

Iiro Jussilainen

Valokuitujen tietoturvasuus

Opinnäytetyö
Tieto- ja Viestintätekniikka

2018



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tekijä/Tekijät Iiro Jussilainen	Tutkinto Insinööri (AMK)	Aika Marraskuu 2018
Opinnäytetyön nimi Valokuitujen tietoturvallisuus		35 sivua 6 liitesivua
Toimeksiantaja Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulu Oy		
Ohjaaja Vesa Kankare		
Tiivistelmä <p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia valokuitujen fyysistä tietoturvaa sekä luoda malliesimerkki verkosta, jossa käytössä olevasta valokuidusta olisi mahdollista kaapata dataa aiheuttamatta näkyvää häiriötä yhteydelle. Työllä pyrittiin tutkimaan valokuitujen tietoturvaa yleisellä tasolla, sekä hyödyntämään valokuitujen fyysistä haavoittuvuutta liikenteen tarkkailuun.</p> <p>Valokuitujen hyödyntäminen tietoverkkoyhteyksissä yleistyy kasvavalla vauhdilla, jolloin riittävä ymmärrys valokuitujen haavoittuvuudesta on tärkeää tietoturvariskien välttämiseksi. Työ korostaa valon vuotamista olemassa olevana riskinä, sekä osoittaa, kuinka tätä voidaan hyödyntää datan kaappaamisessa käyttämällä asianmukaisia fyysisiä työkaluja ja ilmaisjakelussa olevia ohjelmia.</p> <p>Työn alkuvaiheessa tutkittiin valokuitujen rakennetta, niiden toimintaperiaatetta, valokuitukaapeleiden variaatioita sekä niiden toimivuuteen vaikuttavia tekijöitä. Työssä tutkittiin myös saatavilla olevaa tietoa valokuitujen tietoturvallisuudesta sekä tiedossa olevista tapauksista, joissa valokuitujen haavoittuvuutta on hyödynnetty tietomurtojen suorittamiseen.</p> <p>Työlle asetetut tavoitteet saavutettiin onnistuneesti. Suoritetun tutkimuksen ansiosta malliesimerkki valokuitujen fyysisestä haavoittuvuudesta saatiin toteutettua. Valokuidussa kulkevaa dataa pystyttiin tarkkailemaan, tallentamaan myöhempää käyttöä varten, sekä valokuidussa kulkevaa suoratoistettua videota kyettiin toistamaan verkon ulkopuolisella päätelaitteella.</p>		
Asiasanat tietoturva, optiset kuidut, tietomurto, tietoverkot		

Author (authors)	Degree	Time
Iiro Jussilainen	Bachelor of Engineering	November 2018
Thesis Title		
Fiber Optic Security		35 pages 6 pages of appendices
Commissioned by		
South-Eastern Finland University of Applied Sciences		
Supervisor		
Vesa Kankare		
Abstract		
<p>The purpose of this thesis was to study the physical security of optical fiber and to create a model example of a network where the optical fiber could be exploited to capture data without causing visible interference to the connection. The aim was to study optical fiber security at general level and to use the physical vulnerability of optical fibers for traffic monitoring.</p> <p>The use of optical fibers in computer networks is growing at an increasing rate, so an understanding of the vulnerabilities of optical fibers is important to avoid information security risks. The thesis highlights the leakage of light as a significant risk and demonstrates how this can be exploited to capture data using appropriate physical tools and free software.</p> <p>During the initial phase of the study, the structure of optical fibers, their operating principles, variations in fiber optic cables and factors affecting their functionality were studied. Available information on the security of optical fibers, as well as information on known cases where fiber optic vulnerability has been exploited to carry out data breaches was researched.</p> <p>The objectives set for the thesis were successfully achieved. As a result of study, a model example of the physical vulnerability of fiber optics was achieved. It was possible to monitor the fiber-optic data and store it for later use. It was also possible to view a video stream traveling in the fiber-optic cable on an off-network workstation.</p>		
Keywords		
information security, optical fibers, data break-in, information networks		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	VALOKUITUVERKOT.....	8
2.1	Perustoiminta.....	9
2.2	Kaapelityypit	10
2.2.1	Yksimuotokuitu.....	11
2.2.2	Monimuotokuidut.....	12
3	AALLONPITUUDET.....	13
4	OPTISET TRANSCEIVERIT.....	14
4.1	SFP-moduuli.....	14
4.2	XFP-moduuli.....	14
4.3	SFP+ -moduuli.....	15
5	DISPERSIO	15
5.1	Muotodispersio	16
5.2	Materiaalidispersio.....	16
5.3	Aaltojohtodispersio	17
5.4	Kromaattinen dispersio	17
5.5	Polarisaatiomuoto dispersio.....	17
6	VALOKUITUJEN TIETOTURVA.....	18
6.1	Tunnetut tietomurrot	18
6.2	Optical TAP	19
6.3	Clip-on coupler.....	20
6.4	Suora kuituliitos	21
7	KÄYTÄNNÖN TYÖ.....	21
7.1	Ensimmäinen laitekokonaisuus.....	22
7.2	Toinen laitekokonaisuus	22
7.3	Videon suoratoisto	23
7.4	Valokuitujen kuoriminen.....	24

8	VIDEON KAAPPAUS JA TALLENNUS	26
9	JOHTOPÄÄTÖKSET	30
	LÄHTEET.....	33

KUVALUETTELO

LIITTEET

Liite 1. Suoratoisto VLC Media Playerillä

Liite 2. Videon tallennus Wireshark 1.10.2:lla

KÄSITTEET

dB: Logaritminen arvo, kuvaa kahden eri tehon suhdetta toisiinsa.

Dispersio: Valopulssin leviäminen kromaattisen dispersion kautta.

Kahtaistaittuminen: Valonsäteen taittuminen kahdeksi säteeksi.

Kaistanleveys: Datan siirtokapasiteetti, käytettävissä oleva taajuuskaista.

Mediamuunnin: Muuntaa optisen signaalin elektroniseksi signaaliksi.

Multicast: Datan lähetys yhdestä kohteesta usealle vastaanottajalle.

Signaali: Dataa kuljettava pulssi.

Taitekerroin: Aineen optinen tiheys.

Transceiver: Komponentti, joka vastaanottaa ja lähettää optista dataa.

Tehovaimennus: Valotehon heikkeneminen.

Verkkokytkin: Mahdollistaa kommunikaation lähiverkon laitteiden välillä.

µm: Mikrometri, pituuden yksikkö.

1 JOHDANTO

Zion Market Researchin julkaiseman raportin mukaan valokuitujen markkina-arvo oli noin 2,75 miljardia Yhdysvaltain dollaria vuonna 2016, ja sen odotetaan kasvavan 3,72:een miljardiin Yhdysvaltain dollariin vuoteen 2022 mennessä. Kasvu kertoo valokuituverkkojen kasvavasta kysynnästä telekommunikaatiossa sekä yrityskäytössä. Kasvun odotetaan olevan merkittävää erityisesti Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa, joista jälkimmäisessä valokuituja käytetään laajasti jo teollisuusverkoissa sekä terveydenhuollossa (Zion Market Research 2018.)

Opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia valokuitujen toimintaa sekä niiden fyysisistä turvallisuutta tietoverkkoyhteyksissä sillä vastaavia tutkimuksia löytyy rajatusti. Tämän tutkimuksen lisäksi työn tavoitteena on toteuttaa ja dokumentoida demonstraatio, jossa datan tarkkaileminen, kaappaaminen sekä tallentaminen käytössä olevasta valokuituyhteydestä olisi mahdollista toteuttaa häiritsemättä varsinaista yhteyttä. Olemassa olevat ja vapaasta jakelusta löytyvät demonstraatiot ovat joko puutteellisia tai huonolaatuisia, mikä loi tarpeen paremman demonstraation kehittämiseksi.

Tämä opinnäytetyö toteutettiin kehittämistutkimuksena hyödyntäen kokeellista tutkimusta. Tutkimuksella pyrittiin aikaansaamaan muutos ongelmaan, jonka käyttökelpoisen demonstraatiomateriaalin puutos on luonut. Tutkimuksella pyritään luomaan selkeä käsitys valokuitujen fyysisestä tietoturvallisuudesta ja miten haavoittuvuus käytännössä ilmenee. Lisäksi luodaan prosessi, jota seuraamalla fyysinen haavoittuvuus voidaan todentaa olemassa olevaksi (Kananen 2012.)

Opinnäytetyön teoriaosuudessa käsitellään valokuitujen toimintaa, tähän vaikuttavia tekijöitä, sekä luodaan yleiskatsaus valokuitujen fyysiseen tietoturvaan. Lisäksi osuudessa käsitellään lyhyesti julkiseen tietoon tulleita valokuituihin pohjautuvia tietomurtoja, sekä työn kannalta olennaisia valokuituverkkojen monitoroinnissa käytettäviä työkaluja ja järjestelmiä.

2 VALOKUITUVERKOT

Yleisimmässä muodossaan valokuituverkot koostuvat lähettimestä, kommunikaatiokanavasta, sekä vastaanottimesta. Lähetin muuntaa elektroniset signaalit optisiksi signaaleiksi, jotta ne voidaan lähettää kommunikaatiokanavaa myöten vastaanottimelle. Vastaanotin vuorostaan muuntaa optiset signaalit jälleen elektroniseksi. Kommunikaatiokanavan tehtävä optisissa verkoissa on kuljettaa optiset signaalit pienimmällä mahdollisella häiriöllä. Valokuitukaapeleita käytetään tähän tehtävään, sillä niiden ydin on tehty lasista, joka kykenee kuljettamaan valoa aiheuttaen vain pientä tehohäviötä (Agrawal 2010, 18.)

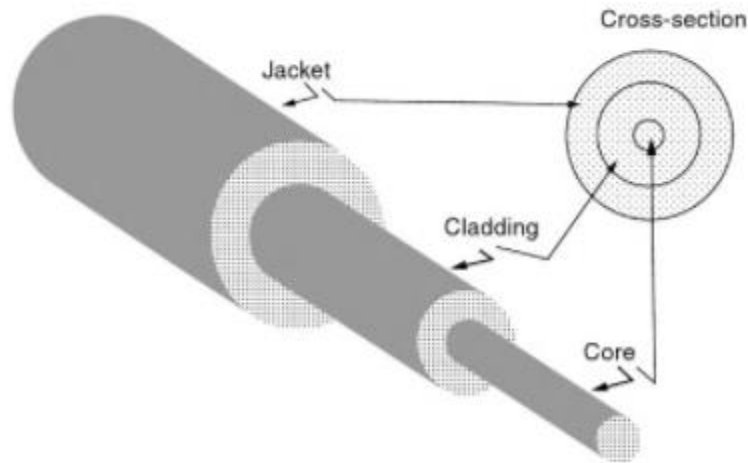
Tarve suuremmille tiedonsiirtonopeuksille kasvaa jatkuvasti, eivätkä perinteiset kupari- ja koaksiaalikaapelit kykene enää vastaamaan kysyntään tarpeeksi tehokkaasti. Valokuidut tarjoavat suurempia tiedonsiirtonopeuksia perinteisiin kuparikaapeleihin verrattuna, jonka lisäksi valokuidut voivat kuljettaa dataa noin 100 kilometriä kerrallaan ennen kuin signaalia täytyy vahvistaa. Perinteisessä kuparikaapelissa signaali kulkeutuu noin 1,9 kilometriä, kunnes signaalia täytyy vahvistaa. Valokuiduissa ei ole metallia jolloin valokuidut eivät johda sähköä poistaen mahdollisuuden elektromagneettiselle häiriölle. Tämä mahdollistaa kuitujen asentamisen alueille, joilla kuparia ei voi häiriöriskin takia käyttää (Witcher 2005, 4-5.)

Vähimmillään valokuitukaapelit koostuvat kolmesta pääosasta. Ydin (core), ydintä suojaava kuori (cladding) sekä päällyste (coating). Kaapelin ydin on lasinen säie, joka kulkee koko kaapelin pituudella, toimien kulkuväylänä optisille signaaleille (Kuva 1) (Belden Inc. 2016.)

Kuori on suojakerros joka ympäröi ydintä. Kuoren taitekerroin on pienempi kuin ytimen, jonka vuoksi optiset signaalit heijastuvat kuoresta takaisin kohti ydintä taaten näin kokonaisuheijastumisen ja signaalien kulun eteenpäin valokuitukaapelissa (The Fiber Optic Association s.a. a.; Belden Inc. 2016.)

