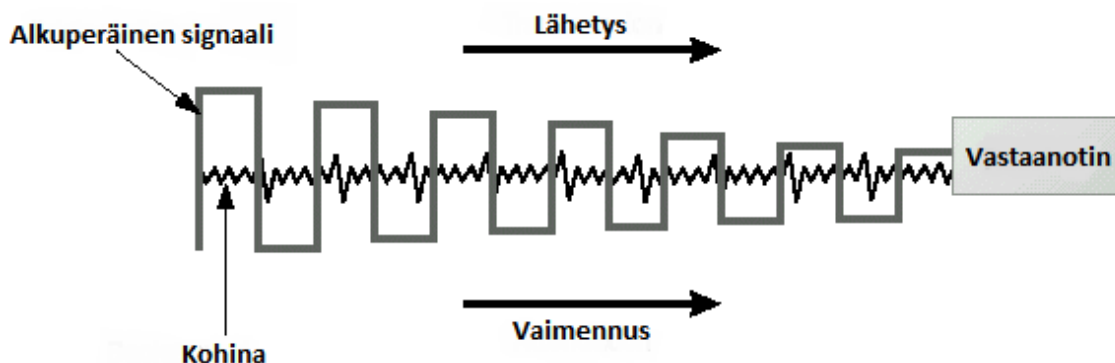
Kohinaa voidaan harvoin poistaa siirtotieltä, ja se on käytännössä mahdotonta kupariparikaapeloinnin kohdalla. Kohinalla on suurin vaikutus siirtotien tiedonsiirtonopeuteen.

5.3 Heijastuminen

Heijastumia syntyy, kun johtimen ylimenokohdissa tai liitoksissa ei ole pystytty järjestämään tarpeeksi hyvää sovitusta. Esimerkiksi jos on jouduttu tekemään jatkos 0,6 ja 0,4 mm kaapelien välille. Heijastuminen voi tapahtua myös esimerkiksi tyhjästä puhelinrasiasta, jos talossa tai asunnossa on useampia rasioita. Takaisin heijastunut signaali vääristää lähetettyä signaalia [10, s. 32]. Tyhjistä rasioista heijastuminen menettää merkityksensä yleensä pitkissä linjoissa, jolloin se on enemmän ongelmana VDSL-tekniikassa.

5.4 Vaimennus

Vaimennuksella tarkoitetaan tiedonsiirrossa sitä, kuinka paljon lähetettävän signaalin voimakkuus tai amplitudi heikkenee verkossa kulkiessaan. Vaimennuksen voimakkuus tiedonsiirrossa ilmaistaan desibeleissä.



Kuvio 7. Vaimennuksen vaikutus signaalin voimakkuuteen.

Vaimennuksen suuruus riippuu linjan pituudesta, kunnosta, käytetystä kaapelista ja mahdollisista jatkoksista. Hyvänä nyrkkisääntönä pidetään noin 10 dB:n vaimennusta kilometrille vastaanottosuuntaan, kun linja toimii normaalisti ja käytössä on halkaisijaltaan 0,5 mm kaapelia. Lähetysuuntaan vaimennus on normaalisti pienempi, koska käytetään pienempää taajuusaluetta ja alhaisempia taajuuksia. Mitä paksumpi kaapeli on, sitä vähemmän signaali vaimenee ja vastaavasti halkaisijaltaan ohuempi kaapeli vaimentaa signaalia voimakkaammin. 0,4 mm:n kaapelin vakiovaimennus on noin 13,8 dB/km 300 kHz:n taajuudella [19; 20]. Myös kaapelin tyyppi vaikuttaa vaimennukseen. Lyijy- ja alumiinivaippaiset vaimentavat signaalia voimakkaammin kuin muovieristeinen kaapeli. Tämä johtuu muovin paremmista dielektrisistä ominaisuuksista. Käytännössä se tarkoittaa sitä että signaali ei ”imeydy” muoviin niin helposti kuin esimerkiksi paperiin.

Kaapeleita on saatettu ajan saatossa joutua korjaamaan, jolloin kaapeleihin on tullut lisää jatkoksia. Yksi kaapeli voi koostua useasta eri kaapelityypistä ja paksuudesta. Signaali voi joutua hyppimään esimerkiksi muovieristeisestä 0,5 mm:n kaapelista 0,4 mm:n alumiinivaippakaapeliin ja takaisin. Jos huonompaa kaapelia on useita tai pitkiä pätkiä, vaikuttaa se linjan ominaisuuksiin ja yhteyden toimintaan. Voi myös olla, että jatkokset, joita kaapeliin on tehty, on toteutettu huonosti, mikä edelleen vaikuttaa alentavasti toimintaan.

Kun vaimennus kasvaa niin suureksi, että SNR-marginaali laskee liian alhaiseksi, ei vastaanottava laite pysty enää erottelamaan alkuperäistä lähetettyä hyötysignaalia kohinasta. Tämä johtaa siihen, että osa lähetetystä datasta voi olla käyttökelvotonta. Osa datasta voidaan kuitenkin mahdollisesti palauttaa käyttämällä eri virheenkorjausmetodeja. Yleensä laitteet tavoittelevat vähintään 6 dB:n SNR-marginaalia, joka tarkoittaa sitä, että suuren vaimennuksen omaavassa linjalla nopeus yleensä jää alemmaksi. Näin kuitenkin saadaan stabiilimpi linja, joka on häiriösietoisempi.

5.5 Ylikuuluminen

Ylikuulumisella tarkoitetaan ei-toivottua hyötysignaalin siirtymistä siirtotieltä toiselle, esimerkiksi johdinparista toiseen. Ylikuulumista syntyy, kun johdin säteilee signaaliaan ympäristöönsä ja toinen johdin on signaalin vaikutusalueella. [10, s. 30.]

Ylikuulumista johtimissa voidaan katsoa olevan kahdenlaista, induktiivista ja kapasitiivista. Induktiivisessa ylikuulumisessa johtimien elektromagneettiset kentät ovat vuorovaikutuksessa, jolloin uhrijohtimeen indusoituu magneettikentän voimakkuuden mukainen kohinajännite häiriöjohtimesta. Kapasitiivista ylikuulumista tapahtuu kun kaksi johdinta kulkee rinnakkain, tilanne joka on parikaapeloinnissa väistämätön. [10, s. 30.]

Johtimet muodostavat niiden välissä olevan eristeaineen kanssa kondensaattorin tapaisen tilanteen. Näin jännitteet voivat siirtyä johtimesta toiseen kondensaattorin tavoin. Kun johtimet kulkevat rinnakkain ja toisessa liikkuu vaihtojännite, sen rinnakkaiseen johtimeen syntyy heikompi vastaavanlainen signaali, jonka vaihe on vastakkainen. Häiriösignaalin voimakkuuteen vaikuttavat esimerkiksi sen taajuus ja amplitudi. Johtimien välisen ylikuulumisen lisäksi voi sitä tapahtua johdinparien välillä, jolloin esimerkiksi lähettävään dataan voi kopioitua vastaanotettavasta signaalista dataa. [10, s. 30.]

Etäpään ylikuulumista eli *FEXT* (Far End Crosstalk) tapahtuu kun lähtevän häiriöjohtimen signaali siirtyy toiseen lähtevään pariin. Signaali siirtyy siis kohinana toiseen johdinpariin ja jatkaa kulkuaan samaan suuntaan. [10, s. 31.]

Lähipään ylikuulumista, eli *NEXT*:iä, tapahtuu, kun häiritsevä signaali sen lähtöpäässä ylikuuluu toiseen johdinpariin ja kulkeutuu takaisin päin. Lähipään ylikuulumista tapahtuu, koska lähettävän laitteen on käytettävä tarpeeksi tehoa, jotta vastaanottopää kuulee

signaalin läpi. Johtimen vaimennus vaikuttaa siis kuinka pitkään ja voimakkaasti ylikuulumista lähipäässä tapahtuu. Yleensä vaikutus loppuu jo noin 20 metrin päässä lähettimestä. Normaalissa tilanteessa ylikuulumista ei pitäisi tapahtua parikierrityissäkaapeleissa, mutta asennusvaiheessa parikiertoa on voitu avata liikaa tai kaapelia vaurioittaa. Myös liitin tai kaapeli itsessään voi olla viallinen. [10, s. 31.]

6 Virheiden havaitseminen ja korjaus

Siirtotiellä tapahtuu virheitä, kun vastaanottava laite ei pysty erottelemaan oikein hyöty-signaalia linjalla olevasta kohinasta.

ADSL hyödyntää erinäisiä tapoja, joilla voidaan havaita ja korjata virheellisesti siirtynyttä tietoa. Kun laite havaitsee siirtotiellä tapahtuneen virheen, päättää se, mitä tälle tiedolle tehdään. Kun vääristynyt data on korjattu tai lähetetty uudelleen, voidaan se kuljettaa eteenpäin tietokoneelle tai muulle päätelaitteelle.

6.1 Virheenkorjausmenetelmät

Virheiden korjaamiseen ADSL-tekniikassa käytetään kahta erilaista koodausmenetelmää, konvoluutio- ja lohkokoodausta. Ne eroavat toisistaan siinä, kuinka hyvin ja minkälaisia virheitä ne pystyvät korjaamaan. Näiden kahden eri koodauksen menetelmiä voidaan kuitenkin yhdistää, jolloin saavutetaan parempi lopputulos datan puhtauden kannalta. Kun molemmat tavat ovat käytössä, puhutaan yleensä ulommasta ja sisemmästä koodauksesta; konvoluutio sijaitsee sisempänä ja lohkokoodaus ulompana. Tähän voidaan edelleen lisätä esimerkiksi lomitusta tai muita tapoja, jotka edelleen parantavat virheiden korjausta.

Nämä tekniikat ovat niin sanottuja FEC-koodauksia (Forward Error Correction), mikä tarkoittaa, että hyötykuorman lisäksi lähetetään ”ylimääräisiä” bittejä, joilla voidaan tehdä virrehavainnot ja korjaukset. Kun tällainen virheenkorjaus on tapahtunut, kirjataan se laitteen FEC-laskuriin. Virheitä ja niiden korjausta tapahtuu molemmissa päissä.

Konvoluutiokoodauksessa muodostetaan biteistä jono, jossa peräkkäisten bittien välille luodaan riippuvuus. Vastaanottopäässä voidaan täten korjata aiheutuneita virheitä tiettyyn rajaan asti.

