



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Sami Toppinen

Robottikameroiden etäohjaaminen valokuituverkossa

Opinnäytetyö

Kevät 2021

SeAMK Tekniikka

Automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Tutkinto-ohjelma: Automaatiotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Sähköautomaatio

Tekijä: Sami Toppinen

Työn nimi: Robottikameroiden etäohjaaminen valokuituverkossa

Ohjaaja: Alpo Anttonen

Vuosi: 2021

Sivumäärä: 37

Opinnäytetyön aiheena oli robottikameroiden etäohjauksen testaaminen ja reaaliaikaisen videokuvan siirto valokuituverkossa. Opinnäytetyön tilaaja oli Kyyjärven Mediamyllärit ry. Yhdistyksellä oli halu selvittää, voiko nykyistä suoratoistotoimintaa kehittää siten, että robottikameroita ohjataan etänä ja videokuva siirretään kameroilta etäohjauspisteeseen valokuituverkkoa pitkin. Tavoitteena oli myös selvittää niin sanotun hybridimallin käyttömahdollisuus, jossa osa kameroista on etäohjauksessa ja osa lähetyspisteessä paikan päällä.

Opinnäytetyössä on lisäksi kerrottu teoriaa valokuidusta, mikä oli oleellinen tiedonsiirtotekniikka opinnäytetyön kannalta. Työssä on myös esitelty käytetyt laitteet ja ohjelmistot. Toteutusosiossa on kerrottu etäohjaukseen tarvittavista valmisteluista, tehdyistä testeistä sekä tuloksista.

Työn tuloksena saatiin luotua etäohjaukseen tarvittava virtuaalilähiverkko ja sen myötä reaaliaikainen ja toimiva kommunikaatio laitteiden välille. Etäohjausta testattiin eri etäisyyksiltä, aluksi kiinteistön sisällä, muutaman kilometrin päästä ja lopuksi pisimmillään yli sadan kilometrin matkalta. Opinnäytetyö toi vastauksia toimeksiantajan haluamiin kysymyksiin etäohjausmahdollisuudesta ja videokuvan siirrosta. Toimeksiantaja aikoo lähitulevaisuudessa kehittää toimintaansa opinnäytetyön pohjalta.

¹ Asiasanat: valokuitu, tiedonsiirto, suoratoisto

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Automation Engineering

Specialisation: Electrical Automation

Author: Sami Toppinen

Title of thesis: Remote Control of Robot Cameras via Optical Fiber Network

Supervisor: Alpo Anttonen

Year:2021

Number of pages: 37

The purpose of the thesis was to test the remote controlling of Panasonic robot cameras via an optical fiber network. Along with remote controlling the purpose was also to examine the quality of streamed video and audio.

This thesis was ordered by a registered association called Kyyjärven Mediamyllärit. The customer was interested in the possibilities of developing their streaming procedure by applying both full remote control and hybrid mode to their equipment.

The theory of the thesis consisted of basic information about optical fiber and an introduction to the equipment and software used in the tests. The accomplished tests and results were represented in the practical part of the thesis.

As a result, a virtual local area network for remote control was built. Successful real-time communication between the pieces of equipment was achieved via the developed network. The remote control of the robot cameras was tested from different distances varying from a couple of kilometers to more than 100 kilometers.

The thesis gave answers to the questions concerning the remote controlling possibilities the customer was asking for. The customer plans to apply the remote controlling feature to their current procedure in the near future.

¹ Keywords: optical fiber, data transmission, streaming

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	1
Thesis abstract	2
SISÄLTÖ	3
Kuvaluettelo	5
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	6
1 JOHDANTO	8
1.1 Työn tausta.....	8
1.2 Työn tavoite.....	8
1.3 Työn rakenne	8
1.4 Toimeksiantajan esittely	9
2 VALOKUITU JA TOIMINTAYMPÄRISTÖ.....	10
2.1 Valokuitu ja sen toimintaperiaate	10
2.1.1 Kuitujatkokset.....	11
2.1.2 Kuidussa kulkevan valon vaimeneminen	15
2.1.3 Dispersio valokuidussa	16
2.2 Valokuidun hyötyjä	17
2.3 Valokuituliittymät Suomessa	18
2.4 Valokuituliittymät Keski-Suomessa	18
2.5 Opinnäytetyön toimintaympäristön kuvaus.....	18
3 KÄYTETYT LAITTEET JA PALVELUT	20
3.1 Robottikamerat	20
3.1.1 Panasonic AW-UN70W.....	20
3.1.2 Panasonic AW-UE70W	21
3.2 Robottikameroiden ohjain.....	21
3.3 Audiojärjestelmä ja oheislaitteet.....	23
3.3.1 Shure GM5923.....	23
3.3.2 Shure DC5890P.....	24

3.3.3	Shure DIS-CCU	25
3.4	Toimintaympäristössä käytetty suoratoistopalvelu	27
3.5	Teradek VidiU Pro	28
4	TOTEUTUS	29
4.1	Verkon rakentaminen etäohjauksen testaamista varten.....	29
4.2	Nopealiikkeisen kuvan testaaminen	31
4.3	Hybridiohjauksen kokeilu.....	33
4.4	Kahden kameran etäohjaus	33
5	YHTEENVETO	35
	LÄHTEET	36