Valokuitukaapeleiden ydintä suojaavan kuoren materiaali voi olla lasia, jonka taitekerroin on ydintä pienempi. Ydin sekä kuori voidaan valmistaa myös muovista tehden niistä taipuisia, helpompia käsitellä ja halvempia hankkia. Vaikka kaapelit, joiden ydin ja kuori ovat valmistettu muovista tarjoavatkin vähemmän

kaistanleveyttä sekä kärsivät suuremmasta tehohäviöstä lasia hyödyntäviin kaapeleihin verrattuna, niiden toimintakyky on tarpeeksi tehokas tehdäkseen niistä houkuttelevia valintoja verkkoihin joissa kaistanleveysvaatimukset eivät ole korkeita (Al-Azzawi, 2006, 5–6.)



Kuva 1. Valokuitukaapelin rakenne (Al-Azzawi, 2006.)

Kaapelin uloin kerros on suojaavaa PVC-muovia, jonka tarkoituksena on suojata ydintä ja kuorta suoralta fyysiseltä vahingolta. Tämän lisäksi suojaavan kerroksen tehtävänä on tarjota lisäsuojaa taitumiselta, kulumiselta ja hankaukselta sekä ympäristövaaroilta kuten kuumuudelta tai kosteudelta (Al-Azzawi, 2006, 5–6.)

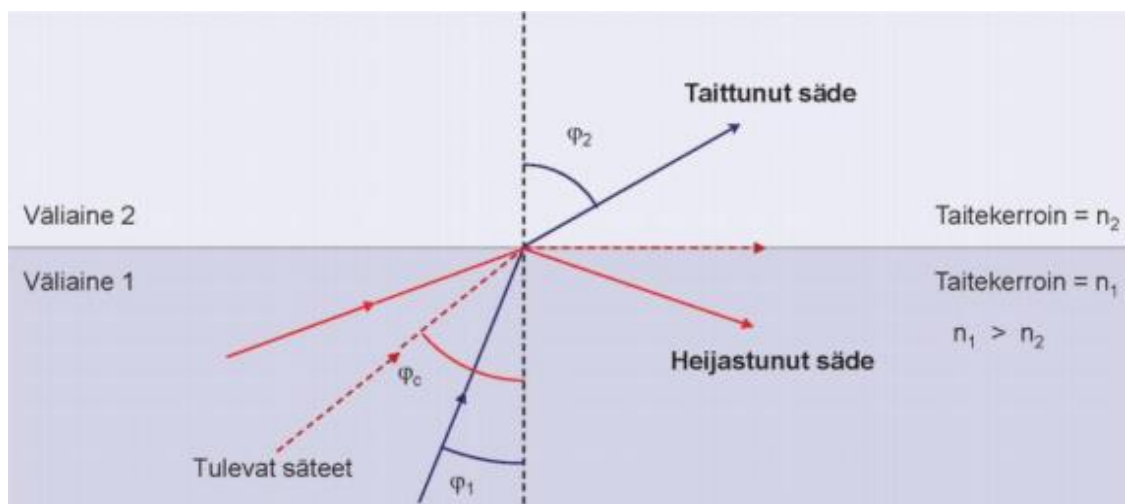
2.1 Perustoiminta

Valokuitukaapelin perustoiminta perustuu valon taittumis- ja heijastumlakiin, eli Snellin lakiin. Tämä perustuu tapaan, jolla valo heijastuu kohdatessaan kahden aineen rajapinnan. Kun valon säde kohtaa aineen rajapinnan, kuten valokuidun ytimen ja kuoren rajan, materiaalien eriävät taitekertoimet saavat säteen heijastumaan muuttuneessa kulmassa Snellin lain mukaisesti.

$$n_1 \sin\varphi_1 = n_2 \sin\varphi_2 \quad (1)$$

jossa	n_x	väliaineen taitekerroin	[-]
	φ_x	kulma	[°]

Valonsäde kulkee aineessa 1, jonka taitekerroin on n_1 , kulmassa φ_1 . Kun säde kohtaa kahden aineen rajan siirtyen aineeseen 2, jonka taitekerroin on n_2 , säde taittuu kulmassa φ_2 . Kun säteen tulokulmaa muutetaan suuremmaksi, valo taittuu rajan myötäiseksi. Kulmaa edelleen muutettaessa säde heijastuu kokonaisuudessaan takaisin ensimmäiseen aineeseen. Ilmiö tunnetaan kokonaisheijastuksena, ja kulma φ_c jossa ilmiö tapahtuu, tunnetaan kriittisenä kulmana (Kuva 2) (Nestor Cables 2017, 16.)



Kuva 2. Valon taittuminen Snellin lain mukaisesti (Nestor Cables 2017, 16)

2.2 Kaapelityypit

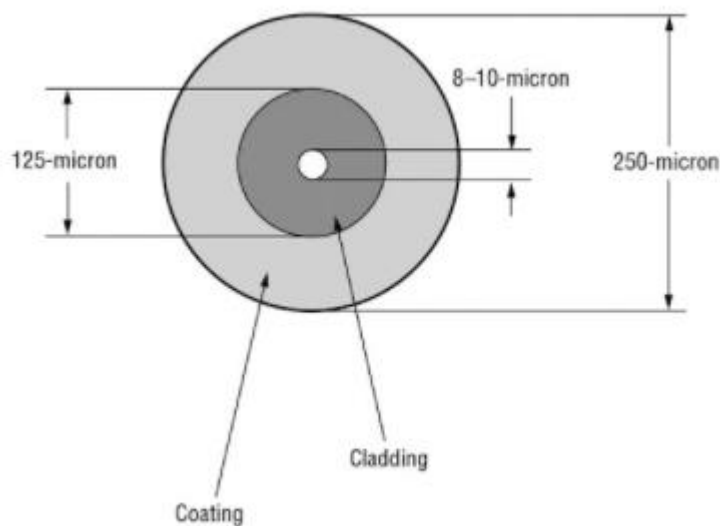
Suurin erottava tekijä kaapelityyppien välillä riippuu kaapelin sisällä kulkevan kuidun muototyypistä, jolla tarkoitetaan reittiä, jonka mukaisesti valo heijastuu kuidun sisällä. Valokuitujen päämuotoja ovat yksimuoto- ja monimuotokuitu. Kuidun tyyppi vaikuttaa siihen, kuinka laaja tulokulma valonsäteellä voi olla, kun se siirtyy valokuituun. Kuitutyyppi vaikuttaa myös valonsäteen kulkureittiin kuidun sisällä, ja kuinka monta muotoa kuidussa voi kulkea kerrallaan (Oliviero & Woodward 2014, 263.)

2.2.1 Yksimuotokuitu

Yksimuotokuitujen ydin on halkaisijaltaan yleisesti 8–10 μm , ja ytimen ja kuoren välinen taitekerroin on suuri. Tästä johtuen käytetyllä aaltopituudella kaapelissa kulkee vain yksi muoto (Kuva 3) (Nestor Cables 2017, 16.)

Jotta kaapelin koko pysyisi käyttökelpoisena, yksimuotokuidun ydintä suojaava kuori on noin 15 kertaa ydintä paksumpi, halkaisijaltaan keskimäärin 125 μm . Yksimuotokuituja suositaan pitkien välimatkojen yhteyksissä, sekä runkoverkkojen muodostamisessa, sillä yksimuotokuitujen tehohäviö on hyvin pientä, yleisesti alle 0,35 dB kilometriltä. Vähäisestä tehohäviöstä johtuen yksimuotokuiduilla on mahdollista saavuttaa suuria tiedonsiirtonopeuksia pitkillä välimatkoilla (Oliviero & Woodward 2014, 263–264.)

Yksimuotokuitujen tehokkuuteen pitkillä välimatkoilla vaikuttaa keskeisesti myös muotodispersio puute, jota esiintyy erityisesti monimuotokuiduissa. Muotodispersio vaikuttaa signaalin kulkuun kuidun ytimessä, saaden sen heijastumaan useammin, jolloin signaali kulkee pidemmän ajan lähettimestä vastaanottimeen (Mathur 2018.)



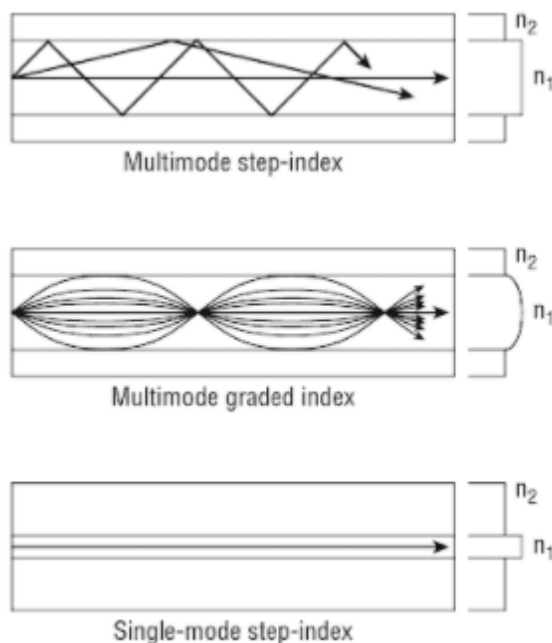
Kuva 3. Yksimuotokuidun poikkileikkaus (Oliviero & Woodward 2014, 264)

2.2.2 Monimuotokuidut

Monimuotokuidun ydin on halkaisijaltaan suurempi kuin yksimuotokuidun, joko $50\ \mu\text{m}$ tai $62,5\ \mu\text{m}$, josta johtuen kuituun saapuvan valon tulokulma voi vaihdella enemmän kuin yksimuotokuidussa. Tästä johtuen monimuotokuitu on helpompi kohdistaa lähettimeen, sekä niiden valmistus on yksinkertaisempaa ja halvempaa. Monimuotokuiduissa voidaan käyttää myös tehottomampia ja halvempia valonlähteitä, kuten LED-, tai VCSEL-lähttimiä (Vertical Cavity Surface-Emitting Laser). Tästä syystä monimuotokuituja suositaan rakennusten sisäisissä lähiverkoissa, joissa pitkät välimatkat eivät ole ongelma (Oliviero & Woodward 2014, 263–264.)

Monimuotokuidut voidaan jakaa kahteen eri tyyppiin ytimen taitekerroinprofiilien mukaan, jotka vaikuttavat tapaan jolla valo kulkee kuidussa. Nämä kuituprofiilit ovat askeltaitekertoiminen (Step-Index) sekä asteittaistaitekertoiminen (Graded-Index) (Woodward 2014. 71–73.)

Askeltaitekertoimisessa kuidussa ytimen taitekerroin ei muutu, vaan pysyy samana ytimen koko halkaisijan mitalta. Ydintä suojaavan kuoren taitekerroin on hieman ytimen omaa pienempi, joka johtaa kaiken kuoreen osuvan valon takaisin heijastumiseen, pois lukien kriittisessä kulmassa saapuvat valonsäteet (Kuva 4) (Woodward 2014. 71–73.)



Kuva 4. Kuidun taiteprofiilit (Woodward 2014, 72)

Tämän seurauksena osa valonsäteistä heijastuu useammin kuidussa kuin toiset, jolloin osa säteistä matkaa kuidussa pidemmän matkan, jolloin signaalit voivat saapua vastaanottiin eri järjestyksessä kuin missä ne lähtivät tai liittymä keskenään aiheuttaen tiedon sekoittumista ja johtaen tiedon käyttökelpottomuuteen. Ilmiö tunnetaan muotodispersiona, joka rajoittaa askeltaiteker-toimisen kuidun käyttökelpoista kaistanleveyttä (Woodward 2014. 71–73.)

Asteittaistaiteker-toimisen kuidun ydin koostuu useasta kerroksesta, joiden taitekerroin pienenee siirryttäessä kauemmaksi ytimen keskiosasta. Valon kulkiessa ytimessä sen kulkureitti taittuu hieman sen saavuttaessa uuden kerroksen, jonka taitekerroin on pienempi. Samalla kun valo siirtyy korkeamman taitekerroimen omaavasta materiaalista matalamman taitekerroimen omaavaan materiaaliin, sen kulkunopeus kasvaa (Woodward 2014. 71–73.)

Prosessi toistuu, kunnes valo saavuttaa ydintä suojaavan kuoren, jolloin se heijastuu takaisin kohti ytimen keskiosaa taittuen ja hidastuen kunnes se saavuttaa ytimen korkeimman taitekerroimen omaavan materiaalin, ytimen keskiosan. Tällöin valo jälleen taipuu, ja aloittaa prosessin uudestaan matkaamalla kohti ytimen ulointa reunaa, muodostaen aaltomaisen reitin (Woodward 2014, 71–73.)