Trellis-koodaus (TCM) on yksi konvoluutiokoodauksen muodoista. Trellis-koodauksella lisätään QAM-modulaation yksi bitti lisää, jolla lisätään redundanssia, minkä johdosta linjavirheitä voidaan havaita ja korjata. Konvoluutiokoodaus sopii hyvin taustakohinan ja satunnaisten kohinoiden korjaamiseen. Pidemmät ja voimakkaammat kohinat aiheuttavat kuitenkin sellaisia virheitä, joita ei pystytä pelkästään tällä menetelmällä korjaamaan. Trellis-koodauksessa overhead kasvaa minimaalisesti. Overheadilla tarkoitetaan dataa, jota lähetetään varsinaisen hyötysisällön kanssa, jotta se kulkisi onnistuneesti ja virheettömänä perille. Virheenkorjausbittien määrä voi olla satunnainen. [3.]

Lohkokoodauksessa data kehystetään ennalta määrättyyn kokoon. Koodisana muodostetaan alkuperäisestä datasta algoritmilla. Koodisana sisältää enemmän redundanssia lisääviä bittejä kuin konvoluutiokoodauksessa, mutta tämä johtaa kasvaneeseen overheadiin, minkä takia kaistankäyttö ja viive kasvavat. Lohkokoodaus on tämän takia kuitenkin parempi korjaamaan purskeittain tapahtuvia virheitä, kuten esimerkiksi impulssikohinan aiheuttamana. [3.]

Reed-Solomon (RS) -koodaus on ehkä yleisin käytössä oleva lohkokoodausmenetelmä. Koodisanan pituus ja redundanssia lisäävien bittien määrä on riippuvainen siitä, minkälaista algoritmia koodaukseen on käytetty. Mitä enemmän näitä bittejä on koodisanassa, sitä korkeampi on viive ja kaistankäyttö. Kun data on kulkeutunut vastaanottavalle laitteelle, tarkastaa dekoderi, onko virheitä tapahtunut. Tarvittaessa virheet korjataan ennen kuin se siirretään eteenpäin päätelaitteelle. Yleensä virheenkorjaukseen liittyvät bitit siirretään omilla alikantoaalloillaan DMT-modulaatiota hyödyntäen. [3.]

6.2 Cyclic Redundancy Check

CRC on tiivistealgoritmi, jolla luodaan tarkisteavain siirrettävä tiedolle. Tällaiseen järjestelmään, jossa CRC on käytössä, lähetettäviin datalohkoihin kiinnitetään tarkisteavain, joka perustuu polynomiseen jakokulmaan datan sisällöstä. Vastaanottopäässä laskelmat toistetaan ja tuloksia verrataan lähetettyyn CRC-koodiin. Jos tarkisteavain täsmää, data

kuljetetaan päätelaitteelle eteenpäin. Jos virhe havaitaan, dekooderi ilmoittaa datahäviöstä ja ARQ-pyyntöillä dataa pyydetään uudelleenlähetettäväksi. ARQ eli Automatic Repeat reQuest on toiminto, jolla voidaan siis tietty vääristynyt data pyytää uudelleenlähetettäväksi. ARQ on kuitenkin aika raskas yhteydelle, koska se toimii OSI-mallin siirto- ja verkkokerroksessa. [3.]

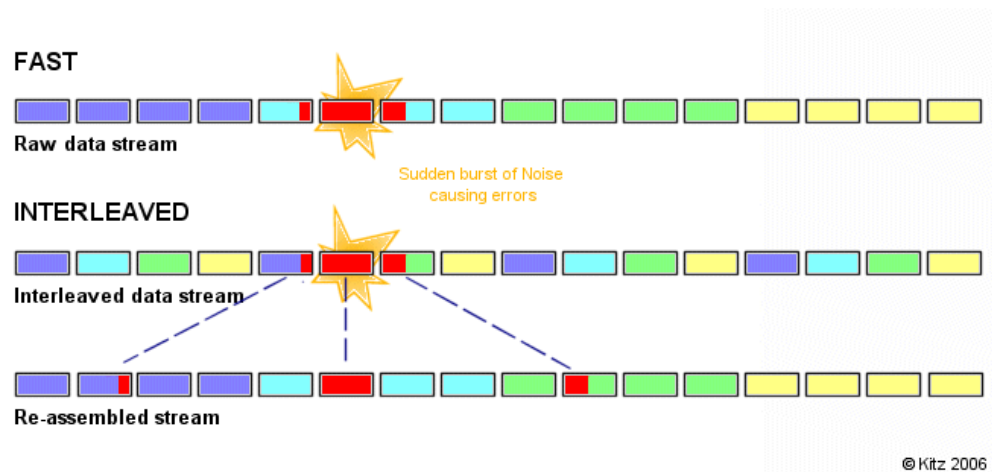
Alun perin CRC:tä käytettiin vain virheiden havaitsemiin mutta sen pohjalta on kehitetty erilaisia menetelmiä, jotka voivat havaitsemisen lisäksi korjata virheitä.

6.3 Header Error Control

HEC on CRC:n tapainen algoritmi, jolla voidaan tarkistaa ATM-solun soluotsikossa tapahtuvia virheitä. Kuten kuviossa 6 oli osoitettu, on HEC:lle varattu oma kenttänsä ATM-solussa. HEC:llä pystytään korjaamaan yhden bitin virheet ja havaitsemaan useiden bitien virheet. Yksinkertaistettuna jos lähetetty data on esimerkiksi 1-3-5-7 ja tarkistesumma 25, mutta vastaanotto päässä havaitaan vain 1-?-5-7 ja tarkistesumma 25, voidaan havaita ja korjata yhden bitin virhe tarkistesumman perusteella. Jos virheitä havaitaan useita, data hylätään ja pyydetään uudestaan. Siirtolaitteissa on normaalisti laskurit, joista näkee tapahtuvien virheiden lukumäärän [3; 4; 13.]

6.4 Lomitus

Virheenkorjaus koodauksien toimintaa voi edelleen tehostaa lomittamalla dataa. Lomituksella voidaan erityisesti korjata pidempien virhepurskeiden aiheuttamia virheitä. Lomituksen avulla häiriöpurskeen aiheuttama datan vääristymä voidaan levittää useamman koodisanan välille, jolloin jäljelle jää toivottavasti vain yhden bitin virheitä. [2.]



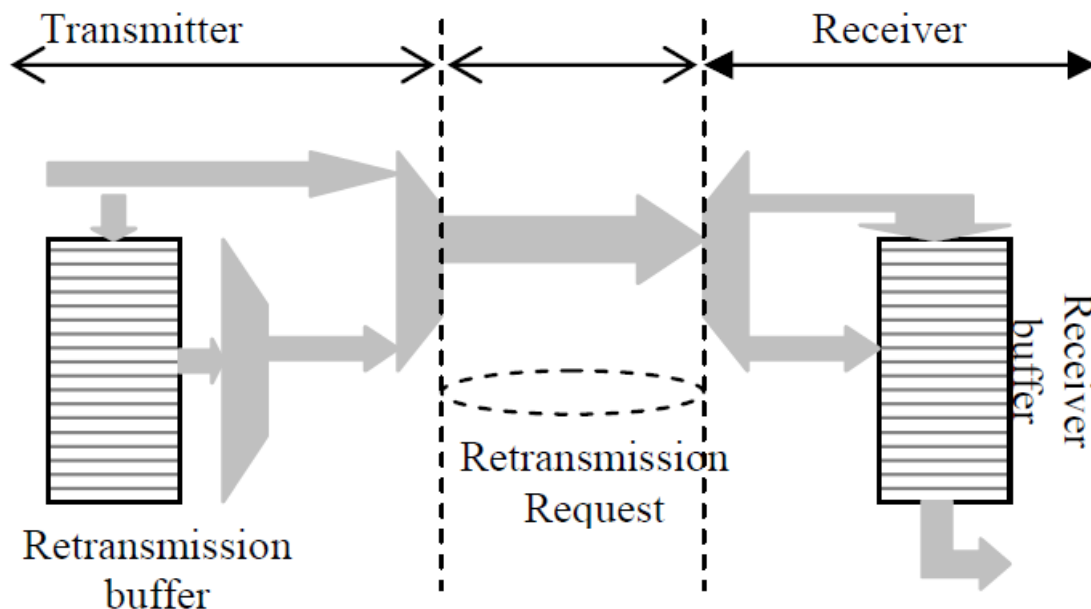
Kuvio 8. Lomituksen toiminta [2].

Kuviossa 8 FAST-bittijono kuvastaa käsittelemätöntä lähetettyä dataa, joka kokee virheen siirtotiellä. Bittijono kulkeutuu sellaisenaan vastaanottopäähän, jolloin dataa ei välttämättä voida palauttaa. INTERLEAVED-bittijonossa koodisanat on sekoitettu eli lomitettu kooderilla keskenään ennen siirtotielle siirtämistä. Kun dekooderi vastaanottopäässä palauttaa koodisanat oikeaan järjestykseen, on häiriö levinnyt useammalle koodisanalle, jolloin yhdestä koodisanasta on häiriön takia vioittunut vähemmän bittejä. Nämä virheet ovat täten korjattavissa esimerkiksi RS-koodauksella. Lomituksen huonona puolena, kuten muissakin virheenkorjauskoodauksissa, on kasvava viive. Tämä saattaa vaikuttaa esimerkiksi nopeatempoisiin verkkopeleihin ja muihin reaaliaikapalveluihin.

6.5 Fyysisen kerroksen uudelleenlähetys

Fyysisen kerroksen uudelleenlähetyksellä tarkoitetaan kevyttä ja nopeaa tekniikkaa tehdä vääristyneen datan uudelleenlähetystä. Tässä tekniikassa siirrettävä tieto pakataan pieniin DTU, eli Data Transmission Unit -paketteihin, jotka ovat pienimpiä uudelleen lähetettäviä yksiköitä. Lähetyspäässä jo lähetetty data tallennetaan vielä väliaikaiseen uudelleenlähetyspuskuriin. Vastaanottaja tarkastaa DTU-pakettien tarkistesummat virheiden varalle. Uudelleenlähetyspyyntö lähetetään vastaanottavalta laitteelta, jos virhe havaitaan, mutta virheellinen data syötetään kuitenkin vastaanottopuskuriin. Puskureiden toiminta on kuvattu kuviossa 9. Jos uudelleenlähetetty data ehtii tulla ennen kuin

virheellinen on edennyt puskurista läpi, data korvataan uudelleenlähetetyllä. Tämä tarkoittaa sitä, että jos uudelleen lähetetty data ei saavu perille ajoissa tai ollenkaan, virheellinen data jatkaa kulkuaan vastaanottopäässä. [9.]



Kuvio 9. Uudelleenlähetysten toiminta ja eteneminen [9].