Kuvaluettelo

Kuva 1. Valon eteneminen yksimuotokuidussa.....	10
Kuva 2. Valon eteneminen asteittaiskertoimisessa monimuotokuidussa.	11
Kuva 3. Hitsattavien kuitujen kohdistaminen ennen hitsausta.	12
Kuva 4. Valokaarihitsaus.	12
Kuva 5. Suoritetun hitsauksen tarkistaminen.....	13
Kuva 6. Kuitujatkoksen sijoittaminen betoniseen kaivoon.....	14
Kuva 7. Valmis sisäjatkoskaappi.....	14
Kuva 8. Valmiin jatkoskotelon sisältö.....	15
Kuva 9. Valmis päätepaneeli, johon on päätetty 12-kuituinen maakaapeli.	15
Kuva 10. Lähetin-vastaanotin-komponenttipari.....	16
Kuva 11. Panasonicin AW-UN70-sarjan kameroita	21
Kuva 12. AW-RP50-robottikameraohjain	22
Kuva 13. Ohjaimen tuloja.....	22
Kuva 14. GM 5923-joutsenkaulamikrofoni yhdistettynä pöytäyksikköön.....	23
Kuva 15. DC5890P ohjelmoitava pöytäyksikkö ilman mikrofontia.....	24
Kuva 16. Shuren DIS-CCU-keskusyksikkö.	27
Kuva 17. Laitteistokokoonpano ensimmäiseen testiin.	30
Kuva 18. Toisen testin laitekokoonpanon ja tiedonsiirtoyhteyden havainnollistaminen.	31

Käytetyt termit ja lyhenteet

4K	4K tarkoittaa 3840x2160 resoluution kuvaa. 3840 tarkoittaa vaakasuuntaisten pikseleiden määrää ja 2160 puolestaan pystysuuntaisten pikseleiden määrää.
CAT-kaapeli	Tarkoittaa standardisoitua kuparikaapelia, jota käytetään Ethernet-yhteyksissä sekä muissa tietoliikennetkaisuissa. Tällä hetkellä käytetyin kaapeli on CAT6 (engl. category 6) -kaapeli, jossa kahdeksan johdinta on kierretty pareiksi.
Dispersio	Dispersio tarkoittaa valokuidussa kulkevan valosignaalin aallonpituuksien etenemistä eri nopeudella. Dispersion lukuarvo voi olla sekä negatiivinen että positiivinen. Mikäli lukuarvo on negatiivinen, pidemmät aallonpituudet etenevät lyhyitä nopeammin. Positiivinen arvo puolestaan tarkoittaa, että lyhyet aallonpituudet kulkevat pidempiä aallonpituuksia nopeammin.
Full HD	Tarkoittaa 1920x1080 resoluution kuvaa. Full HD -merkintä kertoo, että laite kykenee näyttämään 1920x1080-kuvanlaadulla olevia kuvia ja videoita ilman skaalausta.
HDMI	HDMI (engl. High-Definition Multimedia Interface) on digitaalisen videon ja äänen siirtoon kehitetty liitäntästandardi. Standardiin sisältyy liitin, kaapeli sekä määrytykset sille, kuinka tietoa siirretään laitteiden välillä.
IP-osoite	IP (engl. Internet Protocol) tarkoittaa tietokoneen tai jonkin verkkoon liitetyn laitteen Internet Protocol -reititysprotokollan mukaista osoitetta. Osoitteiden avulla tunnistetaan verkossa olevat laitteet. Jokaisella verkossa olevalla laitteella on yksilöllinen IP-

osoite. Protokollasta on olemassa IPv4- ja IPv6-versiot. IPv4-versiossa osoite on neljällä pisteellä erotettu numerosarja. IPv6-versiossa osoitteet muodostuvat kahdeksasta 16-bittisestä heksadesimaalisarjasta.

- NDI** NDI (engl. Network Device Interface) on NewTekin kehittämä avoin protokolla, jonka avulla video- ja äänivirtaa voidaan siirtää verkossa matalalla viiveellä.
- NDI|HX** NDI|HX on uudempi versio NewTekin kehittämästä NDI-protokollasta. NDI|HX-versio mahdollistaa suoratoiston pienemmällä kaistanleveydellä.
- TCP/IP** Tarkoittaa usean Internetliikenteessä käytettävän protokollan yhdistelmää. IP (engl. Internet Protocol) määrittelee päätelaitteille osoitteet sekä vastaa pakettien reitittämisestä verkossa. TCP (engl. Transmission Control Protocol) puolestaan vastaan kahden päätelaitteen välisestä kommunikaatiosta kuten pakettien järjestämisestä, tiedonsiirtoyhteydestä sekä hukkuneiden pakettien uudelleen lähettämisestä.
- URL** Kertoo verkkosivuston tai tiedoston sijainnin internetissä. URL-osoite koostuu verkkotunnuksen nimestä sekä verkkotunnuksen luokasta. URL-osoite syötetään verkkoselaimen hakukenttään.
- VLAN** Virtuaalilähiverkko (engl. Virtual Local Area Network) tarkoittaa fyysisen tietoliikenneverkon jakamista loogisiin lohkoihin. Näin ollen jokaiseen lohkoon voidaan määritellä oma IP-osoiteavaruus laitteita varten.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Opinnäytetyö on tehty Kyyjärven Mediamyllärit ry:lle, joka toimii Nopola News-verkkopalvelun kehittäjänä ja taustayhdistyksenä. Verkkopalvelun kirjallisen sisällöntuotannon lisäksi toimintaan kuuluu nettiTV- ja IPTV-tuotannot.