3 AALLONPITUUDET

Valokuiduissa käytetään infrapunavaloa, joka toimii 850 nanometrin, 1 300 nanometrin tai 1 550 nanometrin aallonpituusalueilla, jotka soveltuvat käytettäväksi valokuiduissa niiden vähäisen tehovaimennuksen vuoksi. Vaimennusta aiheuttavat päätekijät ovat valon absorptio sekä valon sironta. Valon imeytyminen tapahtuu tietyillä aaltopituuksilla valon imeytyessä pieniin määriin vesihöyryä valokuidun lasiytimessä. Näitä aaltopituuksia kutsutaan termillä ”water band”, joka viittaa aaltopituuksiin joilla vedestä aiheutuva imeytyminen on yleisintä. Sironta aiheutuu valon törmätessä erinäisiin atomeihin ja molekyyliin lasin rakenteessa. Sironnan yleisyys riippuu vahvasti aaltopituudesta, sillä pidemmät aaltopituudet kohtaavat sirontaa vähemmän kuin lyhyemmät aaltopituudet (The Fiber Optic Association s.a. b.)

Valokuituyhteyksissä käytettävät aaltopituudet määritellään näiden kahden tekijän mukaan. Pitkiä aaltopituuksia pienemmän vaimennuksen vuoksi, sekä aaltopituuksia jotka jäävät ”water bandien” väliselle alueelle imeytymisen välttämiseksi. Tästä syystä yleiset aaltopituudet ovat 850, 1 300, sekä 1 550 nanometriä. Näitä pidemmät aaltopituudet eivät ole yleisesti käytössä, sillä infra-puna aaltopituudet vaihtuvat valosta lämmöksi, kuten sähkövastuksissa jotka luovat vaimeaa punaista valoa sekä lämpöä. Tämänkaltainen taustalämpö luo häiriötä valokuidussa kulkevalle signaalille (The Fiber Optic Association s.a. b.)

4 OPTISET TRANSCEIVERIT

Optisia transceivereita käytetään luomaan optisia yhteyksiä verkkolaitteiden välille, kuten verkkokytkimissä ja media muuntimissa. Yleisin käytössä oleva työkalu on moduuli, joka tunnetaan nimellä SFP (Small Form-Factor Pluggable). SFP-moduuli on pienikokoinen ja nopeasti vaihdettavissa oleva komponentti jota käytetään telekommunikaatiossa, sekä datan siirrossa (FS.COM 2013.)

4.1 SFP-moduuli

SFP-moduulien kehitys on vähentänyt optisten verkkojen pääomakustannuksia sekä ylläpitokustannuksia. SFP-moduulien hyödyt tulevat esiin myös moderneissa optisissa verkoissa, joissa kapasiteetin lisääminen vaatii vain SFP-moduulin vaihdon. SFP-moduulien selkeät hyödyt ovat johtaneet useat teleoperaattorit tekemään yhteistyötä SFP-moduulien standardisoimiseksi, jonka lopputuloksena olisi käyttötehokas sekä helposti asennettava ja huollettava optinen verkkoliitäntä. Täydellistä yhteensopivuutta ei vielä ole saavutettu, sillä joidenkin valmistajien SFP-moduulit eivät varmuudella sovi yhteen toisen valmistajan vastaavan verkkolaitteen kanssa (Warier 2017, 70.)

4.2 XFP-moduuli

SFP-moduulien tavoin myös XFP-moduulit toimivat optisen signaalin lähettämiseen, sekä vastaanottamiseen. XFP-moduulin nimi tulee sanoista 10 Gb Small Form Factor pluggable, jossa X symboloi numeroa kymmenen. SFP-

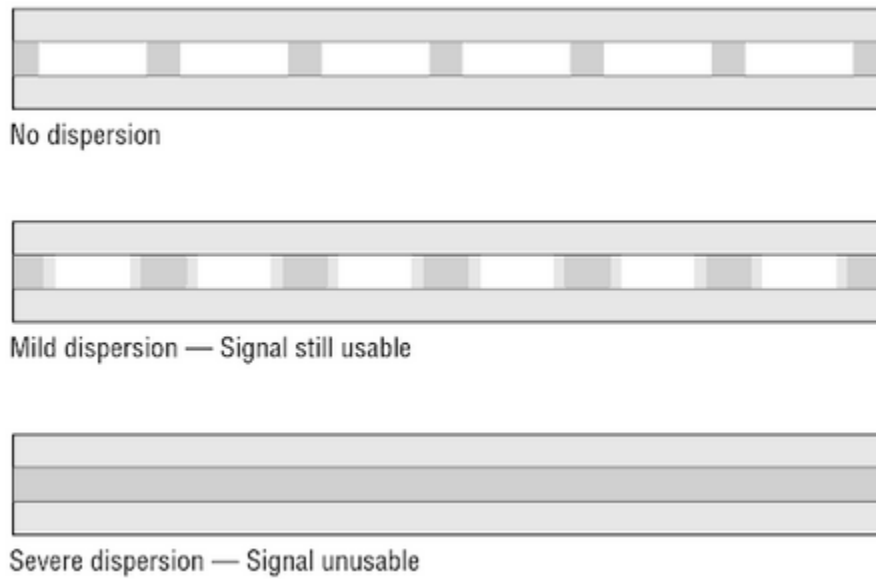
moduulien tavoin XFP-moduulit ovat pienikokoisia, kustannustehokkaita ja nopeasti vaihdettavissa olevia optisia transceivereita. XFP-moduulit käyttävät 850 nanometrin, 1 310 nanometrin, tai 1 550 nanometrin aaltopituuksia, ja niitä voidaan käyttää SDH/SONET-, Fiber Channel-, Gigabit Ethernet-, sekä DWDM-verkoissa ja -yhteyksissä (Warier 2017, 70–71.)

4.3 SFP+ -moduuli

SFP+ -moduulit edustavat transceivereiden uusinta sukupolvea. SFP+ -moduulit ovat edeltäneitä XFP-moduuleja 30 prosenttia pienempiä fyysiseltä kooltaan, joka on saatu aikaiseksi siirtämällä osia moduulin suorittamista tehtävistä verkkolaitteiden suoritettavaksi. Pienempi fyysinen koko mahdollistaa suuremman porttitiheyden, mahdollistaen useampien moduulien kytkennän standardilaitteisiin (Warier 2017, 71–72.)

5 DISPERSIO

Kun puhutaan optisista kuiduista, dispersio sen kaikissa muodoissa tarkoittaa valonsäteen ja sen kuljettaman signaalin leviämistä. Tämä tapahtuu, kun signaalin eri osat kulkevat eri nopeuksilla tai hieman eri reittiä. Tämän vaikutuksesta selkeät, dataa kuljettavat pulssit sekoittuvat toisiinsa heikentäen datan kulkua johtaen datan muuttumiseen käyttökelvottomaksi pidemmällä matkalla ja aikavälillä. Dispersiota esiintyy myös eri variantteina riippuen olosuhteista ja käytetystä kaapelityypistä (Kuva 5) (Woodward 2014, 86.)



Kuva 5. Dispersion vaikutus valokuidussa (Woodward, 2014. 86)

5.1 Muotodispersio

Valon kulkiessa kuidussa osa valonsäteistä voi useampien heijastusten takia kulkea kuidussa kauemmin kuin toiset. Heijastusten määrään vaikuttaa kulma, jossa valo kulkee, ja kuinka monesti valo kohtaa ytimen ja kuoren rajapinnan heijastuen takaisin ytimen keskiosaa kohti. Valosignaalit voivat saapua määränpäähänsä eri järjestyksessä kuin ne lähtivät, tai ne voivat sekoittua toisiinsa sotkien informaatiota. Ilmiö tunnetaan muotodispersiona, ja sen vaikutus on suurin askeltaitekertoimisissa monimuotokuiduissa. Asteittaistaitekertoimiset kuidut vähentävät muotodispersio riskiä, sillä taitekertoimet muuttuvat kuidussa vähitellen, vähentäen heijastumisia kuidun sisällä (Woodward 2014, 87.)

5.2 Materiaalidispersio

Materiaalidispersio syntyy, kun valon eri aaltopituudet kulkevat kuidussa eri nopeuksilla. Hitaammat aaltopituudet jäävät jälkeen, kun ne matkaavat valokuidussa aiheuttaen valon leviämistä ja sekoittumista aaltopituuksiin jotka seuraavat näiden perässä. Tämä johtaa tiedon muuttumiseen käyttökelvottomaksi. Materiaalidispersio muodostuu ongelmaksi, kun muotodispersio aiheuttamaa haittaa yritetään ohittaa käyttämällä yksimuotokuituja monimuotokuitujen sijaan ja kun korkean tiedonsiirtonopeuden yhteydet venyvät pitkiä (Woodward & Husson 2004, 89; Woodward 2014, 89.)

5.3 Aaltojohtodispersio

Aaltojohtodispersio (Waveguide Dispersion) syntyy yksimuotokuiduissa valon läpäistessä ydintä suojaavan kuoren jatkaen kuitenkin kulkua kuoressa ytimen rinnalla. Yksimuotokuitujen ytimen taitekerroin on kuorta suurempi, joskin ero näiden välillä on pieni, joten valo kulkee ytimessä hitaammin kuin kuoressa. Ongelmaksi tämä muuttuu pidemmillä matkoilla, mikäli kuidussa esiintyy sekä aaltojohtodispersiota sekä materiaalidispersiota luoden kromaattista dispersiota (Woodward 2014, 89.)

5.4 Kromaattinen dispersio

Kromaattinen dispersio syntyy materiaalidispersio- ja aaltojohtodispersio- seurauksena, jossa molemmat dispersiotyypit vaikuttavat kuidussa samanaikaisesti. Kromaattista dispersiota esiintyy kaikissa kuitutyypeissä, mutta sen vaikutukset ilmenevät merkittävimmin yksimuotokuiduissa, jotka kuljettavat suuria määriä dataa pitkiä välimatkoja. Matalilla datamäärillä ja tiedonsiirtonopeuksilla, sekä monimuotokuiduissa, kromaattisen dispersio- vaikutus on merkityksetön (Woodward 2014, 89–90.)

5.5 Polarisaatiomuoto dispersio

Kahtaistaittumisen esiintyminen valokuidussa aiheuttaa kuituun lähetetyn valon jakautumisen kahteen, kohtisuorasti polarisoituneeseen pulssiin joiden nopeudet eroavat toisistaan ja joiden aaltoliikkeiden laajuudet hajoavat eriävissä tahdissa. Tämän seurauksena pulssit saapuvat eri aikoihin sekä niiden aaltoliikkeet ovat eri vaiheissa niiden saapuessa päätepisteeseen, jolloin pulssi on laajempi kuin aloituspisteestä lähtiessään. Tämä ilmiö tunnetaan polarisaatiomuoto dispersiona vaikuttaen erityisesti nopeisiin, yli kymmenen gigabittiä sekunnissa kuljettaviin valokuituyhteyksiin. Suuria etäisyyksiä kattavissa yhteyksissä ympäristön vaikutukset, kuten lämpötilan muutokset sekä taipumat, lisäävät kahtaistaittumisen vaikutusta lisäten datansiirrossa tapahtuvien virheiden riskiä (Ghatak & Kumar 2012, 199–203.)

6 VALOKUITUJEN TIETOTURVA

Valokuituverkkoja pidettiin aluksi turvallisina vaihtoehtoina kuparikaapeleille, mutta viime vuosina on paljastunut viitteitä siihen, että valokuituja olisi mahdollista salakuunnella yhtä helposti kuin kuparikaapeleita. Kuituverkkoja on miljoonia kilometrejä maailmanlaajuisesti pitäen sisällään suuria määriä arkaluontoista informaatiota useista eri lähteistä, kuten valtioilta, yrityksiltä ja yksityishenkilöiltä. Mikäli kaapelointi on tehty julkisille paikoille, informaatioon voidaan kajota. Tämä tekee fyysisen tason suojauksesta oleellisen datan suojaamisen kannalta vaikeuttaen tunkeutujien pääsyä kaapelijärjestelmiin. Lisäksi fyysiset suojausjärjestelmät voivat havaita tunkeutumisen ennen mitattavissa olevaa datan menetystä (Witcher 2005, 8.)

Tunkeutujan päästyä valokuitukaapelin luo, tietoliikenteen salakuuntelun uskotaan olevan verrattain helppoa ja huomaamatonta kaupallisilla tuotteilla. Yksinkertainen kaapeliliitos on mahdollista toteuttaa kannettavalla tietokoneella, kuituliittimellä sekä mediamuuntimella, joka muuntaa signaaleja optisen ja sähköisen signaalin välillä. Onnistuneen kuituliitoksen kautta tunkeutuja voi kerätä ja tallentaa tietoa, kuten IP-osoitteita, MAC-osoitteita, tai DNS-tietoa ilmaisjakelussa olevien ohjelmien avulla. Ellei kuidussa kulkevaa informaatiota ole salattu, tunkeutujan ei tarvitse päästä yrityksen tai palvelun sisäverkkoon tehden palomuurien tarjoaman suojauksen merkityksettömäksi. Tämän kaltainen tunkeutuminen ei herätä huomiota, vaan jää helposti huomaamatta (Witcher 2005, 8.)