Tällä tekniikalla voidaan siis hyvin korjata esimerkiksi impulssikohinan aiheuttamia virheitä. Erityisesti tekniikka on hyödyllinen reaaliaikasovelluksille ja esimerkiksi IPTV-lähetysille. Puskurit saattavat aiheuttaa noin 20 millisekunnin ylimääräisen viiveen, mutta tekniikalla voidaan saada paljonkin virheilevä linja toimimaan ilman katkoksia. Virheitä siis tapahtuu, mutta ne eivät ikinä saavuta asiakkaan näkymää.

7 Tutkimuksen lähtökohdat

7.1 Tavoitteet ja aikaisemmat tutkimukset

Työn tavoitteena oli kehittää toimintamalli, jolla voitaisiin tilaajaverkosta etsiä huonoja alueita ja rajata niitä maantieteellisesti. Tarkoituksena oli myös saavuttaa tilanne, jossa ongelman aiheuttaja voitaisiin selvittää tarkasti. Riippuen ongelman laadusta ja sen aiheuttajasta voitaisiin selvittää mahdolliset korjaustoimenpiteet, jotka vaihtelevat verk-

koon tehtävistä fyysisistä muutoksista liittymien konfiguraatioihin. Työkaluina työssä käytettiin työn tilaajan valmiita järjestelmiä ja niissä olevaa tai niillä saatavaa dataa ja informaatiota.

Toimintamallin tuli olla tarpeeksi kattava, jotta sitä pystyttäisiin hyödyntämään eri koh-teissa tehokkaasti ja että sillä saataisiin luotettavaa tietoa verkon alueista. Tämä huomi- oitiin tutkittavan alueen valintaa tehdessä, jonka pohjalta työvaiheet kehitettiin. Työvai- heiden tuli siis perustua yleispäteviin keinoihin, jotka ei ole riippuvaisia esimerkiksi alu- een koosta, tilaajien määrästä, maantieteellisestä sijainnista tai verkossa olevista lait- teista.

Aikaisemmissa tehdyissä tutkimuksissa huonoja alueita on etsitty vertailemalla vain tut- kittavien liittymien nopeuksia. Nämä tutkimukset eivät ole ottaneet kantaa virheilyyn ja pätkimiseen ollenkaan. Asettelu on ollut siis puhtaasti liittymälle luvattu vaihtelunopeus vastaan toteutunut nopeus. Tässä työssä vertailuun lisättiin myös virheilyt ja katkokset, ja aluetta lähdettiin tutkimaan myös tarkemmin eli pilkkomaan aluetta pienempiin osiin.

7.2 Tutkittavan alueen valitseminen

Alussa päätettiin työn rajauksesta siten, että käsitellään vain yhtä teletilaa ja siitä lähteviä yhteyksiä. Tämän pohjalta tehtyä toimintamallia tulisi siis myös pystyä hyödyntämään muissa kohteissa. Siksi työhön valittiin tarpeeksi iso teletila, jonka kaapeleita pitkin läh- tee tuhansia yhteyksiä. Näin saatiin mahdollisimman paljon dataa, jotta toimintamalli olisi myös mahdollisimman kattava ja tulosten tarkastelu antaisi myös laajalti tarkasteltavaa.

Teletilan valintaan vaikutti myös alustava datan tarkastelu. Tämä tapahtui linjahistoria- työkalun datan perusteella. Kyseinen työkalu mittaa kaikki liittymät vuorokauden välein, jolloin se listaa ylös liittymistä niiden liittymätunnuksen, laitteen josta yhteys lähtee, lait- teen kortti- ja porttipaikan, käytetyn nopeusprofiilin, varsinaiset nopeudet vastaanotto- ja lähetyssuuntaan, maksimissaan saavutettavissa olevat nopeudet, vaimennukset, SNR- marginaalit, katkosten määrät ja linjalla tapahtuneiden virheiden määrät. Tiedot voidaan tulostaa työkalun tietokannasta CSV (Comma-Separated Values) -tiedostoon, jota voi- daan helposti käsitellä Microsoft Office Excel -taulukkolaskentaohjelmalla tai komento- sarjakielellä eli skripteillä. Kuviossa 10 on havainnoillistettu taulukon rakenne.

Tunnus	Laite	Kortti/portti	Profiili	Nopeus Down	Nopeus Up	Vaim. Down	Vaim. Up	SNR Down	SNR Up	Katkos	FEC	CV
Liittymä 1	Laite 1	1/1/1/1	ADSL 8M	8064	1024	35	25	7	8	0	2000	40
Liittymä 2	Laite 2	1/1/6/13	ADSL 24M	23412	1024	19	10	8	12	1	2000	500

Kuvio 10. Esimerkki linjahistoriasta saatavasta taulukosta.

Nopeudet ovat ilmoitettu kbit/s -muodossa ja ne ovat siis päätelaitteen ja keskittimen yhteyden alustuksessa sopimia nopeuksia, johon on vaikuttanut linjan kunto ja häiriöt yhteyden alustuksen aikana. Joissakin tapauksissa alhainen nopeus voi johtua siitä, että alustuksen aikana on ollut häiriö, joka on osunut linjalle sillä hetkellä kun laitteet ovat päättäneet linjan nopeudesta. Vaimennukset ja SNR-marginaalit on ilmoitettu desibeleissä ja virheet on erikseen eroteltu korjatuiksi virheiksi ja virheiksi, joita ei ole kyetty korjaamaan. Normaalisti virheistä, joita ei ole korjattu, puhutaan CV-virheinä. Lyhenne CV tarkoittaa Coding Violationia, joka käytännössä tarkoittaa sellaista virhettä, jossa dataa ei ole kyetty palauttamaan ja se on käyttökeltontonta. DSLAM ja muut laitteet sisältävät omat laskurinsa CV-virheitä varten. Liittymistä saatava data tässä muodossa ei kuitenkaan kerro, missä kaapeleissa tai mihin yhteydet kulkevat teletilasta lähtiessään.

Osassa verkossa olevissa laitteissa on kumulatiiviset laskurit, eli niissä on virheiden lukumäärät koko siltä ajalta, jolloin keskitin tai sen kortti on ollut päällä. Tämän takia niistä ei saada tarkkaa vuorokauden aikana tapahtunutta virheilyä suoraan. Tämä on kuitenkin kierrettävissä niin, että otetaan kaksi peräkkäistä vuorokautta tarkasteluun halutusta kohteesta. Kuten kuviosta 10 havaitaan, ovat tiedot omissa sarakkeissaan, jolloin voidaan helposti ottaa kahdesta mittauksesta tarvittavat sarakkeet talteen ja esimerkiksi Excelillä tehdä yksinkertaisesti vähennyslasku saaduille arvoille.

Liittymien dataa teletilan valintaa varten tarkasteltiin useasta lähtökohdasta. Saatavasta datasta etsittiin laitteita, joissa oli useampia huonosti toimivia liittymiä. Toimivuutta tarkasteltiin nopeuksien, virheilyn ja katkokkien määrällä. Esimerkiksi 8 ja 24 Mbit/s liittymien raja-arvoina käytettiin niiden tuotteiden määritelmiä. Datan suodatuksessa käytettiin Excel-ohjelman työkaluja. Alussa taulukko sisälsi kaikki mahdolliset ADSL-liittymät, jolloin edellä mainituilla arvoilla dataa jäsenneltiin. Silmäilemällä taulukkoa kirjattiin ylös laitteet, joissa todettiin olevan useampia heikosti toimivia liittymiä, ja näistä valittiin lopulta tarkasteltava teletila. Valittu teletila sijaitsi keskisuuren paikkakunnan keskustan laitamilla, jonka vaikutuspiirissä asuu useita tuhansia ihmisiä. Teletila oli siis ideaalinen työn kannalta.

Laajakaistatuotteille on omat määrätyt vaihteluvälit nopeudelle, joista Viestintävirasto on antanut määräykset [21]. 8 Mbit/s toimivan liittymän vaihteluväli on 3–8 Mbit/s ja 24 Mbit/s toimivan liittymän 8–20 Mbit/s. Katkoksien ja virheiden raja-arvojen määrittely tutkintaa varten oli hankalampaa, koska katkokset voivat olla loppukäyttäjän toiminnasta tai muusta ulkoisesta tekijästä johtuvia, kuten sähkökatkoksista. Esimerkiksi jos loppukäyttäjä käynnistää laitteen uudelleen tai pitää laitetta päällä vain silloin kun tarvitsee, näkyy nämä katkoksina laskureissa. Virheilyä tutkittaessa on hankala määrittää missä kohtaa se on häiritsevää. Yhteydet normaalisti kestävät suuren määrän korjattuja virheitä (FEC) mutta ei CV-virheitä. Se, missä kohtaa CV-virheet aiheuttavat ongelmaa, on liittymä- ja linjakohtaista. Vuorokauden laskuri ei myöskään kerro, onko virheily ollut tasaista vai impulssimaista. Virheilyn määrää onkin hyvä verrata katkoksien määrään, koska virheilyn ylittäessä tietyn pisteen aiheuttaa se katkoksia. Virheilyn tasaisuuden pystyy kuitenkin tarkastamaan DSLAM:n laskureista etähallinnalla. Laitteissa on yleensä erikseen tiheämmät laskurit, jotka tallentavat tietyn ajanjakson virheet 15 minuutin intervalleissa.

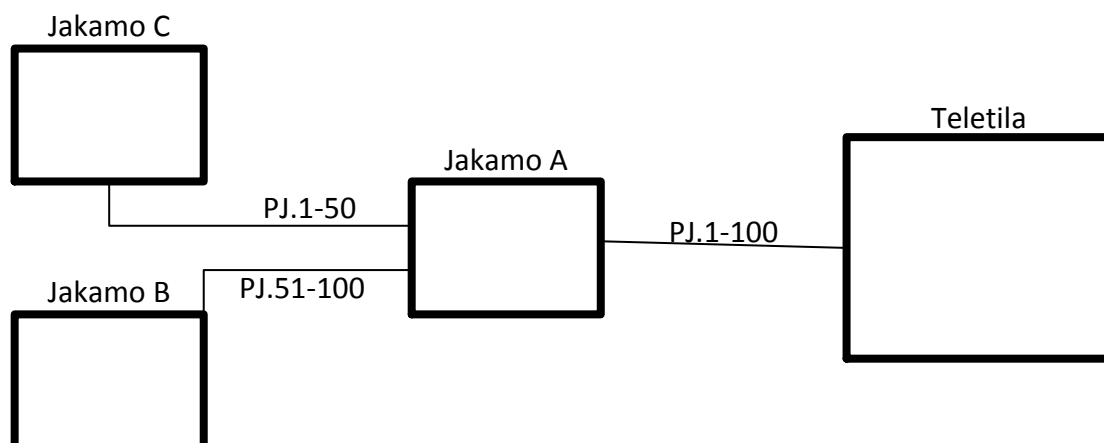
Jos dataa olisi tarkasteltu vain nopeuden kantilta tuotteiden vaihteluvälien mukaisesti, ei olisi tutkittu teletila juurikaan noussut esille ongelma-alueena. Sama koski myös useita muita datan karsinnan aikana tarkasteltuja ja listattuja alueita. Lisäämällä tähän tarkasteluun katkokset ja virheilyt, voitiin huomata niiden välillä syy-seuraussuhteita. Pelkkä nopeus ei siis aina kertonut koko totuutta.