Yhdistyksen seuraava kehitysvaihe on valokuituverkkojen maksimaalinen hyödyntäminen niin tuotannoissa kuin vastaanotossakin. Tällä hetkellä tuotantoryhmä kiertää perinteisesti paikasta toiseen tekemässä lähetyksiä esimerkiksi valtuustojen kokouksista ja urheilutapahtumista, mutta COVID-19-pandemian myötä esimerkiksi etäohjaus ja etäosallistuminen ovat nousemassa täysin uuteen asemaan tuotantoja suunniteltaessa.

1.2 Työn tavoite

Opinnäytetyön tavoite on tutkia, miten tai millä edellytyksillä voidaan toteuttaa etäohjattua lähetyksiä sekä siirtää videokuvaa valokuituverkossa. Lisäksi työn tavoitteena on selvittää, voiko yhdistyksen nykyiseen toimintamalliin kehittää etäohjausmahdollisuutta.

1.3 Työn rakenne

Opinnäytetyön alussa on johdanto, jossa kerrotaan työhön liittyvä tausta, tavoitteet, työn rakenne ja toimeksiantajan esittely. Johdannon jälkeen on teoriaosuus, joka sisältää luvut kaksi ja kolme. Luvussa kaksi käsitellään perustietoa valokuidusta, sen toimintaperiaatteesta ja kerrotaan Suomen valokuituliittymistä. Lisäksi luvussa kerrotaan opinnäytetyön toteutusympäristöstä. Luvussa kolme esitellään työssä tarvittava laitteisto ja ohjelmistot. Luku neljä sisältää etäohjauksen testaamisen sekä tulosten tarkastelun. Työn lopussa on yhteenveto, jossa kerrataan työn keskeiset tavoitteet ja asetettujen tavoitteiden toteutuminen.

1.4 Toimeksiantajan esittely

Kyyjärven Mediamyllärit ry on Nopola News -verkkopalvelun kehittäjä ja taustayhdistys. Yhdistys toimii alueella yhteisöllisyyden vahvistajana eri toimijoiden välillä mukaan lukien yhdistykset, järjestöt, kunnat ja seurakunnat, yrityksiä unohtamatta. Yhdistyksen rahoitus tulee pääasiassa yritysyhteistyöstä, NettiTV- ja IPTV-tuotannosta, digitaalisesta markkinoinnista sekä mainostuotannosta. (Huumarkangas 2021.)

Nopola News -verkkopalvelu avattiin 13.5.2005. Kirjallisesta sisällöntuotannosta vastaa yli sata vapaaehtoista sisällöntuottajaa. Julkaisun toimintamalli on voittanut lukuisia kansallisia ja kansainvälisiä palkintoja, kuten EU:n European inclusion Awards -kilpailussa maantieteellisen kategorian voiton, Suomen kuntamarkkinoinnin Vuoden Markkinointituote -tittelin ja Oikeusministeriön lähidemokratia palkinnon. Verkkopalvelulla on myös World Summit Award Finland -voitto sekä se on palkittu myös Maaseudun Tulevaisuuden Tekijä -palkinnolla. (Huumarkangas 2021.)

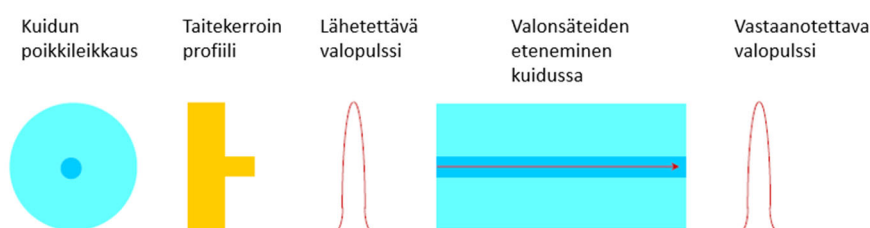
2 VALOKUITU JA TOIMINTAYMPÄRISTÖ

Tässä luvussa käydään lyhyesti läpi perustietoa valokuidusta ja sen tuomista eduista. Luvussa käydään läpi myös Suomessa sijaitsevien valokuituliittymien tilannetta. Edellä mainitun lisäksi luvussa kerrotaan opinnäytetyön toimintaympäristöstä, jossa valokuidun käyttö on keskeisessä roolissa.