6.1 Tunnetut tietomurrot

Julkisia tietomurtoja, joiden tekotapana on ollut salakuuntelu kuituliitoksen kautta, on raportoitu vain muutama. Vuonna 2000 Deutsche Telekomien kolmeen runkolinjaan tunkeuduttiin Frankfurtin lentokentän läheisyydessä. Vuonna 2003 paljastui laitton salakuuntelulaite, joka oli yhdistetty Yhdysvaltalaisen tietoliikenneyritys Verizonin optiseen verkkoon. Uskotaan, että tunkeutuja yritti saada tietoa keskinäisen rahastoyhtiön neljännesvuositilinpäätöksestä ennen sen julkaisua. Lisäksi optisia salakuuntelulaitteita on löydetty poliisiasemien verkoista Alankomaissa ja Saksassa, sekä lääketieteellisten yritysten verkoista Iso-Britanniassa sekä Ranskassa. Vastaavista tapauksista

löytyy rajallisesti tietoa, sillä tapaukset jäävät usein huomaamatta ja raportoimatta (Miller 2006.)

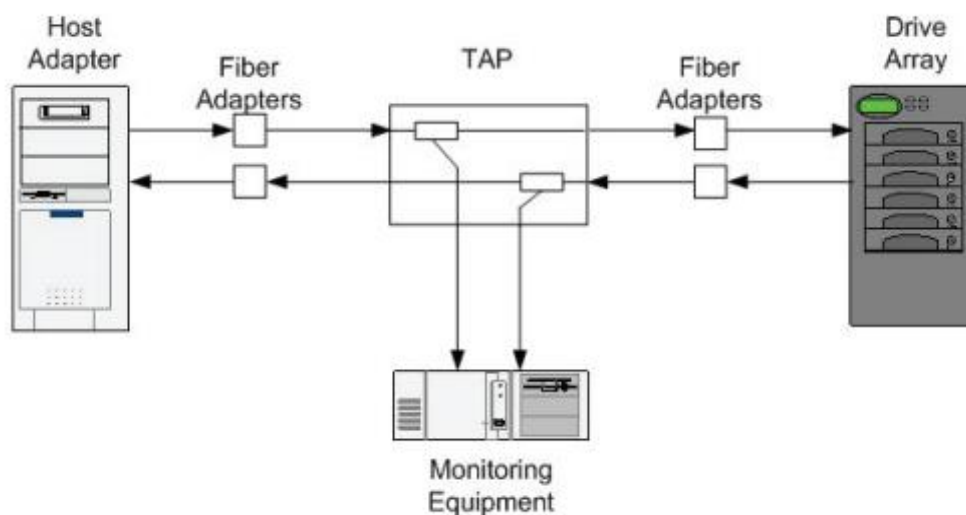
Vuonna 2005 Yhdysvallat uudelleen varusti 3,2 miljardin dollarin arvoisen Seawolf-tason sukellusveneen USS Jimmy Carterin. Alus varustettiin erityisesti merenalaisten kaapelien käsittelyyn ja yhteyksien salakuunteluun (Miller 2006.)

6.2 Optical TAP

Valokuidussa kulkevan liikenteen tarkkailu ja häirintä kuituliitoksen kautta tapahtuu optisen liikenteen analysointipisteen (Traffic Analysis Point, TAP) kautta. TAP toimii joko passiivisena tai aktiivisena laitteena tarkkaillen siihen johdettua liikennettä, tai sen läpi kulkevaa liikennettä, aiheuttamatta häiriötä tietoliikenneyhteydelle. Passiiviset TAP:t toimivat ilman erillistä virtalähdettä, ollen yleisesti käytössä datakeskuksissa tietoliikenteen monitoroinnissa. Aktiiviset TAP:t vaativat erillisen virtalähteen, ja niitä käytetään erikoistuneempiin tehtäviin jotka vaativat läpi kulkevan datan manipulointia (Kuva 6) (JDS Uniphase Corporation 2009.)

Passiivinen TAP toimii prismaana, joka jakaa osan valosta monitorointia varten sallien lopun signaalista kulkea laitteen läpi. Laite ei vaadi sähkövirtaa, joten sillä ei ole myöskään IP-osoitetta, jolloin sitä ei voi hakkeroida, tosin haittapuolena se ei myöskään voi kerätä lokia keräämästään tiedosta, eikä laitetta voi monitoroida etänä (Apcon, Inc. 2012.)

Valokuitukaapeleita on käytössä maailmanlaajuisesti, ja pelkästään Yhdysvalloissa valokuitua on käytössä yli 90 miljoonaa mailia. Valtaosa siitä on vaikeasti saavutettavissa paikoissa kuten maan alla, merenpohjassa tai sisäänrakennettuna rakennusten seiniin, mutta monet kaupungit julkaisevat yksityiskohtaisia kartoja valokuituverkoistaan yrittäessään houkuttaa asiakkaita liittymään heidän verkkoonsa. Tämä läpinäkyvyys voi altistaa valokuituverkot tietomurroille (Miller 2006.)

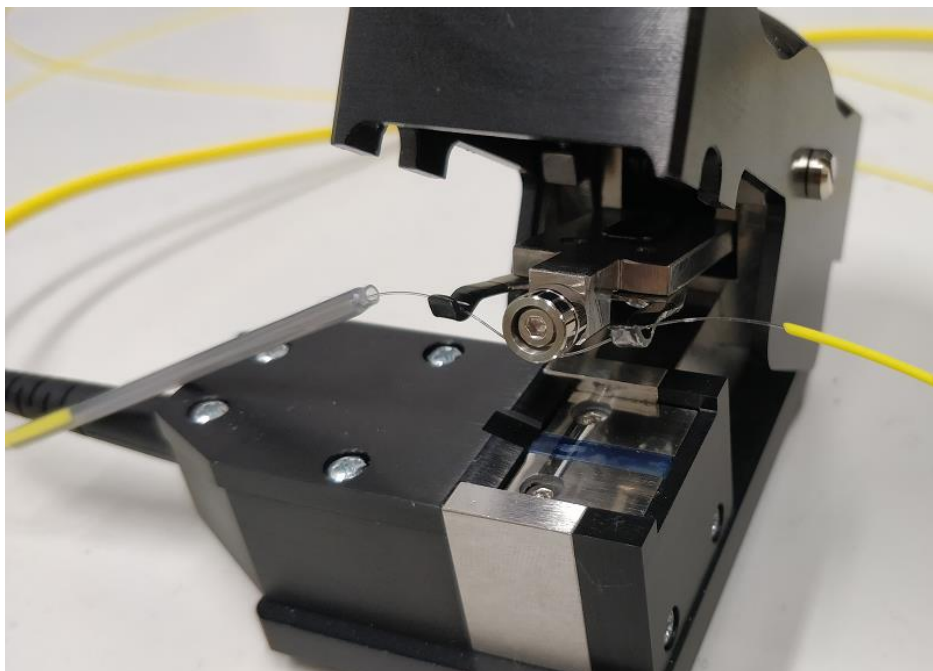


Kuva 6. Esimerkki monitoroidusta verkosta (JDS Uniphase Corporation 2009)

6.3 Clip-on coupler

Clip-on coupler on passiivinen monitorointilaitte, joka on lähes huomaamaton tapa saada informaatiota valokuidusta, sillä sen käyttö ei vaadi valokuidun katkaisua, jolloin yhteys ei häiriinny. Nämä laitteet luovat pienen mikrotaipuman valokuituun, jolloin pieni määrä valoa vuotaa kuidun kuoresta läpi clip-on couplerin valotunnistimeen, joka muuntaa optisen signaalin elektroniseksi signaaliksi. Onnistuneen liitoksen jälkeen tunkeutuja voi vapaassa jakelussa olevien pakettianalysaattorihjelmien avulla kerätä tietoa valokuidussa kulkevasta liikenteestä (Kuva 7) (Miller 2006.)

Mikrotaipuma on ulkoisesta paineesta syntyvä terävä, mikrometrien kokoinen muutos muutaman millimetrin pituisella alueella, jonka seurauksena valon aaltoliike kuidussa muuttuu johtaen osittaiseen valon vuotamiseen kuidun kuoren läpi (Iqbal, Fathallah, Belhadj 2011.)



Kuva 7. Clip-on coupler avattuna

6.4 Suora kuituliitos

Kuidun katkaisu ja liittäminen suoraan salakuuntelulaitteeseen ei ole käytännöllinen tapa tunkeutumisen kannalta. Kuidun katkaisu aiheuttaa hetkellisen katkoksen valokuituyhteydessä, jonka operaattori huomaa helposti, vaikka katkos olisikin vain millisekuntien pituinen. Lisäksi useat toimittajat tarjoavat fyysisen tason tietoturvaratkaisuja, jotka tunnistavat valokuituihin kohdistuvat häiriöt, tunkeutumiset, katkokset, sekä signaalin heikkenemisen. Nämä laiteratkaisut voivat monitoroida yhteyksiä reaaliajassa, ja tunnistaa tunkeutumiset, ja siirtää kaiken tietoliikenteen pois valokuituyhteydeltä jolla epäilty tunkeutuminen on tapahtunut (Miller 2006.)

7 KÄYTÄNNÖN TYÖ

Työn käytännön osuuden tarkoituksena oli luoda tilanne, jossa käytössä olevan valokuidun sisällä kulkevaa dataa voitaisiin monitoroida sekä kaapata ulkopuolisen tahon toimesta. Lähtökohtainen menetelmä tämän toteuttamiseksi olisi clip-on couplerin käyttö kuidussa kulkevan valon taittamiseksi pois kuidusta, verkon ulkopuolella sijaitsevalle tietokoneelle datan analysointia ja tallennusta varten.

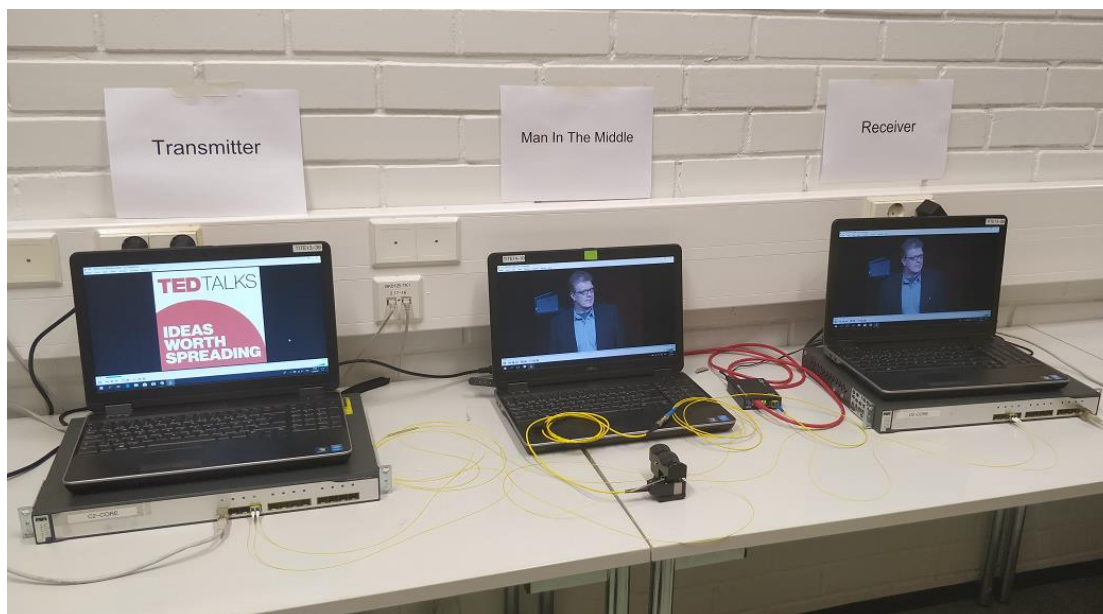
7.1 Ensimmäinen laitekokonaisuus

Työn toteutuksen ensimmäinen vaihe oli koota laitekokonaisuus, jolla optisen tietoliikenteen salakuuntelu olisi toteutettavissa. Käytännössä kokonaisuuden piti olla kykenevä kuljettamaan tietynlaista dataa kahden laitteen välillä, jonka tiedonsiirtoväylänä toimisi valokuitu vähintään yhdessä linkissä. Ensimmäinen laitekokonaisuus koostui kahdesta Cisco Catalyst 2960-S -verkkokytkimestä, jotka olivat kytkettynä toisiinsa yksimuotovalokuiduilla kytkimiin liitettyjen SFP-moduulien kautta.