8 Teletilan ja kaapeloinnin syvempi tutkinta

8.1 Laitteet, jakamot ja PJ-parit

Kun teletila oli valittu, tehtiin sen liittymistä oma taulukko suodattamalla kaikista liittymistä teletilan laitteissa olevat liittymät. Tämä onnistui helposti Excelillä. Liittymät listattiin aluksi nopeuden mukaan suurimmasta pienimpään. Sama tehtiin myös virheilyn ja katkoksien määrillä. Näin taulukosta pystyttiin jo päällisin puolin silmäilemällä toteamaan, että huonosti toimivat liittymät lähtivät teletilan eri DSLAM:ista ja niiden eri korteista. Huonot arvot eivät siis keskittyneet yksittäiseen laitteeseen tai korttiin. Näin voitiin pois sulkea mahdollisuus siitä, että laitteet tai niiden kortit olisivat viallisia. Tämä tarkoitti myös sitä, että mahdollinen vika laitekaapeloinnissa ei tullut kysymykseen. Laitekaapeloinnilla tar-

koitetaan korteista lähteviä valmiita sarjakaapeleita ensimmäiselle ristikytöntärimalle teletilassa. Teletilan ristikytöntärimalta laitteiden porttipaikat kytketään pääjakajan pareille eli PJ-pareille, jotka ovat ulospäin lähteviä kaapeleita. PJ-parit lähtevät tietyn kokoisissa kaapelinipussa eteenpäin teletilasta. Niput yleensä sisältävät kaapelipareja tasasatalukemia tai kymmenlukemia. Seuraavana pysäkkinä näillä kaapeleilla ovat jakamot.



Kuvio 11. Esimerkki kaapelinippujen etenemisestä kun jakamot sisältävät avojatkoksia.

Jakamolle tuleva kaapelinippu levittäytyy useampaan suuntaan, mikä on esitetty kuviossa 11. Esimerkiksi 100-parinen kaapelinippu, joka tulee teletilasta jakamolle A, voi jatkaa matkaa 50-parisina nippuina seuraaville jakamoille, jos jakamoilla tehdyt jatkokset ovat avojatkoksia. Näin kaapelin matka jatkuu, kunnes tullaan viimeiselle jakamolle ennen linjan käyttäjän taloa. Omakotitaloihin kulkee normaalisti aina muutama pari ja kerrostalon asuntoihin yleensä yksi tai kaksi paria. Jotkin jakamot sisältävät teletilan tapaan ristikytöntärimoja, joilla tehdään kytkennät kaapelien välillä. Esimerkki ristikytöntärimasta kuviossa 12. Näin teletilasta lähtevällä PJ-parilla ei ole ennalta määrättyä lopullista reittiä, vaan jokaiselle välille voidaan vaihtaa paria erikseen vaihtamalla kytkentöjä jakamoiden ristikytöntärimoilla.



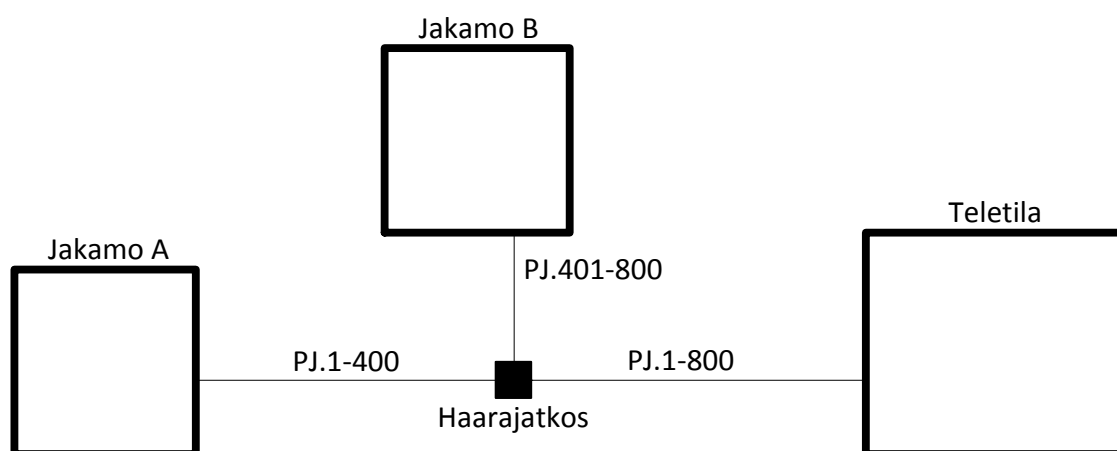
Kuvio 12. Tienvarsikaappi-jakamo. Kuvassa keskellä näkyvät ristikytkentärimat [14].

Kun laiteviat oli pois suljettu, keskityttiin tutkimaan heikosti toimivien ja muidenkin liittymien reittejä. Tähän käytettiin verkkotietojärjestelmän tietoja. Verkkotietojärjestelmästä voidaan tulostaa hieman kuviota 11 muistuttava kaavio, josta näkyy liittymän kulkema reitti jakamoiden läpi aina viimeiselle jakamolle tai päätteelle asti. Verkkotietojärjestelmä sisältää myös tarkemmat kytkentätiedot teletilojen ja jakamoiden kytkentärimoilla. Käytännön esimerkki verkkotietojärjestelmän käytöstä on esimerkiksi, jos tietoliikenneasentaja kytkee uuden asiakkaan tietoliikenneverkkoon, kytkemällä tarvittavat parit asunnon ja teletilan välille, päivitetään nämä tiedot verkkotietojärjestelmään. Vastaavasti sieltä voidaan hakea vapaita pareja, joita voidaan käyttää yhtenäisen linjan muodostuksessa keskittimen ja päätelaitteen välille.

Tämä tieto on tarpeellista, jos asiakas jättää vikailmoituksen liittymästään, ja on voitu todeta, että linjalla on fyysinen vika, joka vaatii asentajan lähettämistä paikalle korjaamaan se. Verkkotietojärjestelmän perusteella asentaja ja yhteyshenkilö operaattorilla tietävät millä rimapaikoilla linjan kytkennät ovat. Tietokanta sisältää myös kaikki vapaat rimapaikat ja parit, jolloin tarvittaessa asentajalle voidaan etsiä antaa vapaita ja ehjiksi merkittyjä pareja, joille asentaja voi tarvittaessa muuttaa liittymän reittiä. Jos asentaja on todennut testauslaitteistollaan tietyn parin linjalta vialliseksi, esimerkiksi vaikka teletilan ja jakamon välistä, voidaan se merkitä tietokantaan ylös, jolloin siihen ei vahingossa kytketä uutta liittymää. Tällaisia tilanteita voi olla esimerkiksi, jos asentaja huomaa parikaapelissa ylimääräistä jännitettä tai maavuotoa. Voi olla myös niin, että mittaamalla linjasta

ei löydy selkeää syytä alentuneelle toiminnalle. Näissä tilanteissa on yleensä syytä epäillä porttipaikkaa, asiakkaan modeemia, jatkoksia tai kaapelin laatua itsessään.

Kaapelit saattavat myös haarautua ennen varsinaisia jakamoita. Teletilasta lähtee yleensä useamman sadan parin nippuja, jotka voivat haarajatkoksilla jakautua useammalle jakamolle. Haarajatkos ei siis varsinaisesti ole jakamo, vaan kiinteä jatkos, jossa osa pareista vain ohjataan eri suuntaan, esimerkiksi toisen asuinalueen suuntaan. Tehdyt jatkosratkaisut riippuvat paljolti alueen rakentamisesta yleensä. Esimerkiksi alun perin on voitu laittaa isompi kaapeli lähtemään teletilasta tiettyyn suuntaan ja varauduttu siihen, että alueelle tulee lisää rakennuksia.



Kuvio 13. Esimerkkikuvio haarajatkoksesta.

Kuviossa 13 havainnoidaan, kuinka teletilasta lähtevä 800-parinen kaapeli jakautuu kahdeksi 400-pariseksi kaapeliksi ennen varsinaisia jakamoita. Fyysisesti haarajatkos voi sijaita esimerkiksi telekaivossa, jos kyseessä on maakaapeleita. Verkkotietojärjestelmästä haarajatkoksia pitää tutkia tarkastamalla kaapelinumerointeja jatkoksien kohdalla, sillä tietokannan kaaviossa haarajatkokset eivät näy vastaavasti kuten kuviossa 13. Verkkotietojärjestelmä antaa liittymien reiteistä loogisen näkymän.

8.2 Reittien tutkinta

Verkkotietojärjestelmään tehtiin aluksi hakuja liittymätunnuksilla, joiden nopeudet olivat hyvin alhaiset. Otanta oli siis pieni, mutta tällä tavoin saatiin hieman lähtökohtaa. Tämä

vaihe oli työläs, sillä verkkotietojärjestelmään piti tehdä hakuja yksi kerrallaan tai isommissa kokonaisuuksissa siten, että hakuehtoina käytettiin postinumeroa tai muuta maantieteellistä arvoa, jolloin saatiin hakutuloksen listaan teletilan liittymät. Listasta tällöin haettiin vielä yksitellen liittymät, jotka haluttiin tulostaa kaavioon. Ensimmäisten hakujen perusteella voitiin kuitenkin jo huomata mahdollinen ongelmakohta. Jakamon A läpi kulki useita haettuja liittymiä. Liittymien PJ-parit eivät kuitenkaan olleet samoista nipuista, mistä pystyi päättämään, että jakamolle menee useita eri nippuja. Kyseisen jakamon kytkennät olivat avojatkoksia, joten tietyt parit jatkavat aina tiettyyn suuntaan. Tietokannasta pystyttiin myös tarkastelemaan, minkä laatuista kaapelia ja kuinka pitkiä pätkiä kyseistä kaapelityyppiä on missäkin. Teletilasta jakamolle A oli matkaa hieman yli 1800 metriä. Teletilan ja jakamo A:n välissä kulkevissa kaapeleissa oli useita jatkoksia, ja kaapelityyppi ja paksuus vaihtelivat myös useasti. Hyppyjä tapahtui esimerkiksi 0,4 mm:n alumiinivaippakaapelista 0,5 mm:n muovivaippaiseen kaapeliin. Tämä huomioitiin itsessään jo mahdollisena ongelmanaiheuttajana, koska huonot sovitukset ja kaapelipaksuuden muuttuminen jatkoksissa aiheuttavat heijastuksia.