2.1 Valokuitu ja sen toimintaperiaate

Valokuidut jaetaan kahteen perustyyppiin, jotka ovat monimuotokuitu ja yksimuotokuitu. Nämä perustyytit määräytyvät kuidun taitekerroinprofiilin mukaan. Monimuotokuidun ytimen halkaisija on 50 tai 62,5 mikrometriä ja yksimuotokuidun ytimen halkaisija puolestaan 8–10 mikrometriä. Valokuitu valmistetaan puhtaasta kvartsilasista. (Marttila 2015, 17.)

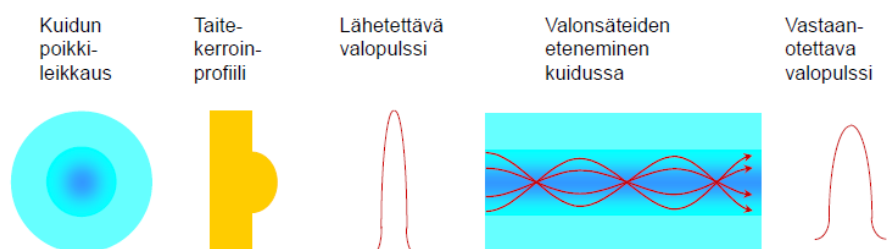
Yksimuotokuidut valmistetaan puhtaimmasta mahdollisesta kvartsilasista, joka mahdollistaa hyvin tarkan ja häiriöttömän yhteyden pitkällä matkalla. Näin ollen yksimuotokuituja käytetäänkin pitkän välimatkan omaavissa tietoliikenneverkoissa kuten esimerkiksi runkoverkoissa ja mannerten välisissä yhteyksissä. Yksimuotokuidun vaimennus on erittäin pieni, ja kuidussa kulkeva valo heijastuu suoraan lähettimestä vastaanottimeen. (BCC Solutions, [viitattu 8.2.2021].)



Kuva 1. Valon eteneminen yksimuotokuidussa (Marttila, 2015, 17).

Asteittaistaitekertoimisia monimuotokuituja käytetään puolestaan lyhyemmän välimatkan omaavissa valokuituyhteyksissä. Asteittaistaitekertoimiselle monimuotokuidulle sopivat käyttökohteet ovat esimerkiksi rakennusten sisäiset datan siirrot sekä rakennusten väliset yhteydet, missä välimatka on enimmillään muutama kilometri. Monimuotokuidussa valo

heijastuu ytimen ja kuoren rajapinnasta eteenpäin kohti vastaanotinta. (BCC Solutions, [Viitattu 8.2.2021].)



Kuva 2. Valon eteneminen asteittaiskertoimisessa monimuotokuidussa. (Marttila, 2015, 17.)

Kuidussa tieto kulkee valon muodossa lähettimestä vastaanottimeen. Lähetin muuntaa siirrettävän sähköisen signaalin valon muotoon ja sovittaa sen optiseen kuituun sopivaksi. Vastaanotin puolestaan ottaa valon vastaan ja muuntaa sen takaisin sähköiseen muotoon signaalin käsittelyä varten. (Marttila 2015, 10–11.)

Lähetin- ja vastaanotinkomponentit kytketään optisiin pätepaneeleihin kytkentäkuitujen avulla valokuituyhteyden kummassakin päässä. Paneelien välillä olevan valokuitukaapeliosuuden muodostamisessa tarvitaan usein kuitujatkoksia, koska etäisyydet voivat olla useita kymmeniä kilometrejä. (Marttila 2015, 11.)

2.1.1 Kuitujatkokset

Kuitujatkoksissa kuidut on liitetty yhteen hitsaamalla. Kuitujatkoksien tekeminen on välttämätön toimenpide jokaisessa valokuituverkon kohdassa, jossa valokaapeli vaihtuu toiseksi. Lisäksi kuitujatkoksia tarvitaan myös valokuituverkon haarakohdissa. (Laaksonen 2014, 24.)

Hitsaaminen on yleisin ja luotettavin menetelmä kuitujatkoksien tekemisessä. Hitsausprosessi alkaa kuitujatkossuojan asentamiseen toiseen hitsattavista kuiduista. Kun suoja on asennettu, kuitu kuoritaan kuidunkuorintaan tarkoitetuilla pihdeillä. Kuorittu kuitu

puhdistetaan huolellisesti käyttäen puhdistusainetta ja nukkaamattomia puhdistuspyyhkeitä. (Marttila 2021.)

Puhdas kuitu katkaistaan käyttämällä kuidunkatkaisuleikkuria. Kuitu asetetaan leikkurissa oleviin pitimiin, jolloin leikkurin timanttiterä tekee kuidun pintaan viillon. Tämän jälkeen kuitua taivutetaan, jolloin kuitu katkeaa viiltokohdasta. Katkaistu kuitu asetellaan jatkoskoneeseen ja suoritetaan hitsaus. (Marttila 2021.)



Kuva 3. Hitsattavien kuitujen kohdistaminen ennen hitsausta.



Kuva 4. Valokaarihitsaus.

Suoritettu kuituhitsaus tarkistetaan jatkoskoneella. Kuituhitsaus on onnistunut, kun jatkoskoneen antama vaimennusarvo on alle 0,1 dB. Lisäksi liitoskohdassa ei saa olla pullistumia tai muodon muutoksia. (Marttila, 2021.)