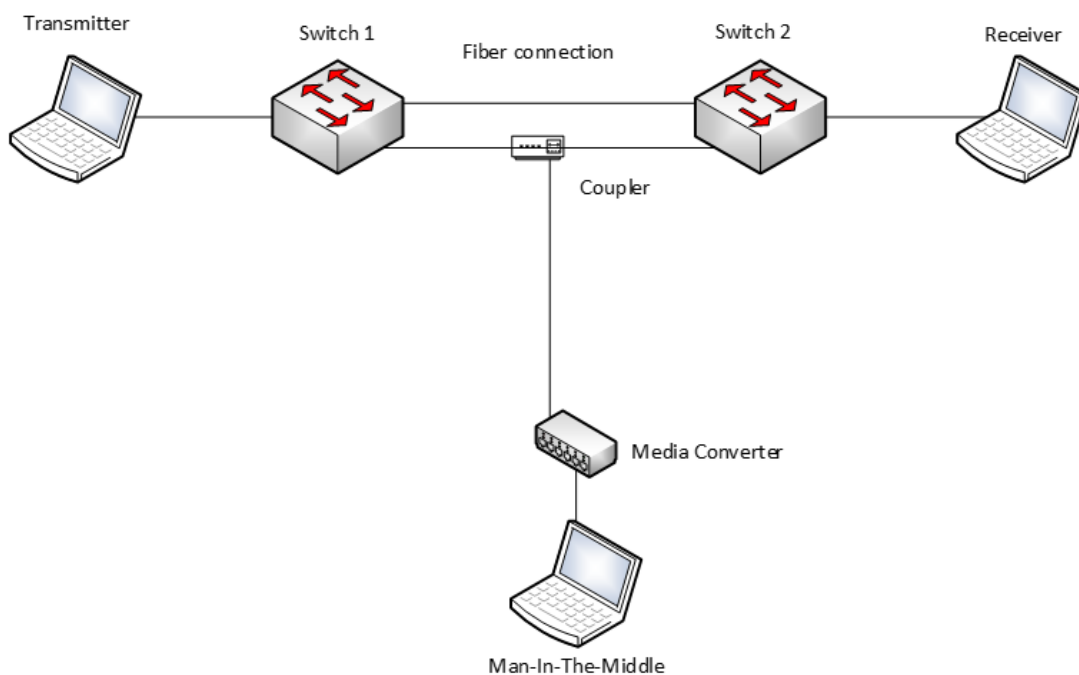
Käytettäväksi aallonpituudeksi tiedonsiirtoon valikoitui 1 310 nanometrin aallonpituus, sillä käytössä olleet kytkimet eivät tukeneet uudempia SFP -moduuleja ilman käyttöjärjestelmän päivittämistä. Kokonaisuuteen kuului myös kaksi kannettavaa tietokonetta, jotka olivat kytkettyinä kytkimiin ethernet-kaapeleilla. Kokoonpanon kolmas, verkon ulkopuolisen kannettavan tietokoneen tehtävä oli tallentaa ja muuntaa kaapattu data käyttökelpoiseen muotoon. Kytkinten väliseen kuituun liitetty clip-on coupler ohjaisi osan valokuidussa kulkevasta valosta kuitumediumuuntimelle, joka muuntaisi optisen signaalin elektroniseksi signaaliksi, jonka se lähettäisi eteenpäin kolmannelle tietokoneelle.

7.2 Toinen laitekokonaisuus

Myöhemmässä vaiheessa kokonaisuutta muutettiin, jolloin Cisco Catalyst 2960-S -mallin kytkimet korvattiin Cisco Catalyst 3750 -mallin verkkokytkimillä. Uudemmat kytkinmallit tukivat uudempien SFP-moduulien käyttöä, jolloin tiedonsiirtoväylä voitiin muuttaa 1 550 nanometrin aallonpituudelle. Muutos tehtiin kattavan testauksen vuoksi, sillä clip-on coupler taittaa teknisten tietojensa mukaan valoa parhaiten 1 300 nanometrin ja 1 550 nanometrin aaltopituuksien välillä. Lisäksi kytkimiin liitettiin SFP-moduulit RJ-45 -liitäntöjä varten, sillä kytkimissä oli vain SFP-moduuli portteja. Muutoin laitekokoonpano projektia varten pysyi muuttumattomana ensimmäiseen kokoonpanoon nähden (Kuva 8 & Kuva 9).



Kuva 8. Toinen laitekokonaisuus



Kuva 9. Kaaviokuva laitekokonaisuudesta

7.3 Videon suoratoisto

Verkkokytkimiin kytkettiin Ethernet-kaapeleilla kaksi kannettavaa tietokonetta, joiden tarkoitus oli luoda kytkinten välille selkeästi tunnistettavaa liikennettä. Tämä toteutettiin suoratoistamalla videomateriaalia VLC Media Player-ohjelman suoratoisto-ominaisuudella multicast-osoitteeseen 239.255.0.1 käyttäen

RTP/MPEG Transport Stream -protokollaa UDP-portilla 5004, joka toimii Windows-ympäristöissä oletusporttina Real Time Streaming Protocol (RTSP) -palveluille.

Suoratoiston ollessa käynnissä vastaanottavalta kannettavalta avattiin VLC Media Playerin ”Avaa suoratoisto verkosta” -valikko, jota kautta yhdistettiin suoratoistolle määritettyyn osoitteeseen määrittämällä suoratoiston käyttämä protokolla, IP-osoite sekä porttinumero: ”rtp://@239.255.0.1:5004”.

Vaadittavat toimenpiteet videon suoratoistamiseen VLC Media Playeriä käyttäen löytyvät työn liitesivuilta liitteestä 1.

7.4 Valokuitujen kuoriminen

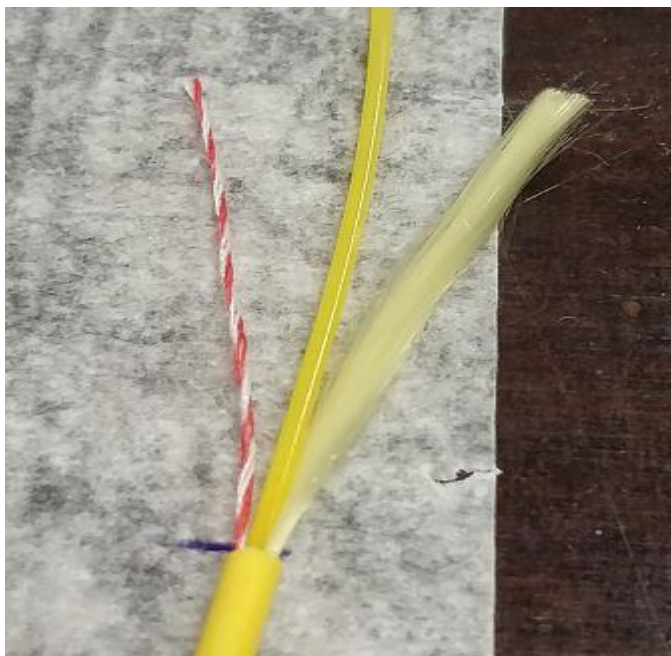
Datan kaappaamiseksi optisen signaalin on vuodettava valokuidusta ulos, jotta clip-on coupler voi ohjata sen eteenpäin kuitumediamuuntimelle signaalin muuntamiseksi optisesta signaalista elektroniseksi signaaliksi. Tämän saavuttamiseksi valokuidun ulointa suojakerrosta poistetaan siten, ettei valokuidun ydin vahingoitu.

Työn vaatiman hienovaraisuuden vuoksi kuorimiseen käytettävät työkalut eivät saa olla kömpelöitä ja suuria kuten puukko tai normaalien sähköjohtojen kuorimiseen tarkoitetut pihdit, sillä näiden kaltaiset työkalut vahingoittavat valokuidun ydintä herkästi. Pienoismallien rakentamisessa käytetyt skalpellit sekä kirurginveitset ovat pienen kokonsa ja terävyytensä vuoksi parempia työkaluja valokuitujen hienovaraisessa kuorimisessa (Kuva 10).



Kuva 10. Pienoismalliveitsi

Valokuitukaapelin uloimman päällysteen poistamiseksi kaapeliin tehdään viiltoja, jotka menevät kokonaisuudessaan kaapelin ympäri, jolloin viiltojen väliin jäävä päällysteen osa jää irtonaiseksi. Tällöin irtonainen osa on helppo saada kaapelista irti tekemällä uusi, pitkittäinen viilto kaapelin myötäisesti, käyttäen aikaisempia kaapelin ympäri meneviä viiltoja aloitus- ja lopetuspisteinä. Tämän jälkeen irtonaisen päällysteen voi poistaa helposti vahingoittamatta kuidun ydintä. Kuidun ydintä suojaavan kuoren ja uloimman päällysteen välissä olevat, kaapelia vahvistavat ja suojaavat säikeet voidaan myös katkaista veistä käyttämällä (Kuva 11).

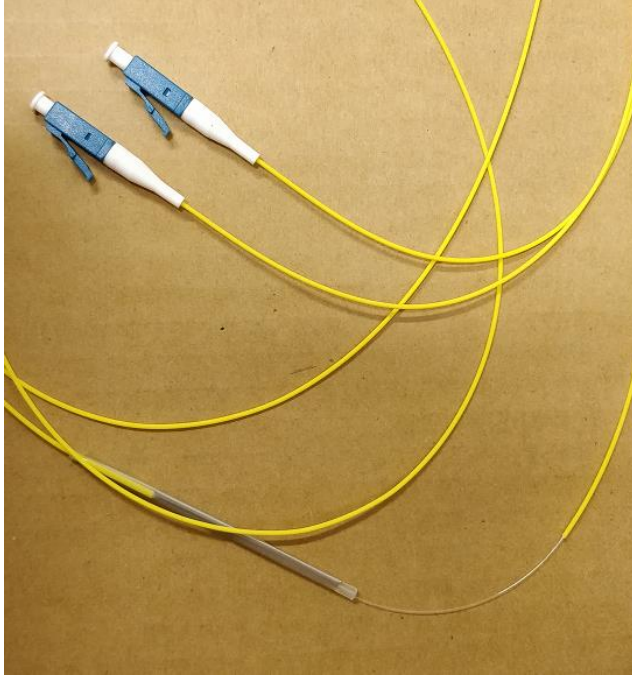


Kuva 11. Kuorittu kuitu ja suojasäikeet

Kuidun ydintä suojaavan kuoren ollessa paljaana kuitua voidaan taittaa, saaden kuidussa kulkeva valo vuotamaan osittain ulos ja ohjattua clip-on couplerin avulla kuitumediamuuntimelle tietoliikenteen tallentamista ja muuntamista varten. Tarvittaessa myös ydintä suojaavaa kuorta voidaan pyrkiä ohentamaan esimerkiksi vuolemalla kaapelia pituussuunnassa terävällä veitsellä näin ohentaen kuorta ja lisäten mahdollisuuksia valosignaalin vuotamiselle. Työ on riskialtista, sillä tässä vaiheessa kaapeli on hyvin ohutta ja kuidun ydin vahingoittuu herkästi.

Käsityökaluilla kuorimisen epäluotettavuuden sekä korkean riskin vuoksi ammattilaistyökalut kuitujen kuorimiseen ovat merkittävästi tehokkaampi ratkaisu,

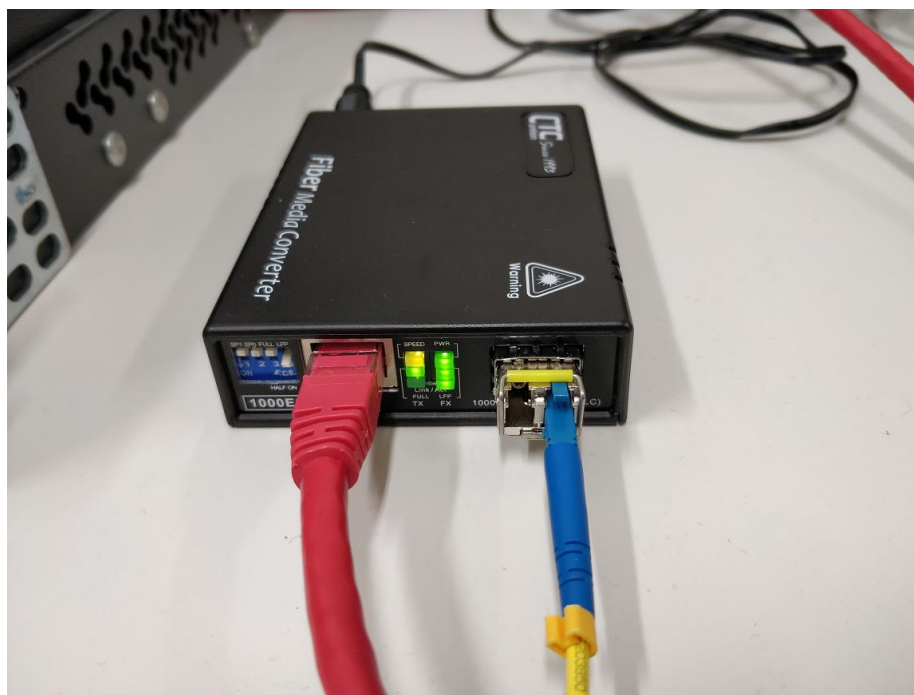
sillä nämä työkalut ovat suunniteltu tämänkaltaista työtä varten. Oikeaoppisia työkaluja käyttämällä kuidusta saadaan poistettua ydintä suojaavat kuoret, ja kuitujen hitsaukseen tarkoitetuilla laitteilla voidaan yhdistää kaksi kuitua yhdeksi, jolloin kuidun ydin voidaan jättää paljaaksi. Tämän lisäksi asianmukaisen työkalujen käyttö ehkäisee kuidun fyysistä vahingoittumista (Kuva 12).