Otanta kasvatettiin tasaisesti eli kaavioon tulostettavien liittymien hakuehtoja lyhennettiin. Otanta sisälsi silloin siis liittymiä, jotka toimivat vaihteluvälien mukaisesti, mutta eivät toimineet kuitenkaan täysin moitteetta. Jakamo A erottui otantaa kasvatettaessa. Heikosti toimivia liittymiä lähti myös muihinkin suuntiin ja eri jakamoille, mutta vain yksittäisiä. Niiden läpikotainen tarkastelu ei ajallisesti olisi tehokasta, koska ongelmat voivat olla hyvin moniulotteisia ja todennäköisesti johtuvat pienistä yksittäisistä tekijöistä. Ongelmana voi olla esimerkiksi käyttäjän pistorasian ja modeemin välinen liian pitkä tai mahdollisesti viallinen puhelinjohto tai sen pistorasiaan kytkevä pistotulppa.

Jotta tulos olisi kuitenkin luotettavampi, jaettiin liittymien data vielä PJ-pari kohtaisesti nippuihin. Verkkotietojärjestelmästä selvitettiin, mitkä PJ-parit kulkevat mihinkin jakamoon, ja näistä nipuista poimittiin liittymät ylös. Tässä vaiheessa tutkittiin siis vain teletilan ja ensimmäisten jakamoiden väliä. Osa PJ-pareista ei kuitenkaan ollut käytössä, tai niissä oli hyvin vähän kuluttajaliittymiä, jolloin osia PJ-parinipuista ynnättiin tarkasteltavaksi yhdessä. PJ-pareja oli yhteensä noin 16000 kappaletta, joista kuluttajaliittymien osuus noin 1750 kappaletta. Niput eroteltiin tarkasti isojen jakamoiden osalta ja ennalta havaitun huonon jakamon osalta. Kun liittymät oli listattu tietyn PJ-parin nipun alle, kirjoitettiin skripti Microsoft PowerShell -komentotulkilla, jolla voitiin helposti hakea valmiiksi erotellut liittymät linjahistoriatyökalun taulukosta ja tallentaa liittymien tiedot näistä ni-

puista omiin taulukoihin. Näin saatiin helposti tarkasteltavaa ja vertailtavaa dataa. Skriptiesimerkki 1:ssä input.txt sisältää PJ-pareittain erotellut liittymät omilla riveillään. Linja historia-tiedostosta haettiin osumia Liittymä-sarakkeesta, ja `Select`-komennolla voitiin määritellä tarkemmin, mitkä sarakkeet haluttiin tulostaa osuneista riveistä.

```
$myinput=get-content 'C:\temp\input.txt'
Import-CSV 'C:\temp\LinjaHistoria.csv' -Delimiter ";" |
Where{$myinput -match $_.Liittymä} |
Select "Liittymä", "Laite", "Profiili", "Nopeus Down", "Nopeus Up", "Vaim.
Down", "Vaim. Up", "SNR Down", "SNR Up", "FEC", "CV" |
Export-Csv -notype 'c:\temp\output.csv' -Delimiter ";"
```

Skriptiesimerkki 1. Haluttujen rivien etsiminen csv tiedostosta input.txt:n syötteillä ja tulostus omaan csv tiedostoon.

Tutkimalla saatuja taulukoita voitiin todeta, että suurin osa huonosti toimivista liittymistä kulkee jakamon A läpi ja näitä oli muutamassa eri nipussa joita jakamolle meni. Tarkastelua tehtiin samalla tavalla kuin alkudatan jäsentämisessä, eli nopeuksien, virheilyn ja katkoksien vertailulla. Oli kuitenkin yksi poikkeava nippu, joka kulki myös jakamon A läpi, mutta kyseisessä nipussa olevat liittymät toimivat keskimäärin selkeästi paremmin kuin muissa. Näissä hyvin toimivissa liittymissä kokonaisreitin pituus oli samaa luokkaa kuin huonosti toimivissa. Tämä dokumentoitiin ylös mahdollisia jatkotoimenpiteitä varten. Skriptin toiminnassa havaittiin kuitenkin virhe, jolloin skripti haki ylimääräisiä liittymiä. Skripti haki esimerkiksi liittymän 12345, kun tarkoitus oli hakea 123456. Tämä johtui `-match` parametrasta. Tämä kuitenkin huomattiin kun datan oikeellisuutta tarkistettiin. Skriptin toiminta korjattiin niin, että `-match` -parametri korvattiin `-eq` -parametrilla, jolloin skripti hakee vain täysin täsmäävät osumat. Saadut uudet taulukot tarkastettiin uudelleen, jolloin voitiin todeta data luotettavaksi. Varsinaiset päätelmät eivät kuitenkaan muuttuneet.

Tämän jälkeen liittymien reittejä tutkittiin vielä maantieteellisesti kartalla. Karttajärjestelmästä voitiin tehdä vastaavia hakuja kuin verkkotietojärjestelmästä, mutta reitit saatiin tulostettua kartalle. Oletuksena järjestelmä piirtää suoran viivan ja lähtö- ja päätepisteen välille. Tässä tapauksessa lähtöpiste oli teletila ja päätepisteenä loppukäyttäjän asunto. Reittiä voitiin muokata myös näyttämään kaikki jakamot, joita matkalla oli, mutta työn kannalta oleellisinta olivat vain päätepisteet, jolloin voitiin rajata maantieteellinen alue jolle yhteydet osuvat. Tämä tehtiin siis vain huonosti toimiville liittymille, koska tässä vaiheessa muut alueet voitiin sulkea pois tutkittavien listalta skriptillä saatujen taulukoiden perusteella. Haut eriteltiin samalla tavalla kuin liittymien haku omiin nippuihin. Jokaisesta

huonosti toimivasta nipusta otettiin omat kuvansa kartalla. Mukaan otettiin myös jakamon A läpi kulkeva hyvä nippu, koska sen avulla voitaisiin päätellä tarkemmin, missä kohtaa kaapeleita vika mahdollisesti olisi.

Kuvista nähtiin, että hyvin toimivan nipun päätepisteet osuvat maantieteellisesti huonon nippujen päätepisteiden keskelle. Tämä kertoi sen, että vika ei ainakaan olisi ylipääntänsä kyseisen asuinalueen kaapeleissa, vaan lähempänä lähtöpäätä eli teletilaa. Kaapelien tunnuksia tarkastelemalla voitiin todeta että osa huonoista nipuista todellisuudessa kulkivat jakamolle A asti samoissa kaapeleissa, mutta siitä eteenpäin niiden reitit olivat erilaiset. Tämän takia ne eivät myöskään olleet numeroituna peräkkäisinä PJ-pareina teletilan jakamossa.

8.3 Vikamäärät ja kustannukset

Tähän mennessä oli siis voitu rajata alue, jossa on selkeästi alentunut liittymien toiminta muihin teletilan alueisiin verrattuna. Tämän varsinaisia vaikutuksia tutkittiin selvittämällä, onko kyseisen alueen asiakkaiden jättämien vikailmoitusten määrä suurempi kuin muilla alueilla. Tutkittavaksi aikaväliksi valittiin vuosi 2014. Vikatikettijärjestelmästä – jolla siis käsitellään asiakkaiden jättämät vikailmoitukset – haettiin kyseisen teletilan kaikki vikailmoitukset kuluttajaliittymistä vuodelta 2014. Tikettijärjestelmän yksittäinen tikketti sisältää myös liittymän reitin yksinkertaisessa taulukossa, josta voitiin tarkastaa nopeasti, mitä reittiä yhteys kulkee. Kaikista vuoden 2014 vikailmoituksista 27,2 % tuli aiemmin tutkitun huonon alueen sisältä. Vertailukohteena käytettiin kyseisen alueen liittymien määrää teletilan liittymien kokonaismäärään. Lukumäärät olivat keskiarvoja, koska liittymien määrä vaihtelee jatkuvasti johtuen esimerkiksi asukkaiden muutoista tai operaattorin vaihdosta, jolloin liittymiä irtisanotaan ja uusia avataan. Kyseisen alueen liittymien määrä kokonaismäärästä oli vain noin 14,3 %. Voitiin siis todeta korrelaatio alueen ja sen vikatiheyden välillä. Näin saatiin myös varmistus sille, että kyseisen alueen liittymät aiheuttavat enemmän töitä ja kustannuksia.

Vikailmoituksista tarkastettiin myös, minkälaisista vioista oli kysymys. Suurin osa oli pätkivistä tai hidastelevista yhteyksistä, ja näistä iso osa oli päätynyt kentälle tutkittavaksi asti. Vikailmoituksen siirtyessä asentajalle lähtee alihankkijan tietoliikenneasentaja tutki-
maan ja mittaamaan linjaa tarkemmin. Perusteet kentälle siirrosta tehdään aina toisen

tason laajakaistaviankorjauksessa. Useassa tapauksessa asentaja ei kyennyt paikantamaan mitään selkeää vikaa linjassa.

Ongelmana tässä tuli kuitenkin vastaan avojatkokset, jolloin asentaja ei ole voinut vaihtaa paria tietylle osalle reittiä, vaan yhteyteen käytetyn parin vaihtaminen tapahtui aina linjan loppupäästä, sellaisesta kohtaa, mistä löytyy ensimmäiset kytkentärimalle päätetyt parit. Käytännössä pari siis vaihtuu, mutta uusi pari on kuitenkin samassa nipussa vanhan parin kanssa. Käytännössä asentajan toimet yrityksestä huolimatta, eivät ole juuri-kaan tuottaneet tulosta, ja yhteyden toimivuuteen ei ole kyetty vaikuttamaan. Tämän arvioitiin aiheuttavan noin 10000 € turhia kustannuksia vuodessa näinkin pienellä alueella.