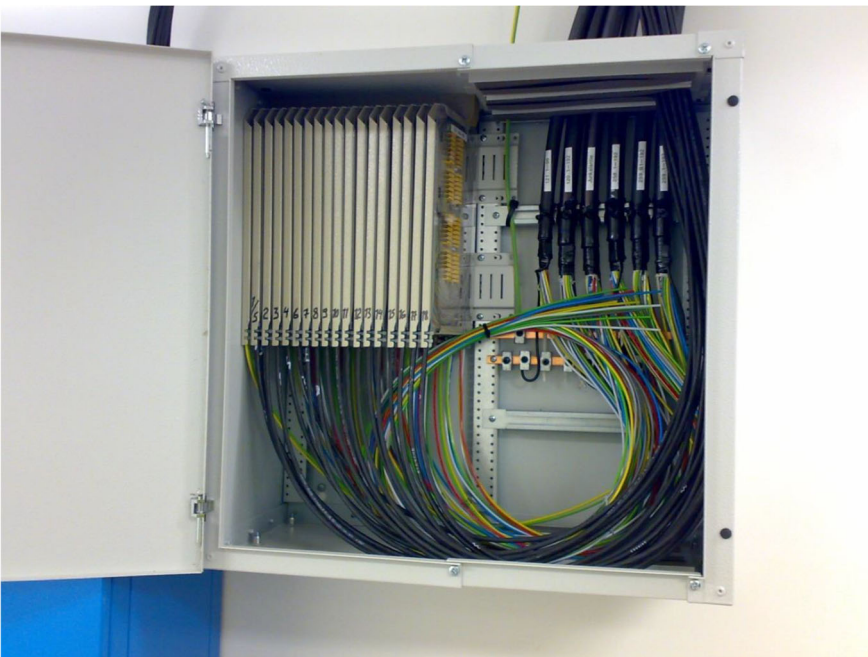


Kuva 5. Suoritetun hitsauksen tarkistaminen.

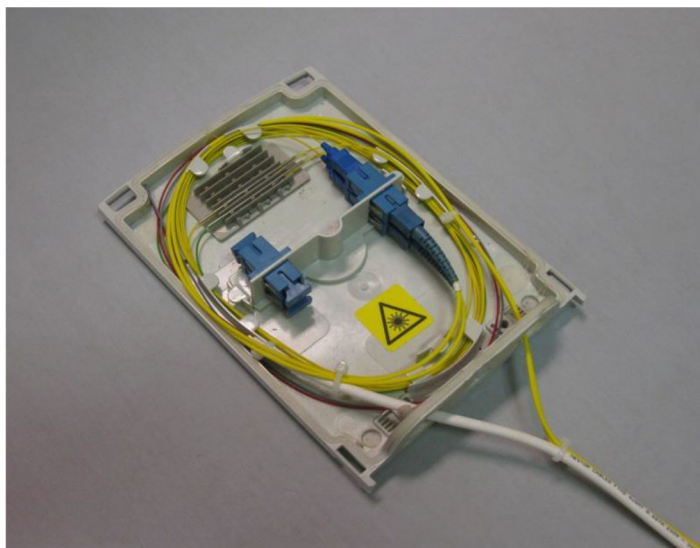
Valmiita kuitujatkoksia voidaan sijoittaa suoraan maahan, jolloin puhutaan maavaraisesta jatkoksesta. Maavarainen jatkos tehdään yleensä sellaisiin kohtiin, joihin ei todennäköisesti palata uudestaan. Kuitujatkoksia voidaan sijoittaa myös betonista tai muovista valmistettuun kaivoon, jonne jatkoskotelo sijoitetaan. Kaivon päälle tulee noin 20 cm maata. Kuitujatkoksia voidaan sijoittaa myös kaappeihin, joiden sisällä on paneeli tai kotelo, joissa hitsaus tehdään. Kaapin etuna on se, että uusia kuitujatkoksia on helppo tehdä uudelleen. (Laaksonen 2014, 24.)



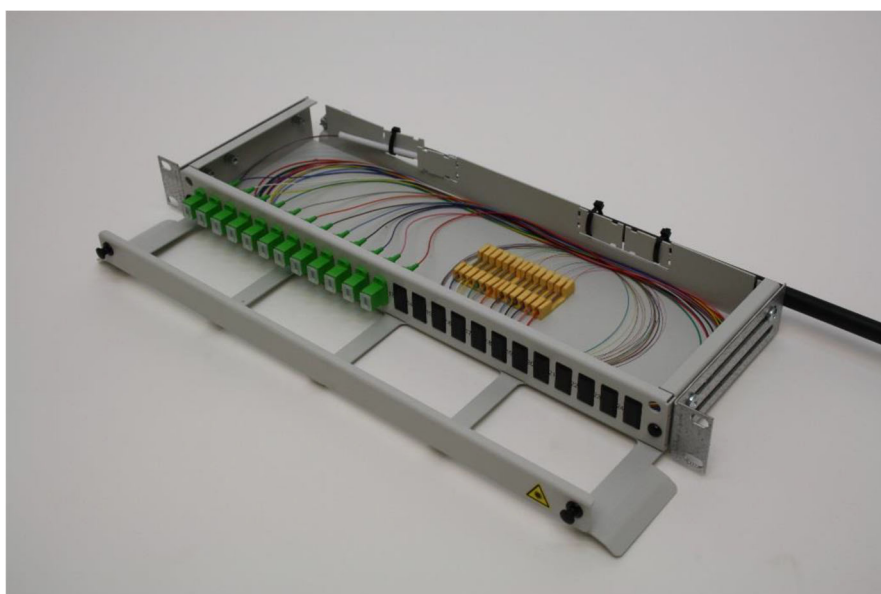
Kuva 6. Kuitujatkoksen sijoittaminen betoniseen kaivoon.