Kuva 12. Valokuidun paljas ydin

8 VIDEON KAAPPAUS JA TALLENNUS

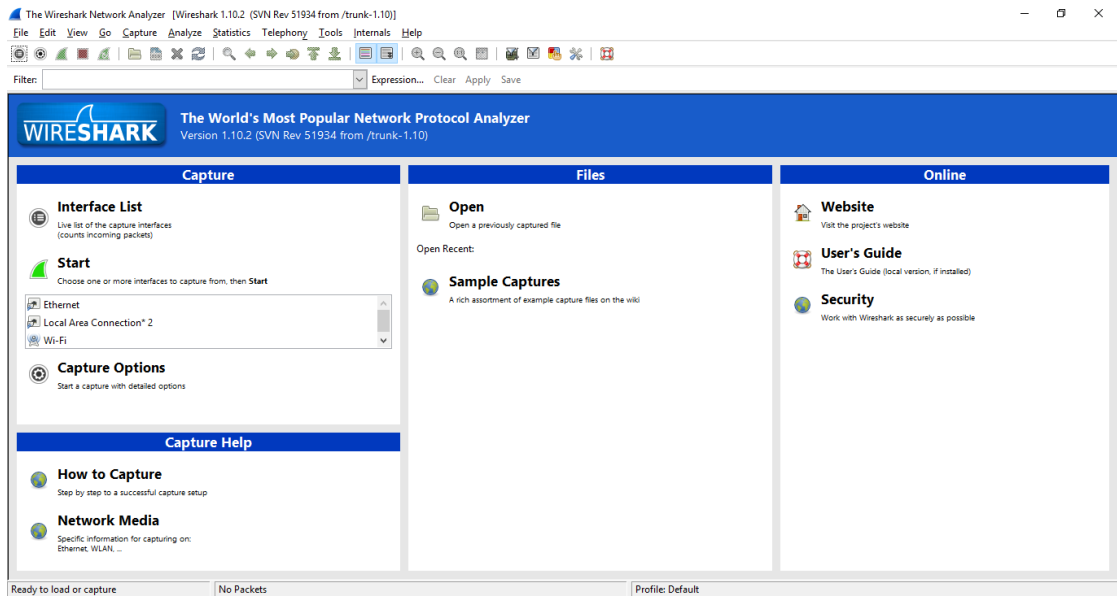
Onnistuneesti kuorittu kuitu sijoitetaan couplerin ohjureiden väliin, jonka jälkeen laitteen kansi suljetaan, jolloin valokuitu lukkiutuu laitteen sisään. Oikein asetettuna kuidussa kulkeva valo ohjautuu couplerin kautta mediamuuntimelle, joka muuntaa valokuidun optisen signaalin elektroniseksi signaaliksi lähettäen sen jälleen eteenpäin ulkopuolisen tahon laitteelle tarkkailua sekä tallentamista varten (Kuva 13).



Kuva 13. Mediamuunnin

Couplerin sekä mediamuuntimen uudelleenohjaaman liikenteen ohjaututtua ulkopuoliselle päätelaitteelle on valokuidussa kulkevaa dataa mahdollista tarkkailla, analysoida sekä tallentaa Wireshark-ohjelman avulla. Wireshark on avoimen lähdekoodin ohjelma, jota käytetään pääasiassa tietoverkkojen sekä verkkoprotokollien analysoimiseen. Ohjelma toimii Unix, Linux sekä Microsoft Windows alustoilla ja sitä voidaan käyttää tietoliikenteen tarkkailuun ja tiedonkeruuseen suoraan verkosta tai jo valmiiksi kerätyn tiedon analysoimiseen. Analysoitavaa dataa voidaan myös suodattaa ja järjestää tulkitsemisen helpottamiseksi (Kuva 14) (Technopedia s.a. a.)

Ohjelma kykenee tunnistamaan valokuidusta couplerin ja mediamuuntimen kautta johdetun liikenteen, ja tietoa voidaan rajata näyttämään vain halutut osat liikenteestä. Halutun datan ollessa kuidussa kulkeva suoratoistettu video, voidaan rajauksen avulla näyttää ja tallentaa vain tiettyä UDP-porttia käyttävät MPEG-TS -paketit. Näin valokuidussa kulkeva video voidaan kaapata, analysoida ja tallentaa .ts-videoformaattiin myöhempää katselua varten.



Kuva 14: Wiresharkin 1.10.2 päänäkymä

Tallennusprosessin alettua ohjelma listaa tunnistetut ja tallennetut paketit kronologisessa järjestyksessä, korostaen paketeista lisätietoa kuten lähdeosoitteen, kohdeosoitteen sekä käytetyn verkkoprotokollan. Ohjelma kerää tietoa, kunnes tallennus lopetetaan manuaalisesti tai ohjelma yritetään sulkea. Tiedon keräys täytyy keskeyttää, jotta se voidaan analysoida tarkemmin Wiresharkin ominaisuuksia käyttäen. Tallennettujen pakettien manuaalinen tallentaminen laitteelle ei ole pakollista, mutta datan katoamisen välttämiseksi se on suositeltavaa.

Suratoistettu video korostuu UDP-paketteina Wiresharkin Capture-näkymässä. Tallennetut paketit analysoidaan Wiresharkin Decode As-toimintoa käyttäen jolloin ohjelma esittää aikaisempaa yksityiskohtaisempaa tietoa tallennetuista paketeista kuten kuvan sekä videon pakkauksessa käytetyt formatit (Kuva 15).

The screenshot shows the Wireshark interface with a filter set to 'udp.port==5004'. The packet list pane displays numerous packets, including RTP streams for PT-MPEG-II transport streams, audio layers, and video streams. The packet details pane shows a frame of 1370 bytes, which is a reassembled MP2T (431 bytes) containing a bitstream of 2 bytes. The hex dump at the bottom shows the raw data of the frame.

Kuva 15. Wiresharkin Capture -näkyvä

Tallennettujen videopakettien analysoimisen jälkeen ne voidaan muuntaa katsomiskelpoiseen muotoon käyttäen Wireshark-ohjelman omia työkaluja. Tallennettu liikenne voidaan valita päänäkymän Telephony-valikon alta, RTP-valinnasta, jossa kaapatut paketit voidaan uudelleenanalysoida, sekä tallentaa haluttuun sijaintiin .ts-formaatissa. Tällöin Wireshark luo .ts-päätteisen videotiedoston, jolloin valokuidusta kaapattua videoliikennettä on mahdollista tarkastella esimerkiksi käyttäen VLC Media Player-ohjelmaa. Liikenteen tallentamiseen sekä videotiedostoksi muuntamiseen vaadittavat askeleet sekä asetukset löytyvät työn liitesivuilta liitteestä 2.

Videoliikenteen tallentamisen lisäksi ulkopuoliselta päätelaitteelta on myös mahdollista toistaa suoratoistettua videota VLC Media Playerin avulla. Suoratoiston ollessa käynnissä VLC Media Playerin ”Avaa suoratoisto verkosta” –valikosta voidaan yhdistää suoratoiston multicast-osoitteeseen.

Multicast-lähetys on kommunikaatiotekniikka, jolla voidaan lähettää dataa yhdestä pisteestä useille vastaanottajille. Multicast-lähetyksessä sekä lähettäjä että vastaanottaja hyödyntävät samaa IP-ryhmäosoitetta datan lähettämiseen, jolloin lähettäjän ei tarvitse tietää vastaanottajien lukumäärää tai identiteettiä. Tällöin suoratoistettua videota voidaan tarkkailla ilman häiriöitä, mikäli laitteen palomuuri ei estä suoratoistolähetystään yhdistämistä (Technopedia s.a.b.)

9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Valokuituverkoissa käytettävä teknologia kehittyy jatkuvasti, ja kun siirrettävän datan määrä kasvaa, kysyntä valokuituyhteyksille ja niiden sallimalle suurelle kaistanleveydelle kasvaa nopeasti. Valokuidut ovat yleistyneet erityisesti yrityskäytössä, mutta niiden turvallisuuteen liittyvistä seikoista tehtyjä tutkimuksia on edelleen vähän. Yleinen mielipide painottuu edelleen vahvasti siihen, että valokuidut olisivat poikkeuksellisen turvallinen väylä tiedonsiirrolle jonka riskit ovat pienet. Yleisestä mielipiteestä huolimatta fyysinen tietomurto valokuidussa on mahdollinen jääden helposti huomaamatta jolloin suuria määriä dataa voi päätyä ulkopuolisille tahoille. Yrity maailmassa sekä kansallisella tasolla vastaavan tietomurron seuraukset voivat olla merkittäviä.

Opinnäytetyössä pyrittiin toteuttamaan malliesimerkki verkosta, jossa käytössä olevista valokuitukaapeleista pystyttäisiin tarkkailemaan sekä kaappaamaan dataa varsinaista yhteyttä häiritsemättä clip-on couplerin avulla, ja työn tavoitteet saavutettiin onnistuneesti. Ulkopuoliselta laitteelta kyettiin tarkkailemaan valokuidussa kulkevaa liikennettä, valokuidun läpi suoratoistettua videota kyettiin katsomaan niin kauan kuin suoratoisto oli käynnissä, sekä suoratoistettu video saatiin myös kaapattua sekä tallennettua katsottavaan muotoon ulkopuoliselle työasemalle.

Työn aikana suoritettiin myös optisen verkon signaalin tehomittauksia sekä tarkkailtiin käytössä olleiden verkkokytinten havaitsemaa optista tehoa. Näiden mittausten perusteella todettiin, että eroavaisuus optisessa tehossa kuorittun ja kuorimattoman kuidun välillä oli 0,51 dB mitattuna suoraan kuidun liittimestä. Käytössä ollut verkkokytin ei havainnut eroa signaalin tehossa kuitujen välillä. Suurin muutos optisen signaalin tehossa ilmeni, kun kuorittu kuitu asetettiin clip-on coupleriin liikenteen tarkkailemista varten. Tällöin optisen signaalin teho muuttui yhteensä 2,3 dB kytkimen näkökulmasta, ja 2,37 dB suoraan kuidun liittimestä mitattuna.

Tästä voidaan päätellä, että clip-on couplerin hyödyntäminen datan tarkkailemisessa luo näkyvän vaikutuksen kuituverkkoon, joka voi olla verkon ylläpitäjän tai automaattisen järjestelmän huomattavissa.

Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulun kannalta työn tulokset olivat myös hyödyllisiä. Työssä syntyi videomateriaalia, joka demonstroi valokuitujen haavoittuvuutta clip-on coupleria hyödyntämällä. Tätä videomateriaalia voidaan hyödyntää osana kyberturvallisuuden verkko-opetuksen opetusmateriaalia.

Prosessin näennäisestä yksinkertaisuudesta huolimatta onnistuminen on haasteellista valokuitujen hauraan rakenteen vuoksi. Valokuitujen kuoriminen, sekä yhteyden tarkkaileminen vahingoittamatta itse valokuitua vaatii erikoistyökaluja onnistuakseen tehden käsityökaluista hyödyttömiä. Kuitujen kuoriminen niitä vahingoittamatta muodostuikin työn merkittävimäksi ongelmaksi, joka saatiin ratkaistua mutta tarjoaa edelleen mahdollisuuksia jatkokehittämiseen.