Tapauksissa, joissa lopullinen tulos on ollut turha, voidaan myös koko vikaprosessia ennen sitä katsoa turhana. Tämä koskee esimerkiksi asiakaspalvelussa puheluun käytettyä aikaa ja laajakaistaviankorjauksen toisella tasolla liittymän tutkimiseen etätyökaluilla kulutettua aikaa. Suuntaa antavina lukuina voidaan kuvitella, että ensimmäisellä tasolla eli asiakaspalvelussa, puheluun ja sen jälkitoimenpiteisiin menee keskimäärin 15 minuuttia, ja toisella tasolla asiantuntijan käyttämä aika tutkimiseen voi vaihdella laajalti riippuen ongelman tai vian laadusta. Keskimäärin voidaan kuvitella kuitenkin noin 30 minuutin käsittelyaika. Kuitenkin pätkivissä ja virheilevissä vikailmoituksissa linjaa yleensä seurailtaan muutosten tekemisen jälkeen, joka voi tarkoittaa vuorokauden seuranta. Tämä tarkoittaa, että vian käsittelijä voi käyttää ensin 30 minuuttia tutkimiseen, seurata vuorokauden, ja seurannan jälkeen tehdä vielä johtopäätökset, tarvitaanko lisätoimenpiteitä vai ei, mikä voi viedä toiset 30 minuuttia. Jos vikailmoitus on siirretty asentajalle tutkittavaksi ja korjattavaksi alkuperäisen 30 minuutin tutkinnan jälkeen, voi toiset 30 minuuttia kulua asentajan kanssa käytyihin puheluihin ja niiden jälkitöihin. Näin laskettuna esimerkiksi 50 turhaa vikailmoitusta, joiden prosessi ei ole parantanut tuotteen toimintaa, veisi aktiivista työaikaa noin 62,5 tuntia. Tämä olisi siis vain yhdeltä alueelta. Voidaan kuitenkin olettaa, että työssä tutkittu alue ei ole suinkaan ainoa, jossa on vastaava tilanne.

Tilaajan toimesta on tehty vastaavanlaisia tutkimuksia, mutta näissä on käytetty tiukoina raja-arvoina esimerkiksi vain nopeutta ja alueita on tarkasteltu vain esimerkiksi paikkakunnittain tai kaupunginosittain. Työssä tutkittu teletila ei tällä tavalla nousisi huonona alueena esiin, koska tarkastelua on tehty vain esimerkiksi vertaamalla tilattua nopeutta varsinaiseen toteutuneeseen nopeuteen. Vastaavana voisi pitää tämän työn alkudatan karsintaa, jonka pohjalta valittiin alue tarkemmin tutkittavaksi. Tällä tavalla tar-

kasteltuna muutaman tuhannen liittymän joukosta nousee esiin vain muutamia kymmeniä liittymiä. Kuitenkin työssä tehdyssä tutkimuksessa on voitu todentaa, että tällä tavalla toteutetut tutkimukset eivät kerro koko totuutta asioista, vaan alueita pitäisi tarkastella tarkemmin ja tarkasteltavia arvoja pitäisi käyttää muutakin kuin vain nopeutta.

9 Jatkotoimenpiteet

Kupariverkkoja ei enää nykyään uusita, koska kustannuksiltaan kuidun rakentaminen ei ole kovin paljoa kalliimpaa. Kuitenkin aina tarpeen mukaan verkkoa korjataan ja pieniä pätkiä saatetaan uusia, mutta ei kokonaisia alueita tai edes pidempiä reittejä. Kyseisellä alueella pitäisi kaapelia todennäköisesti uusia toista kilometriä teletilan ja jakamon A välistä, joka tulisi hyvin kalliiksi. Tämän takia jatkotoimenpiteet lähinnä keskittyvät tekniikan suomiin mahdollisuuksiin esimerkiksi virheenkorjauksen saralla.

9.1 Rakentaminen

Yhtenä vaihtoehtona tutkittiin kuitenkin tilaaja-alueen pienentämistä. Käytännössä tämä tarkoittaisi sitä, että huonoa aluetta lähemmäs rakennettaisiin uusi DSLAM. Esimerkiksi työssä tutkitun jakamon A paikalle tai läheisyyteen voitaisiin rakentaa uusi DSLAM, jolloin alueen linjojen pituudet lyhenisivät lähes kahdella kilometrillä. Tällä tavoin nykyisten 8 Mbit/s liittymien tilalle voitaisiin tarjota osittain 24 Mbit/s liittymiä ja 24 Mbit/s liittymien tilalle jopa 50 Mbit/s liittymiä VDSL-tekniikalla. Tällöin myös huonot kaapeliniput eivät olisi enää matkalla, koska työssä voitiin rajata, että jakamon A takana olevan asuinalueen kaapeleissa ei ole isompaa ongelmaa, vain osassa kaapeleita, jotka kulkevat jakamolle A nykyisestä DSLAM:stä. Näin saataisiin myös viankorjauksesta aiheutuvia turhia kuluja karsittua ja useita satoja asiakkaita nopeampien nopeuksien piiriin, mikä parantaisi kilpailukykyä alueella. Näin voitaisiin myös tarjota Triple Play -palveluita. Tällä olisi myös suorat vaikutukset asiakastytytyväisyyteen alueella.

DSLAM:n rakentamisen kustannuksista ei ole tarkkaa lukemaa, sillä jokainen kohde on erilainen. Kuidun kaivaminen on yleisesti ottaen kallista. Tässä tapauksessa kuitenkin tarkastettiin, miten alueella on jo kuitua kaivettu ja todettiin, että jakamon A lähellä on

mobiilitukiasema noin muutaman sadan metrin päässä linnuntietä, johon asti kuitu alueelle tulee. Kuidun kaivaminenkaan ei siis tässä olisi iso menoerä. Tällaiset investoinnit eivät kuitenkaan tapahdu hetkessä, joten niitä ei ole käsitelty tarkemmin tässä työssä.

9.2 Fyysisen kerroksen uudelleenlähetys

Toinen esitetty parantamisehdotus oli fyysisen kerroksen uudelleenlähetysten käyttöönotto myös pelkissä dataliittymissä. Normaalisti sitä käytetään vain liittymissä, joiden nopeus on vähintään 24 Mbit/s ja käytössä on esimerkiksi IPTV-palvelu, koska 24 Mbit/s:ä hitaampiin yhteyksiin ei ole tarjolla Triple Play -palveluita. Kuten jo aiemmin kerrottu, tekniikka havaitsee virheet fyysisellä tasolla ja tekee uudelleenlähetykset hyvin pienellä viiveellä, kun ei tarvita korkeamman tason korjausmenetelmiä. Tästä saattaisi hyötyä esimerkiksi runsaasta virheilystä ja pätkimisestä kärsivät liittymät. 8 Mbit/s:n dataliittymissä tätä ei ole käytössä, koska se on tarkoitettu vain esimerkiksi IPTV-palvelua varten. Tekniikka tarvitsee myös sitä tukevat laitteet molempiin päihin toimiakseen. Alueen DSLAM:t ovat siihen kykeneviä, mutta kaikki asiakkailta olevat päätelaitteet eivät. Osalle nykyisistä asiakkaista pitäisi siis toimittaa uudet modeemit ja liittymien konfiguraatioita pitäisi muuttaa. Konfiguraatio muutokset ovat helppo ja suhteellisen vaivaton operaatio, mutta modeemien lähetyksessä pitäisi yksitellen vielä selvittää, onko kyseiseen liittymään kyseiselle tekniikalle tarvetta. Vaikka kahden liittymän ongelma vaikuttaisi ulkoisesti samalta, voi vian syy olla hyvinkin erilainen. Toinen mahdollisuus olisi vain massana lähettää modeemit ja ajaa uudet konfiguraatiot. Tämä vaatisi omalta osaltaan pientä suunnittelua, koska asiakkaille pitäisi ilmoittaa tulevista muutoksista ja asiakkaiden pitäisi hakea uudet modeemit postista käyttöönsä, ennen kuin massa-ajoja konfiguraatioihin voitaisiin suorittaa. Todennäköisesti jouduttaisiin myös erikseen varaamaan ja tilamaan lähetettäviä modeemeja, koska kyseessä olisi iso erä laitteita.

Fyysisen tason uudelleenlähetystä päätettiin testata niin, että yhdelle asiakkaalle, joka oli jättänyt hiljattain vikailmoituksen liittymästään, lähetettiin sitä tukeva modeemi. Sopiva liittymä löytyikin nopeasti, ja asiakas oli halukas osallistumaan testaukseen. Liittymän linjalla tapahtui korjaamattomia sekä korjattuja virheitä. Viimeisin vikailmoitus oli muutama viikon takaa ja liittymä oli edellä tutkitulla huonolla alueella. Vikailmoituksen prosessin johdosta asentaja oli käynyt vaihtamassa paria, mutta kuten edellä selostettu, ei näillä toimilla ole ollut vaikutusta ja niin oli käynyt myös tässä tapauksessa. Tilaajan toimistolla varmuustestattiin yksi modeemi, joka lähetettiin asiakkaalle.

Kun asiakas oli saanut kytkettyä uuden modeemin linjaan, konfiguroitiin fyysisen tason uudelleenlähetys käyttöön. Jo vuorokauden seurannalla voitiin todeta parannuksia liittymän toimintaan. Päättymisen oli loppunut kokonaan, ja virheily oli vähentynyt tai loppunut kokonaan. CV-virheet eli linjan toimintaan rankemmin vaikuttavat virheet olivat hävinneet kokonaan, ja FEC-virheiden määrä oli laskenut huomattavat 65 %. Tilannetta tarkasteltiin vielä muutama vuorokausi myöhemmin ja tilanne oli pysynyt samanlaisena kun ensimmäisen vuorokauden kohdalla. Asiakkaalta myös tiedusteltiin puhelimitse liittymän toiminnasta ja palaute oli positiivista. Linjan muissa arvoissa, kuten nopeuksissa tai SNR-marginaaleissa, ei tapahtunut merkittävää muutosta.

9.3 Lomitus ja modulaatiopakotukset

Toinen testi, jota tehtiin muuttamalla konfiguraatioita, tapahtui valitsemalla kyseisen tutkitun alueen liittymien joukosta viisi satunnaista 8 Mbit/s liittymää, joissa oli erilaisia heikentymiä toiminnassa, esimerkiksi virheilyä, katkomista ja alhaisia nopeuksia. Normaalisti laitteet oletuskonfiguraatiolla nostavat linjan parhaaksi katsomallaan tavalla, eli yleensä käyttämällä uusimpia tekniikoita ja standardeja, kuten G.992.5 Annex M -modulaatiota. Lomitus ei myöskään oletuksena ole käytössä sen aiheuttaman viiveen takia, jonka vaikutus hitaammissa ADSL-liittymissä on suurempi. Konfiguraatioita muutettiin siten, että valituissa liittymissä pakotettiin modulaatioksi G.992.1-standardin G.DMT-modulaatio, jolloin taajuusalue rajoittui 1,1 MHz ja maksiminopeus 8 Mbit/s. Yksi liittymä jätettiin Auto Modelle, mutta lisättiin lomitus, ja muutamaan G.DMT-pakotettuun lisättiin myös lomitus.