Kuva 7. Valmis sisäjatkoskaappi (Marttila 2021).



Kuva 8. Valmiin jatkoskotelon sisältö (Marttila 2021).



Kuva 9. Valmis pätepaneeli, johon on päätetty 12-kuituinen maakaapeli (Marttila 2021).

2.1.2 Kuidussa kulkevan valon vaimeneminen

Kuidussa kulkeva valo vaimenee. Vaimenemista tapahtuu, koska valo menettää osan tehostaan matkallaan lähettimestä vastaanottiin. Kuituyhteyden kokonaisvaimennukseen sisältyy kuidun oman vaimennuksen lisäksi jatkosvaimennus sekä

liitosvaimennus. Jatkos- ja liitosvaimennukset johtuvat valokuitukaapeliosuudessa käytettävistä kuitujatkoksista sekä päätepaneeleihin kytkettyjen lähetin- ja vastaanotinkomponenttien asentamisessa käytetyistä kytkentäkuiduista. (Marttila 2015, 10.)

Vaimentuneen signaalin tehotason on oltava tarpeeksi suuri, jotta vastaanotin kykenee tunnistamaan ja ilmaisemaan signaalin. Näin ollen valokuituyhteyden tehobudjetin kannalta olennaisimmat asiat ovat kaistanleveyden lisäksi lähtetimen tehotaso, yhteyden kokonaisvaimennus ja vastaanottimen herkkyys. (Marttila 2015, 10.)



Kuva 10. Lähetin-vastaanotin-komponenttipari. (Worbis, [viitattu 11.2.2021].)

2.1.3 Dispersio valokuidussa

Sekä asteittaistaitekertoimisen monimuotokuidun että yksimuotokuidun tiedonsiirtokapasiteettia rajoittaa dispersio. Dispersio tarkoittaa lähetetyn valopulssin levenemistä, johon vaikuttaa useita tekijöitä kuten esimerkiksi aallonpituus, kuidun ominaisuudet ja lähtetimen spektrin leveys. Asteittaistaitekertoimisessa monimuotokuidussa kulkevat pulssit levenevät ja pyöristyvät vaimenemisen lisäksi. Mikäli pulssit levenevät liikaa, vastaanotin ei voi erottaa niitä toisistaan. Dispersiota voidaan tarkastella kaavan 1 avulla

$$f = 1/T \quad (1)$$

missä:

f = pulssien toistotaajuus

T = kahden peräkkäisen pulssin välinen aika. (Marttila 2021.)

Kahden peräkkäisen pulssin välisen ajan tulee olla riittävän suuri, jotta kuidussa tapahtuva valopulssin leveneminen ei olisi haitallista. Toisin sanoen pulssien toistotaajuus ei saa olla liian suuri. Näin ollen kaistanleveys kuvaa suurinta mahdollista toistotaajuutta. (Marttila 2021.)

2.2 Valokuidun hyötyjä

Valokuidun tiedonsiirtokapasiteetti on suuri. Tiedonsiirron suurin siirrettävä nopeus sekä siirtoetäisyys riippuvat kaistanleveydestä ja valokuituyhteyden vaimennuksesta. Lisäksi siirrettävään nopeuteen ja siirtoetäisyyteen vaikuttavat lähettimen ja vastaanottimen ominaisuudet. (Marttila 2015, 11.)

Kuidun pieni vaimennus sekä suuri kaistanleveys ovat sen merkittävimmät edut verrattuna kuparijohdinkaapeleihin. Digitalisoituvassa maailmassa, jossa tiedonsiirto- ja käyttäjämäärät kasvavat, kuidun tuoma suuri kaistanleveys on erittäin merkittävä etu. Valokuituyhteyden pienen vaimennuksen merkitys näkyy puolestaan esimerkiksi kaukoverkoissa. (Marttila 2015, 11.)

Valokuidun pienen koon myötä myös valokuitukaapelit ovat rakenteeltaan kevyitä ja helppoja käsitellä. Pieni koko ja kevyt rakenne mahdollistavat esimerkiksi uudenlaisten asennustekniikoiden käytön. (Marttila 2015, 12.)