Opinnäytetyössä toteutettu malliesimerkki toimii todisteena valokuitujen fyysisistä tietoturvariskeistä ja tarjoaa myös hyvän lähtökohdan jatkokehitys mahdollisuuksien kannalta. Valokuituyhteyksien kohtaamia tietoturvallisuusriskejä voidaan minimoida panostamalla niiden fyysiseen suojaukseen, jolloin esimerkiksi tutkimus moninaisten fyysisten suojausmetodien kannattavuudesta tehokkuuden sekä taloudellisuuden näkökulmista olisi kannattava jatkokehityskohde. Tutkimusta voidaan myös suorittaa esimerkiksi fyysisten suojausmetodien yleisyydestä Suomessa ja maailmalla, ja pohtia miten näitä keinoja voitaisiin parantaa.

Jatkokehitys mahdollisuuksia tarjoaa myös valokuiduissa kulkevan datan looginen suojaus. Laajempi tutkimus liikenteen salaukseen sekä salausteknologioiden implementointiin tarjoaa mahdollisuuksia tietoturvallisuuden kehittämiseen valokuidun fyysisen turvallisuuden peittäessä. Esimerkiksi Media Access Control Security -suojausten (MACsec) hyödyntämistä ei tässä työssä käsitelty, jolloin sen implementointia valokuituyhteyksiin laboratorio-olosuhteissa voidaan tutkia laajemmin.

Media Access Control Security on 802.1AE IEEE -standardin mukainen suojausteknologia, joka mahdollistaa liikenteen loogisen suojauksen Ethernet-liikenteelle. Liikenne voidaan salata käyttäjän luomalla salausavaimella, tai dynaamisesti luodulla salausavaimella osana Radius-palvelimen AAA-suojausta.

MACsec myös tarkistaa saapuvan liikenteen integriteetin, hyläten kaiken liikenteen joka on muuttunut kuljetuksen aikana (Juniper Networks 2018.)

Kolmas jatkokehitysmahdollisuus on valokuitujen kuorimisprosessin suoraviivaistaminen. Valokuitukaapeleiden kuoriminen datan kaappaamista varten on haastavaa, mutta mahdollista. Tähän soveltuvien tekniikoiden, laitteiden ja työkalujen tutkiminen tarjoaisi mahdollisuuden parantaa prosessin tehokkuutta, tarjoten samalla mahdollisuuden tutkia keinoja, joilla luvaton kajoamista voitaisiin vaikeuttaa.

LÄHTEET

Agrawal, G. 2010. Fiber-Optic Communication Systems. Fourth Edition. New Jersey: John Wiley & Sons.

Al-Azzawi, A. 2006. Fibre Optics. Principles and Practices. Florida: CRC Press.

APCON, Inc. s.a. Get a Better Understanding of Fiber Optic Taps. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.apcon.com/sites/default/files/Resources%20for%20Download/12064-a_apcon_tech_brief_-_fiber_optic_tap_low-res.pdf [Viitattu: 28.3.2018].

Belden Inc. s.a. Cable Basics: Fiber Optic Cable. WWW-dokumentti. Saatavissa: http://www.beldencables-emea.com/en/products/cable_basics/fiber-optic-cable/index.phtml [Viitattu: 6.2.2018].

FS.COM. 2013. SFP Module: What's It and How to Choose It? WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://community.fs.com/blog/sfp-module-what-is-it-and-how-to-choose-it.html> [Viitattu 25.5.2018].

Ghatak, A. Kumar, A. 2012. Polarization of Light: With Applications in Optical Fibers. New Delhi: Tata McGraw Hill Education Private Limited.

Zion Market Research. 2018. Global Fiber Optics Market to Exceed USD 3.72 Billion by 2022. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://globenews-wire.com/news-release/2018/02/12/1338971/0/en/Global-Fiber-Optics-Market-to-Exceed-USD-3-72-Billion-by-2022-Zion-Market-Research.html> [Viitattu 19.9.2018].

Iqbal, M., Fathallah, M. & Belhadj, N. 2011. Optical Fiber Tapping: Methods and Precautions. PDF-dokumentti. Saatavissa: http://fac.ksu.edu.sa/sites/default/files/06149809-Optical_Fiber_Tapping_Methods__and_Precautions.pdf [Viitattu 28.3.2018].

JDS Uniphase Corporation. 2009. Understanding Fibre Optic Network Tapping. PDF-dokumentti. Saatavilla: <https://www.anixter.com/content/dam/Suppliers/viavi/White%20Paper/Understanding%20Fibre%20Optic%20Network%20Tapping.pdf> [Viitattu 28.3.2018].

Juniper Networks. 2018. Understanding Media Access Control Security (MACsec). WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.juniper.net/documentation/en_US/junos/topics/concept/macsec.html [Viitattu 15.10.2018].

Kananen, J. 2012. Kehittämistutkimus opinnäytetyönä. Jyväskylä: Jyväskylän Ammattikorkeakoulu.

Mathur, K. S. 2018. Fundamentals of Fiber Optics Communications. Gurgaon: Zorba Books.

Miller, S. 2006. Information Security. Optical Illusion. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://static1.squarespace.com/static/572012022b8dde45862dc4c5/t/57201770044262a0b47402a7/1461720945165/Optical+Illusion+++Info+Security+Magazine+++Nov+2006.pdf> [Viitattu: 26.3.2018].

Nelson, R. 2018. Forbes. The Future of Fiber. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2018/04/18/the-future-of-fiber/#15fff3432bc9> [Viitattu: 19.9.2018].

Nestor Cables. 2017. FTTX - Optiset liityntäverkot. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://issuu.com/nestorcables/docs/fttx_optiset_liityntaverkot [Viitattu: 20.2.2018].

Oliviero, A. & Woodward, B. 2014. Cabling: The Complete Guide to Copper and Fiber-Optic Networking. New Jersey: John Wiley & Sons.

Senior, J. & Jamro, M. 2009. Optical Fiber Communications: Principles and Practice. New Jersey: Prentice Hall.

Technopedia s.a. a. Wireshark. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.techopedia.com/definition/25325/wireshark> [Viitattu: 25.7.2018].

Technopedia s.a. b. IP Multicast. Wireshark. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.techopedia.com/definition/2436/ip-multicast> [Viitattu: 11.10.2018].

The Fiber Optic Association, Inc. s.a. a. The FOA Refence Guide to Fiber Optics. Optical Fiber WWW-dokumentti. Saatavissa: www.thefoa.org/tech/ref/basic/fiber.html [Viitattu 7.2.2018].

The Fiber Optic Association, Inc s.a. b. Understanding Wavelengths In Fiber Optics. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.thefoa.org/tech/wavelength.htm> [Viitattu 4.6.2018].

Warier, S. 2017. The ABCs of Fiber Optic Communication. Massachusetts: Artech House.

Witcher, K. 2005. Fiber Optics and Its Security Vulnerabilities. PDF-dokumentti. SANS Institute. Saatavissa: <https://www.sans.org/reading-room/white-papers/physical/fiber-optics-security-vulnerabilities-1648> [Viitattu: 23.3.2018]

Woodward, B. 2014. Fiber Optics Installer (FOI) Certification Exam Guide. New Jersey: John Wiley & Sons.

Woodward, B. & Husson, E. 2005. Fiber Optics Installer and Technician Guide. New Jersey: Sybex.

KUVALUETTELO

Kuva 1. Valokuitukaapelin rakenne (Al-Azzawi, 2006.)

Kuva 2. Valon taittuminen Snellin lain mukaisesti (Nestor Cables 2017, 16)

Kuva 3. Yksimuotokuidun poikkileikkaus (Oliviero & Woodward 2014, 264)

Kuva 4. Kuidun taiteprofiilit (Woodward 2014, 72)

Kuva 5. Dispersion vaikutus valokuidussa (Woodward, 2014. 86)

Kuva 6. Esimerkki monitoroidusta verkosta (JDS Uniphase Corporation 2009)