Pelkillä lomituksella konfiguroidussa liittymässä, jossa lähtökohtaisesti tuli vain CV-virheitä ja tämän takia katkoksia, saatiin lomituksen avulla CV-virheiden määrää laskettua 30,4 %:lla ja katkoksien määrää reilusta kymmenestä vain yksittäisiin katkoksiin. Kahdessa liittymässä, joihin oli pakotettu vain pelkkä G.DMT-modulaatio ja joissa alussa molemmissa tuli CV- että FEC-virheitä, saatiin FEC-virheet, eli korjatut virheet häviämään kokonaan, ja CV-virheet laski keskimäärin 22 %:lla. Kahdessa liittymässä joihin konfiguroitiin sekä G.DMT-pakotus että lomitus, saatiin FEC-virheet häviämään kokonaan ja CV-virheet keskimäärin 77 %:sesti. Tämän johdosta mahdolliset virheilystä johtuvat katkokset saatiin karsittua pois kokonaan. Lomitus aiheuttaa myös pienen lisäviiveen liittymän toimintaan, samaan tapaan kuten esimerkiksi fyysisen tason uudelleenlähetys. Laajakaistatuotteille ei ole varsinaisesti määritelty mitään tarkempia vasteaikoja,

mutta maalaisjärjelläkin ajateltuna asiakkaan näkökulmasta tärkeämpää on luotettava ja vakaa yhteys joka ei katkeile, kun muutaman millisekunnin nopeammat vasteajat. Tutkittu aikaväli oli kaksi vuorokautta. Liittymien toimintaa seurattiin vielä työn edetessä, mutta käytännössä tilanne oli sama kuin kahden vuorokauden kohdalla.

Fyysisen tason uudelleenlähetystä, lomitusta ja modulaatiopakotuksia vertaamalla voitiin todeta, että parhaat tulokset saatiin fyysisen tason uudelleenlähetyksellä. Otanta oli kuitenkin tässä tapauksessa pieni, mutta tulos tässä tapauksessa oli odotettavissa, ainakin teoriatasolla.

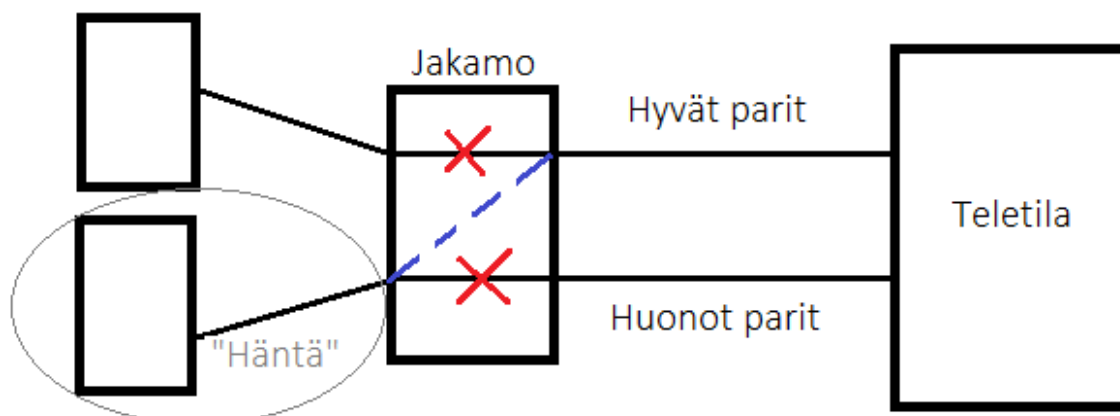
G.DMT-pakotuksella oli tietysti pieni vaikutus liittymän lähetysnopeuteen, koska se pienentää sille varattua taajuuskaistaa verrattuna G.992.5 Annex M -modulaatioon. Hyötyinä pienemmällä taajuusalueella kuitenkin saatiin esimerkiksi alemmalla vaimennuksella, jolloin kohinan vaikutus linjalla ei ole niin suuri, ja modeemi voi keskittää lähetystehonsa alemmille taajuuksille. Tämä näkyi myös selkeästi SNR-marginaalien arvojen nousuna. Nousua tapahtui keskimäärin noin kahden desibelin verran. Tapahtunut nopeuden lasku lähetysuuntaan oli pieni: keskimäärin noin 10 %. Päinvastaisesti taas kuitenkin kun lähetysnopeus heikkeni hieman, saattoi vastaanottonopeus parantua huomattavasti. Parannusta tapahtui liittymästä riippuen 5–35 %. Esimerkkinä lähtötilanteessa nopeudella 5/1 Mbit/s toiminut liittymä toimi muutoksen jälkeen 7 Mbit/s vastaanotto-suuntaan, 900 kbit/s lähetysuuntaan ja ilman katkoksia.

Konfiguraatiomuutoksia normaalisti käytetään aina yksittäisen vian tutkimisessa ja korjaamisessa. Näillä muutoksilla on kuitenkin joskus erilaisia vaikutuksia, jotka johtuvat linjan erilaisista häiriöistä. Esimerkiksi lomituksella ei aina voida vähentää tapahtuneita virheitä, jos virheet ovat laajoja, tai käytännössä siis pitkäkestoisia. Myös modulaatiopakotuksilla ei aina paranneta linjan toimivuutta. Kuitenkin kyseisellä alueella todettiin näillä muutoksilla positiivisia vaikutuksia. Otantaa tässä tapauksessa kuitenkin pitäisi laajentaa, jotta voitaisiin olla varmoja niiden vaikutuksista.

9.4 Hyvän kaapelinipun hyödyntäminen

Edellä mainitut olisivat pidemmän aikavälin ratkaisuja, joilla vaikutettaisiin suoraan koko alueeseen. Työssä löydettyä hyvää kaapelinippua pystyttäisiin hyödyntämään esimerkiksi yksittäiseen asiakasvikaan, mutta ongelmana tulee avoimien dokumentointi.

Avojatkoksia ei normaalitilanteissa katkaista ja kytketä muualle uudestaan, koska ne on dokumentoitu eri järjestelmiin ikään kuin staattisina reitteinä.



Kuvio 14. Jatkoksien katkaisu ja uusi liitäntä.

Periaatteessa kuitenkin asentaja voisi jakamon A kohdalla katkaista jatkokset niin, että ”alkupätkä” kaapelia siirrettäisiin huonosta nipusta hyvään nippuun ja loppumatka eli ”häntä” pysyisi samana (kuvio 14). Oireilevia liittymiä on kuitenkin huomattavasti enemmän, mitä vapaita pareja hyvässä nipussa, joten pitkällä aikavälillä ratkaisu ei olisi lopullinen, koska lopulta parit hyvästä nipusta loppuisivat kesken. Tätä ongelmaa ei olisi, jos parit olisivat päätetty jakamolla ristikytkentärimalle.

10 Kehitysideat ja yhteenveto

Tässä muodossa tehty toimintamalli voitiin katsoa olevan toimiva ja täyttävän työlle asetetut tavoitteet. Olemassa olevilla järjestelmillä ja datalla voitiin tehdä tarkempi analyysi tietystä maantieteellisestä alueesta ja selvitettiin, mitkä ovat ongelmia aiheuttavat tekijät. Tässä tapauksessa ongelma voitiin paikantaa tarkasti teletilan ja jakamon A väliin. Se, mikä kohta kaapelissa oli viallinen tai oliko kaapeli kokonaisuudessaan kaikkine jatkoksineen vian aiheuttaja, ei voitu selvittää tarkemmin. Tämä olisi vaatinut avojatkoksien ja mahdollisesti jatkoksien katkomista ja mittauksia näistä kohdista. Tämän pohjalta selvitettiin kuitenkin erilaiset mahdolliset jatkotoimenpiteet, joilla huonon kaapelin aiheuttamia ongelmia voitaisiin minimoida. Esimerkiksi fyysisen tason uudelleenlähetysten laajempaa käyttöönottoa dataliittymissä voisi harkita tulevaisuudessa.

Näin todennettiin myös, että tilaajan tähän mennessä tekemä karkeampi tutkintatyö ei ole tarpeeksi syväluotaava, että sillä saataisiin luotettavaa tietoa. Se ei ota huomioon tarpeeksi tai ollenkaan liittymissä tapahtuvaa virheilyä tai pätkintää. Karkeat tutkimukset ovat kuitenkin kevyitä ja tehokkaita, mutta luotettavuuden osalta ei saavuteta tarpeeksi hyvää tasoa. Työssä esitelty malli oli kovin raskas ja hidas, johtuen pienistä rajoitteista eri järjestelmissä. Näitä hitaita vaiheita optimoimalla ja käyttämällä tämän työn kaavaa ja järjestystä, tutkimuksesta pystytään saamaan enemmän irti hieman isommalla vaivalla. Optimointien tekeminen saattaisi tarkoittaa mahdollisia isoja muutoksia järjestelmien toimintaan tai johtaa kokonaan uusien järjestelmien kehitykseen tai esimerkiksi jonkin lisäosan tekemistä järjestelmiin.

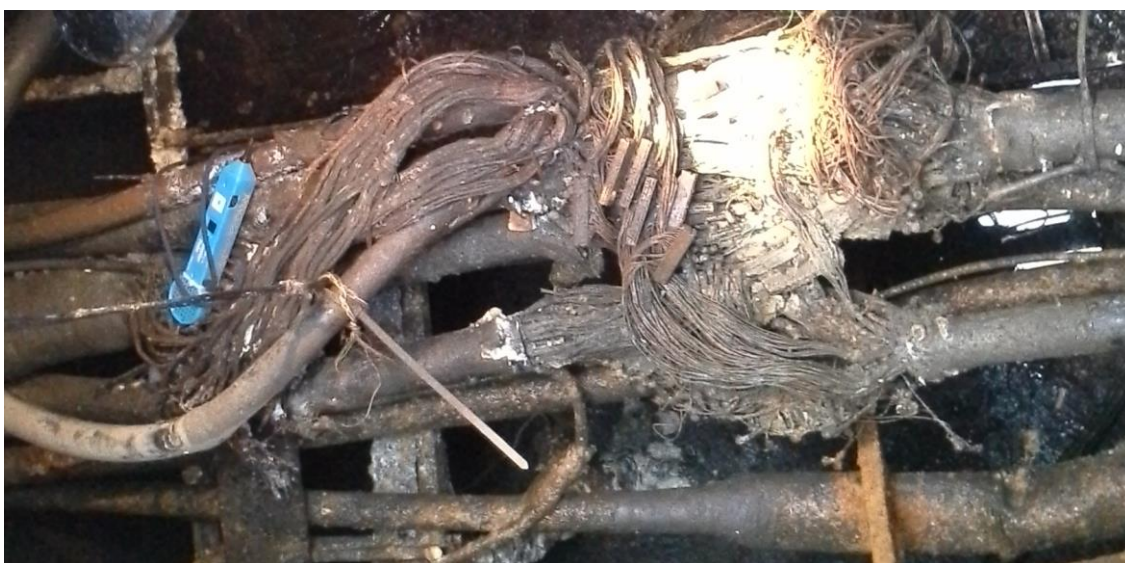
Toimintamallia voisi myös viedä eteenpäin esimerkiksi tekemällä tietyllä aikavälillä mahdollisiin ongelmakohtiin tarkistuksia käyttämällä linjahistoriatyökalun dataa. Kuparilinjat jatkavat kuitenkin vain vanhenemistaan, jolloin esimerkiksi muutaman kuukauden välein voisi tarkastaa, onko joillakin alueilla tapahtunut isoja muutoksia. Tämä tapahtuisi esimerkiksi vertaamalla keskiarvoja eri mittaushetkiltä. Se tarkoittaisi, että parhaimmassa tapauksessa tiettyjä toimenpiteitä voidaan suunnitella ja toteuttaa käytännössä ja estää ongelmaa kasvamasta tai poistaa se kokonaan. Tässä tapauksessa pitäisi siis ottaa nimenomaan huomioon virheilyt ja katkokset, ei vain nopeuksia. Nopeudet voivat hyvinkin pysyä samana, vaikka virheily ja katkokset lisääntyisivät. Linjahistoriatyökalun dataan voisi olla myös hyödyllistä lisätä esimerkiksi liittymän käyttämä modulaatio, josta voisi suoraan päätellä mahdollisia ongelmia tai väärienlaisia päätelaitteita.