Kuidun rakenteen, nopeuden ja tiedonsiirtokapasiteetin lisäksi valokuidun etuja ovat muun muassa pitkä käyttöikä, arviolta useampi vuosikymmen. Esimerkiksi opinnäytetyön toimintaympäristössä vanhimmat yksimuotokuidut ovat olleet käytössä yli 20 vuotta. Lisäksi valokuitukaapelit kulkevat maan alla suojassa ulkoisilta vaurion aiheuttajilta kuten esimerkiksi kaatuvilta puilta. Kuidussa ei kulje jännite, jolloin se on turvassa sähköisiltä häiriötekijöiltä. Myöskään vesi ei vaurioita kuitua. (Keski-Suomen Valokuituverkot Oy, [viitattu 27.1.2021].)

2.3 Valokuituliittymät Suomessa

Vuoden 2019 loppuun mennessä valokuituliittymien kokonaismäärä Suomessa oli 977 000 kappaletta, joista suurin osa kotitalouksissa. Lukuun sisältyi myös yritysten käytössä olevat liittymät. Vähän yli puolet kaikista kiinteistä laajakaistaliittymistä oli valokuituliittymiä. (Liikenne- ja viestintävirasto 23.10.2020, 1.)

2.4 Valokuituliittymät Keski-Suomessa

Vuoden 2019 loppuun mennessä valokuitusaatavuus kotitalouksiin Keski-Suomessa oli 33 %. Pientalojen ja rivitalojen valokuitusaatavuuden osuus oli 23 % ja kerrostalojen osuus puolestaan 36 %. (Liikenne- ja viestintävirasto 23.10.2020, 2.)

2.5 Opinnäytetyön toimintaympäristön kuvaus

Keskeisin vaatimus etäohjaukselle ja laadukkaalle suoratoistolle oli mahdollisuus käyttää valokuituverkkoa monipuolisesti. Vaatimukset täyttyivät Kyyjärvellä hyvin, sillä kunta kuuluu Pohjoisen Keski-Suomen Valokuituverkot Oy:n omistajakuntiin. Muita valokuidun runkoverkon omistajakuntia ovat Pihtiputaan, Kannonkosken, Karstulan, Kivijärven, Kinnulan kuntien lisäksi Viitasaaren ja Saarijärven kaupungit. Edellä mainitut kunnat ja kaupungit rakennuttivat kuntakeskuksia yhdistävän noin 350 km:n mittaisen valokuituverkon, joka otettiin käyttöön 2000-luvun taitteessa. Kaustisen seutuverkon kanssa se oli ensimmäisten Suomeen rakennettujen seutuverkkojen joukossa. (Toppinen 2021.)

Pohjoisen Keski-Suomen Valokuituverkot Oy rakensi runkoyhteydet, ja kunnat puolestaan toimipisteidensä väliset yhteydet alueidensa sisällä. Verkon pääpaino oli kuntien välisessä liikenteessä, ja vain harvoja yrityksiä liitettiin valokuituverkkoon. Alkuvaiheessa runkoverkon tietoliikenne perustui ATM-tekniikkaan 256 Mbps:n nopeudella, joka riitti hyvin silloiseen tiedonsiirtoon kuntien välillä. (Toppinen 2021.)

Vuonna 2021 runkoverkolla on ikää hieman yli 20 vuotta ja samoissa valokuiduissa verkon nopeus on 10 Gbps. Edellä mainittu kehitys kuvaa hyvin valokuituverkon pitkäaikaista toimintakykyä sekä tiedonsiirtokapasiteetin merkittävää kasvua. (Toppinen 2021.)

Valtakunnallisen Laajakaista kaikille 2015 -hankkeen käynnistyttyä Osuuskunta Kuuskaista aloitti valokuituverkon ja liittymien rakentamisen kotitalouksiin Keski-Suomen alueella. Hankkeen tavoitteena oli rakentaa valtion, kuntien ja kotitalouksien yhdessä rahoittama kattava valokuituverkko niin kotitalouksiin kuin yrityksiin. Rahoitusvaikeuksien takia hankkeen jatkajaksi perustettiin kuntien omistama Keski-Suomen Valokuituverkot Oy. Kyyjärven osalta rakennushanke onnistui. Keskustaajaman kotitalouksista 80 %, yrityksistä 90 % ja rivitaloista 100 % on liittynyt valokuituverkkoon. (Toppinen, 2021.)

Tässä opinnäytetyössä käytettiin Pohjoisen Keski-Suomen Valokuituverkot Oy:n, Keski-Suomen Valokuituverkot Oy:n ja Kasenet Oy:n runkoverkon tiedonsiirtokapasiteettia. Opinnäytetyön tilaaja on rakennuttanut toimitiloihinsa omalla kustannuksellaan 48-kuituisen valokuituverkon toimitilan ja valokuitukeskuksen välille. Tästä syystä etäohjauksen ja videokuvan siirron testaamisen mahdollisuudet olivat hyvät.

3 KÄYTETYT LAITTEET JA PALVELUT

Tässä luvussa käydään läpi työssä käytettyjä laitteita, kokoonpanoja ja palveluita. Etäohjausta suunniteltiin toimeksiantajan tällä hetkellä käytössä oleviin laitteisiin.

3.1 Robottikamerat

Opinnäytetyön toteuttamista varten toimeksiantaja varasi kamerakalustostaan yhteensä neljä Panasonicin ammattitason 4K-robottikameraa, joista kaksi oli tyyppimerkinnältään Panasonic AW-UN70W- ja kaksi AW-UE70W-kameraa.