Kuva 7. Clip-on coupler avattuna

Kuva 8. Toinen laitekokonaisuus

Kuva 9. Kaaviokuva laitekokonaisuudesta

Kuva 10. Pienoismalliveitsi

Kuva 11. Kuorittu kuitu ja suojasäikeet

Kuva 12. Valokuidun paljas ydin

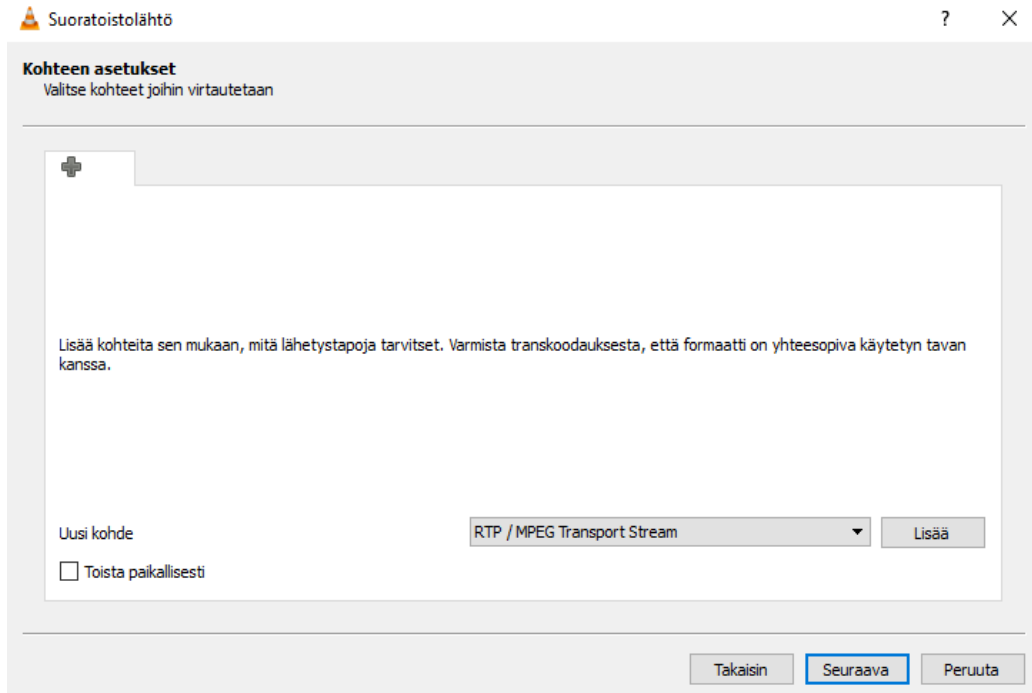
Kuva 13. Mediamuunnin

Kuva 14: Wiresharkin 1.10.2 päänäkymä

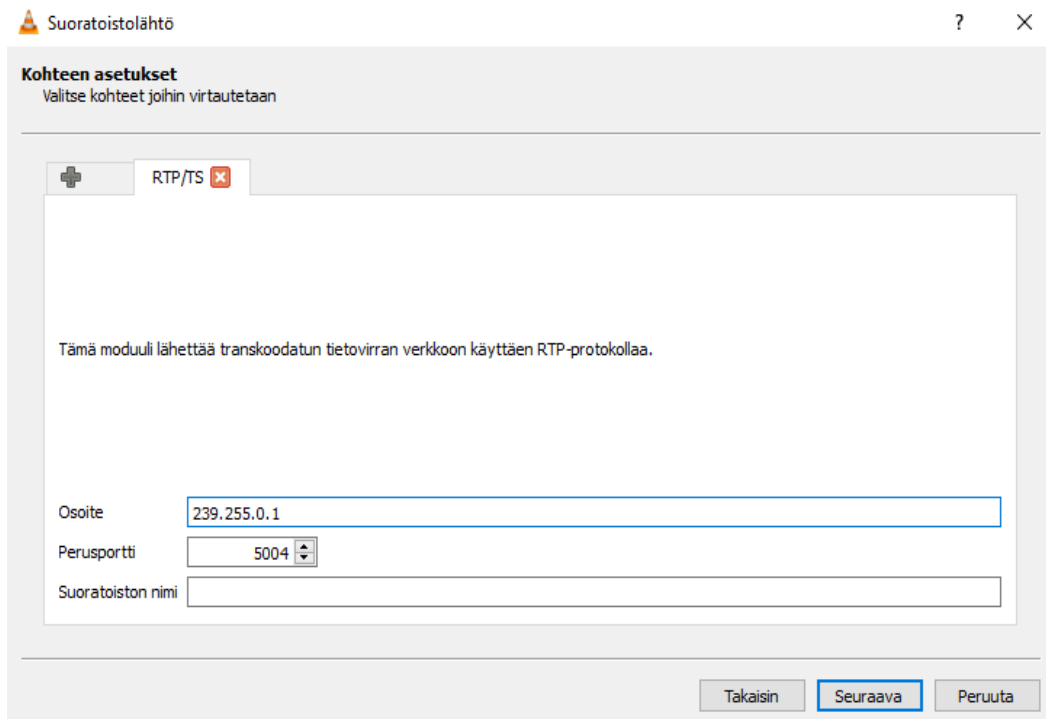
Kuva 15. Wiresharkin Capture -näkyvä

SUORATOISTO VLC MEDIA PLAYERILLÄ

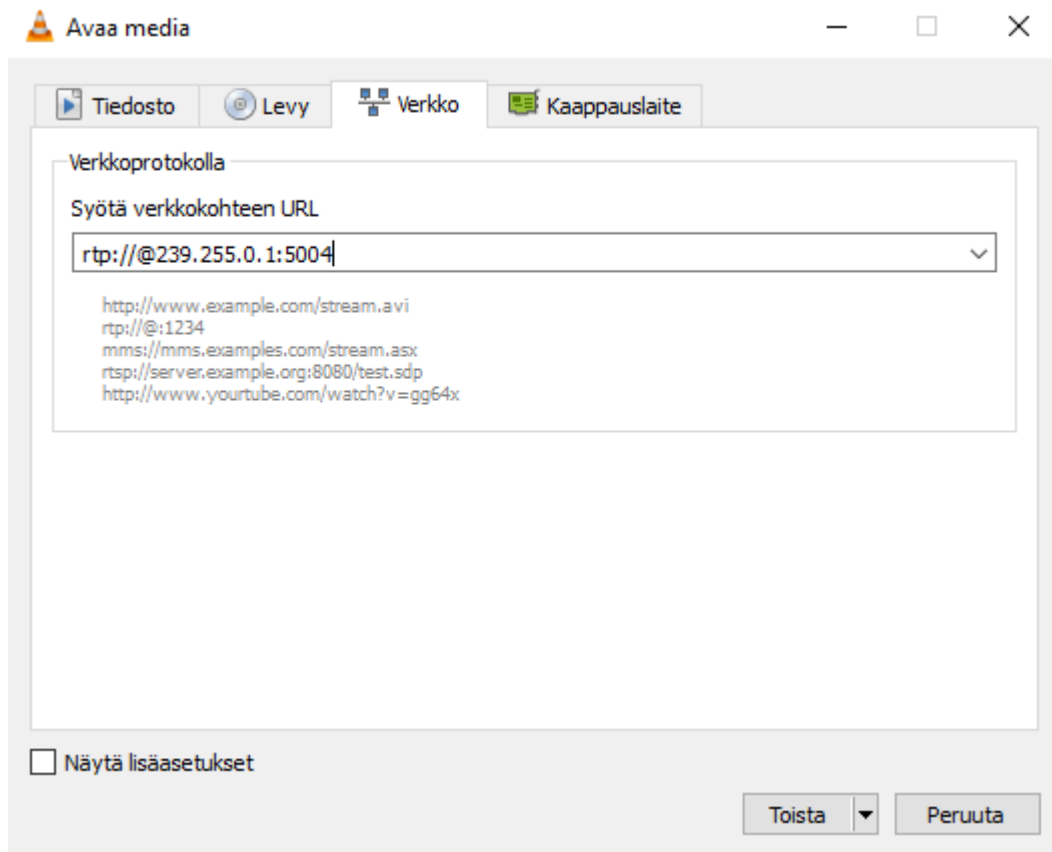
1. VLC Media Playerin päänäkymästä avataan "Media" -välilehti, ja valitaan "Lähetä verkkoon" -valikko.
2. Tiedosto -välilehdellä lisätään suoratoistettava tiedosto ja valitaan "Lähetä".
3. "Lähde" -valikossa valitaan "Seuraava".
4. "Kohteen asetukset" -valikossa valitaan alasetus "RTP-MPEG Transport Stream" -asetus. Alasetusvalikon vierestä valitaan "Lisää" -painike.
5. Osoiteriville kirjoitetaan haluttu osoite, johon halutaan suoratoistaa. Perusporttina toimii 5004.
6. "Transkoodauksen asetukset" -välilehdellä valitaan profiiliksi "Video – H.264 + MP3 (MP4)". Valitaan myös "Aktivoi transkoodaus" -asetus.
7. "Valintojen asetukset" -välilehdellä valitaan asetukset "Lähetä kaikki alkeisvirrat" -asetus. Suoratoistolähetys aloitetaan valitsemalla "Lähetä".
8. Suoratoistolähetys avataan vastaanottavalta työasemalta valitsemalla "Avaa suoratoisto verkosta" -valikko VLC Media Playerin päänäkymän "Media" -välilehdeltä.
9. Osoitekenttään kirjoitetaan käytetty verkkoprotokolla, lähetyksen osoite, sekä käytetty portti.
10. Valitaan "Toista".



Kuva 1: Kohteen asetukset.



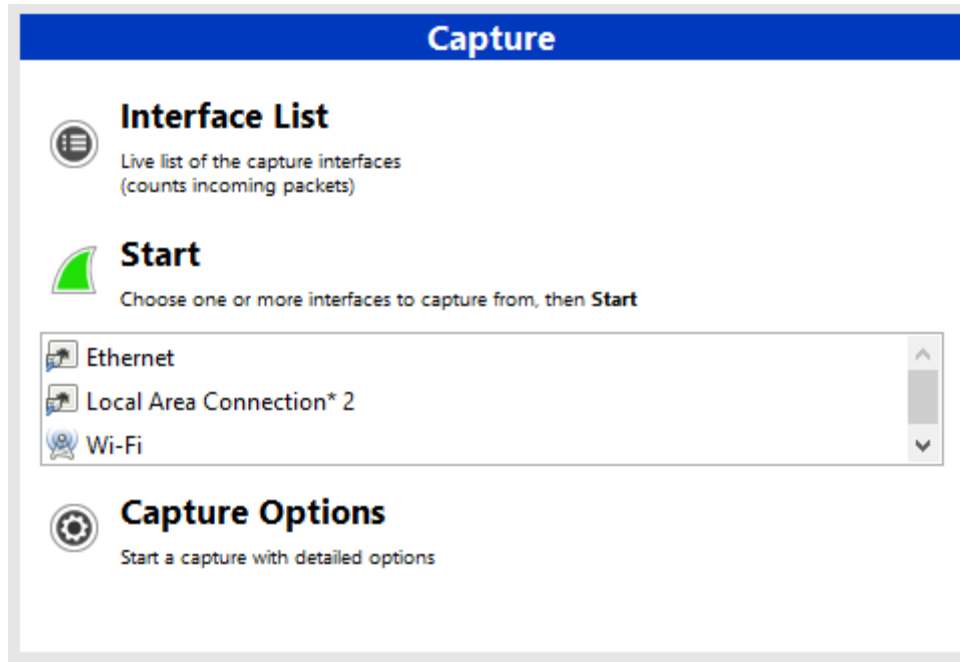
Kuva 2: Kohdeosoitteen määrittäminen.



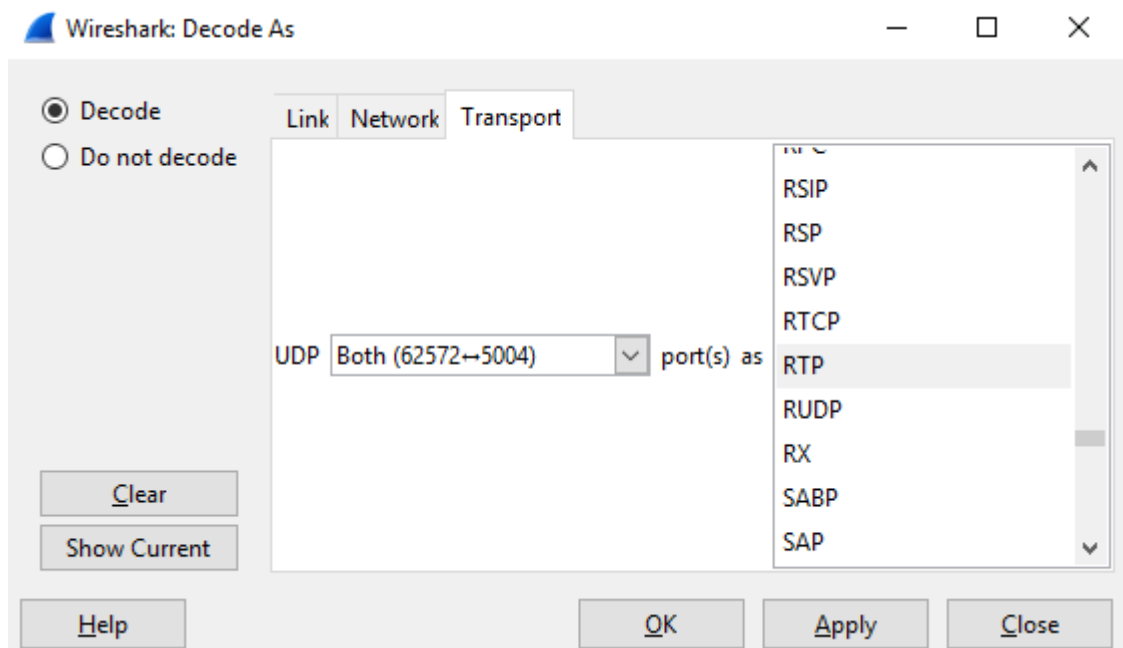
Kuva 3: Suoratoistoon yhdistäminen.

VIDEON TALLENNUS WIRESHARK 1.10.2:LLA

1. Aloitetaan liikenteen tallennus valitsemalla päänäkymän "Capture" –osista haluttu verkkosovitin ja valitsemalla "Start".
2. Tallennuksen ollessa käynnissä rajataan liikenne paketteihin jotka käytävät suoratoistetun videon porttia kirjoittamalla "Filter" –kenttään "udp.port==5004"
3. Kun haluttu määrä dataa on tallennettu, pysäytetään tallennus valitsemalla "Stop the running live capture".
4. Valitaan päänäkymän valikoista "Analyze", "Decode As..", "Transport Tab".
5. Otetaan "Decode Radio" –asetus käyttöön.
6. Varmistetaan, että kaksisuuntainen nuoli on valittuna UDP-porttiasetusten välillä.
7. Valitaan samalla sivulla olevasta valikosta "RTP" ja valitaan "OK".
8. Ohjelman päänäkymästä valitaan valikot "Telephony", "RTP", "Show All Streams".
9. Valitaan valikosta aiemmin kaapattu liikenne, ja valitaan "Analyze".
10. Tallennetaan tallennetut paketit valitsemalla "Save Payload".
11. Asetetaan tallennusformaatti ".raw" –muotoon sekä Channels valintaan "Forward".
12. Kirjoitetaan tiedostolle haluttu nimi "Name" –kenttään ja lisätään tiedoston nimeen ".ts" –päätte.
13. Valitaan haluttu tallennussijainti päätelaitteelta, ja hyväksytään tallennus valitsemalla "OK".
14. Avataan tallennettu videotiedosto VLC Media Playerillä.



Kuva 1: Verkkosovittimen valinta.



Kuva 2: "Decode As" -asetukset.

Wireshark: RTP Stream Analysis

Forward Direction | Reversed Direction

Analysing stream from 192.168.100.1 port 62572 to 239.255.0.1 port 5004 SSRC = 0x86811D0E

Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
1	30563	0,00	0,00	0,00	10,85	SET	[Ok]
2	30564	0,00	0,68	10,94	21,70	SET	[Ok]
3	30565	0,00	1,18	19,58	32,54	SET	[Ok]
4	30566	0,00	1,65	28,22	43,39	SET	[Ok]
5	30567	0,00	2,08	36,86	54,24	SET	[Ok]
6	30568	0,00	2,49	45,51	65,09	SET	[Ok]
7	30569	0,00	2,88	54,14	75,94	SET	[Ok]
8	30570	0,00	3,24	62,78	86,78	SET	[Ok]

Max delta = 0,00 ms at packet no. 0
 Max jitter = 0,00 ms. Mean jitter = 0,00 ms.
 Max skew = 215,39 ms.
 Total RTP packets = 9960 (expected 9960) Lost RTP packets = 0 (0,00%) Sequence errors = 0
 Duration 141,39 s (4 ms clock drift, corresponding to 90002 Hz (+0,00%))

Save payload... Save as CSV... Refresh Jump to Graph Player Next non-Ok Close

Kuva 3: Analysoidun liikenteen tallennus.

Wireshark: Save Payload As ...

Name: CapturedVideo.ts

Save in folder: liro Jussilainen Desktop **Wireshark Capture** Create Folder

Places: Search, Recently Used, help, liro Jussilainen, Desktop, Local Disk (C:), DVD RW Drive (D:)

Format: .raw .au

Channels: forward reversed both

OK Cancel

Kuva 4: Tiedoston tallennus asetukset.