Passiiviset siirtotiet, kuten kuparikaapelit, eivät osaa ilmoittaa omasta tilastaan ja muutoksista niiden toiminnassa kuten aktiiviset verkkolaitteet. Jos tarkastuksista tehtäisiin automaattisia, esimerkiksi asettamalla tietyt raja-arvot sallituille muutoksille, voisi kehittää myös ikään kuin aktiivisen ilmoitusjärjestelmän kuparikaapelien tilanteesta. Tämä toisaalta vaatisi ensin alueiden rajaamisen sopivan kokoisiin osiin. Tällä tavoin saataisiin kokonaisvaltainen järjestelmä, jolla pystyttäisiin ennaltaehkäisevästi tunnistamaan uhat ja kehittämään näille vastatoimenpiteet.

Työssä kehitetyllä toimintamallilla voitaisiin myös dokumentoida huonoja alueita, vaikka varsinaisiin toimenpiteisiin ei päädyttäisi. Näin voisi kartoittaa esimerkiksi alueet, joihin ajoittaisia tarkastustutkimuksia tehtäisiin. Dokumentoinnin ja tarkastusten avulla voitaisiin tietyillä alueilla vähentää turhien asentajakäyntien määrää, jos voidaan todeta, että asentajan tekemällä työllä ei välttämättä saavuteta parannusta, jolloin voitaisiin ottaa

käyttöön mahdolliset etukäteen suunnitellut muut toimenpiteet. Proaktiivisuudella nimenomaan viitataan, että poistetaan ongelmat ennen kuin niillä on ollut varsinaista asiakasvaikutusta ja että ne aktiivisesti hoidetaan ja selvitetään kuntoon.

Työn loppuvaiheilla tuli esiin myös mahdollinen tarkennus vian todelliseen aiheuttajaan. Työn pohjalta tehtyjen paikallisten kartoitusten perusteella löydettiin yksi telekaivo, joka oli täytynyt vedestä ja aiheuttanut kuvion 15 mukaiset hapettumat. Kyseisessä kaivossa oli 1200-parinen haarajatkos, joka oli siis ollut täysin veden peittämä.



Kuvio 15. Kertaalleen kastunut avohaarajatkos.

Kaivo kuivattiin, mutta vesi oli jo tehnyt tehtävänsä kaapeleille, jotka olivat hapettuneet täysin. Tutkitun huonon alueen liittymät kulkivat tämän jatkoksen läpi, mutta kuivaamisella ei juurikaan ollut vaikutusta. Tätä tarkasteltiin, kun liittymistä tehtiin uudet taulukot noin viikko kuivauksen jälkeen. Todennäköisesti kyseinen vesivahinko on vaikuttanut alueen liittymien toimintaan, mutta tuskin yksinään selittää koko alueellista ongelmaa. Työssä huomioon otettu hyvä kaapelinippu ei kulkenut saman kyseisen kaivon läpi, joten se oli säästynyt vesivahingolta. Koska kyseessä oli haarajatkos, oli liittymiä lähtenyt myös toiseen suuntaan kuin jakamolle A. Näitä tarkasteltaessa todettiin, että toiseen suuntaan lähtevissä liittymissä linjanpituudet olivat lyhkäisempiä kuin jakamolle A lähtevissä. Nämä tarkistettiin vertailemassa kaapelinumeroiteja ja niiden pituuksia. Alueen tarkempi tutkinta jatkuu tämän työn jälkeenkin.

Reittiä oli siis tutkittu useita kymmeniä kertoja vikailmoitusten johdosta, mutta kaivon kastuminen oli jäänyt huomaamatta. Kyseisellä reitillä vastaavia kaivoja ja paikkoja on toistakymmentä. Alihankkijoita voisi tämän takia ohjeistaa tutkimaan linjaa tarkemmin, jos vastaavanlaista ongelmaa on syytä epäillä. Periaatteessa tällaiset ongelmat pitäisi näkyä asentajien mittauslaitteilla.

Tilaaajalle työn merkitys näkyy selkeästi mahdollisten turhien kustannusten vähentymisenä ja tiettyjen viankorjaustasojen työn keventymisenä ja turhien vikojen vähentymisenä. Tämän johdosta palvelutasot parantuisivat kaikille asiakkaille useammalla tasolla, kun turhat tai proaktiivisella toiminnalla korjattavissa olevat viat eivät aiheuta enää hukkaan kulutettua työaikaa eri vianselvitys ja korjausasteilla.

Toimenpiteillä saadut muutokset parantavat verkon toimivuutta, jolloin verkon kuorma ja turha liikenne vähenee, kun virheilyä ja katkoksia saadaan karsittua. Asiakkaille tämä näkyy parempina yhteyksinä, joka parantaa heidän tyytyväisyyttään tuotteeseen, jolla voi olla myös vaikutusta esimerkiksi tulevaisuuden valintoihin heidän ostaessaan laajakaistatuotteita käyttöönsä. Jos asiakas on saanut hyvän toimivan tuotteen ja toimivaa palvelua, on todennäköistä, että hän suosittelee tuotteita ja palveluita myös muille ja jatkaa itse myös näiden käyttäjänä. Näin on siis parannettu myös tilaajan brändiä.

Lähteet

- 1 ADSL Technology and DMT. Verkkodokumentti. Kitz. <http://www.kitz.co.uk/adsl/adsl_technology.htm>. Luettu 24.1.2015.
- 2 Interleaving Explained. Verkkodokumentti. Kitz. <<http://www.kitz.co.uk/adsl/inter-leaving.htm>>. Luettu 25.1.2015.
- 3 xDSL Broadband Data – Error Correction. Verkkodokumentti. Kitz. <http://www.kitz.co.uk/adsl/error_correction.htm>. Luettu 26.1.2015.
- 4 Sana-artikkeli. 2015. Verkkodokumentti. <<http://fi.wikipedia.org>>. Luettu 24.1.2015.
- 5 ITU-T G.992.1. 2000. Verkkodokumentti. <https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.992.1-199907-1!!PDF-E&type=items>. Luettu 25.1.2015.
- 6 Gordon J. Reesor. 2002. 10 Reasons to Choose DMT for VDSL Designs. Verkkodokumentti. <http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1205444>. Luettu 26.1.2015.
- 7 Jokaisella on oikeus puhelin- ja internetyhteyteen. 2014. Verkkodokumentti. Viestintävirasto. <<https://www.viestintavirasto.fi/internetpuhelin/oikeuspuhelin-jalaaja-kaistaliittymaan.html>>. Luettu 30.1.2015.
- 8 Tiedonsiirtopalveluiden kehitys 2013. 2014. Verkkodokumentti. Viestintävirasto. <<https://www.viestintavirasto.fi/tietoatoimialasta/katsauksetjaartikkelit/internetja-puhelin/tiedonsiirtopalveluidenkehitys2013.html>>. Luettu 30.1.2015.
- 9 Rahul Garg, Sunita Meena, Hemant Samdani, Patrick Duvaut. 2008. Impulse Noise Protection Initiatives in VDSL2 Systems. Verkkodokumentti. <http://www.ncc.org.in/download.php?f=NCC2008/2008_B2_3.pdf>. Luettu 1.3.2015.
- 10 Kaj Granlund. 2007. Tietoliikenne.
- 11 Tarmo Anttalainen. 2012. Introduction to Data Communication Theory.
- 12 Asynchronous Transfer Mode Switching. 2012. Verkkodokumentti. Cisco. <http://docwiki.cisco.com/wiki/Asynchronous_Transfer_Mode_Switching>. Luettu 30.1.2015.
- 13 Raimo Lehtiniemi. 2005. Haja-asutusalueen laajakaista yhteyksien toteutus. Verkkodokumentti. <<http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/10341/TMP.objres.239.pdf>>. Luettu 27.1.2015.

- 14 Kuvio 12. <<http://i.ytimg.com/vi/6FLezDaxRvY/0.jpg>>. Haettu 18.3.2015.
- 15 ITU-T G.992.3. 2009. Verkkodokumentti. International Telecommunication Union. <https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.992.3-200904-!!!ZPF-E&type=items>. Luettu 26.1.2015.
- 16 ITU-T G.992.5. 2009. Verkkodokumentti. International Telecommunication Union. <https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.992.5-200901-!!!ZPF-E&type=items>. Luettu 27.1.2015.
- 17 ITU-T G.994.1. 2012. Verkkodokumentti. International Telecommunication Union. <https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.994.1-201206-!!!PDF-E&type=items>. Luettu 27.1.2015.
- 18 Nikil Jayant. 2005. Broadband Last Mile: Access Technologies for Multimedia Communications.
- 19 Internode. Verkkodokumentti. <http://www.internode.on.net/residential/adsl_broadband/easy_broadband/performance/>. Luettu 28.1.2015.
- 20 Speed Guide FAQ. Verkkodokumentti. Speed Guide. <<http://www.speedguide.net/faq/how-does-signal-attenuation-relate-to-wire-gauge-373>>. Luettu 28.1.2015.
- 21 Viestintäviraston kannanotto laajakaistan tiedonsiirtonopeuden vaihteluvälin koh-
tuullisuudesta. 2012. Verkkodokumentti. Viestintävirasto. <[https://www.viestinta-
virasto.fi/attachments/Viestintavirasto_989_9230_2011_14.10.2011.pdf](https://www.viestinta-
virasto.fi/attachments/Viestintavirasto_989_9230_2011_14.10.2011.pdf)>. Luettu
30.1.2015.