3.1.1 Panasonic AW-UN70W

Panasonicin valmistama AW-UN70W on ammattitason PTZ (engl. Pan/Tilt/Zoom) -robottikamera, jota voidaan ohjata verkkoselaimella, LAN-verkon välityksellä tai sarjaliitännän kautta. Kamera mahdollistaa IP-suoratoiston 4K-kuvanlaadulla sekä kameran sisäisen 4K-tallennuksen microSD-kortille. Kamera pystyy tuottamaan maksimissaan UHD-kuvanlaatua eli 3840 x 2160 resoluution kuvaa 25 kuvan taajuudella HDMI:n välityksellä. Kamerasta saa myös Full HD-kuvaa SDI-liitännän kautta. Kamerassa on PoE+-yhteys, joka mahdollistaa kameran ohjauksen, virransyötön sekä monitoroinnin CAT6-kaapeliyhteyden kautta. Kamerassa on valmiina NDI|HX-tuki. (Panasonic, [viitattu 20.1.2021].)

NDI tulee sanoista Network Device Interface ja sen on kehittänyt NewTek. NDI mahdollistaa videon siirron verkkoyhteyden välityksellä, mikä on merkittävä ominaisuus esimerkiksi silloin, kun tehdään suorita lähetyksiä. NDI-tekniikalla siirretty videovirta voidaan näyttää suoraan TV:ssä tietokoneen kautta. (Benner, 2020.)

NDI-ominaisuuden avulla kokoonpanoon voidaan liittää esimerkiksi useampia kameroita käyttäen vain yhtä LAN-porttia. Ainoana rajoittavana tekijänä on verkkoyhteyden siirtonopeus. Esimerkiksi yksittäinen kamera, joka käyttää NDI-ominaisuutta ja tuottaa 1920x1080 resoluution kuvaa 30 kuvan taajuudella, vaatii vähintään siirtonopeuden 125 Mbps. NDI|HX-versiota käytettäessä samanlainen videovirta vaatii vähintään siirtonopeuden 8–20 Mbps. (Perez 4.4.2019.)



Kuva 11. Panasonicin AW-UN70-sarjan kameroita (Panasonic [viitattu 20.1.2021])

3.1.2 Panasonic AW-UE70W

Panasonicin AW-UE70-robottikamera on teknisiltä perusominaisuuksiltaan lähes samanlainen verrattuna AW-UN70W-kameraan. Ainoa merkittävä ero on integroidun NDI-tuen puuttuminen AW-UE70W-kamerasta. AW-UE70W-versioon voidaan päivittää maksullinen NDI | HX-tuki hankkimalla lisenssi NewTekiltä. (Panasonic, [viitattu 19.1.2021].)

3.2 Robottikameroiden ohjain

AW-RP50EJ on Panasonicin valmistama robottikameraohjain. Ohjaimeen voidaan syöttää enimmillään 100 kameran IP-osoitteet, mutta vain siten, että viittä eri kameraa voidaan ohjata samanaikaisesti. (Panasonic, [viitattu 4.2.2021].)



Kuva 12. AW-RP50-robottikameraohjain (Panasonic, [viitattu 4.2.2021]).



Kuva 13. Ohjaimen tuloja (Panasonic, [viitattu 4.2.2021]).

3.3 Audiojärjestelmä ja oheislaitteet

Audiojärjestelmänä käytettiin Shuren konferenssimikrofonijärjestelmää, joka koostuu DIS-CCU-keskuksesta, DC5890P ohjelmoitavista pöytäyksiköistä sekä niihin liitettävistä GM5923-joutsenkaulamikrofoneista.

3.3.1 Shure GM5923

GM5923 on Shuren valmistama joutsenkaulamikrofoni. Mikrofonista on olemassa 40 cm:n ja 50 cm:n mallit. Taipuva kaula helpottaa mikrofonin asentamista ja säätämistä paikasta riippumatta. Kaulassa on myös kirkas LED-valo, josta näkee, onko mikrofoni päällä vai pois. Joutsenkaulamikrofonin käyttö tapahtuu ohjelmoitavan pöytäyksikön kautta. (Shure, [viitattu 23.1.2021].)



Kuva 14. GM 5923-joutsenkaulamikrofoni yhdistettynä pöytäyksikköön. (Shure, [viitattu 23.1.2021])

3.3.2 Shure DC5890P

DC5890P on Shuren valmistama ohjelmoitava pöytäyksikkö, jota käytetään GM 5923-joutsenkaulamikrofonien ja osallistujien puheenvuorojen hallintaan. Pöytäyksiköt kytketään sarjaan käyttämällä CAT5e-kaapeleita tai sitä uudempia CAT-kaapeleita. Sarjaan kytketyt pöytäyksiköt liitetään DIS-CCU-keskusyksikön yhteen tai tarvittaessa useampaan tulokanavaan. Tulokanavia on yhteensä neljä, jolloin voidaan muodostaa maksimissaan 250 mikrofonin hallittava kokonaisuus. (Shure, [Viitattu 21.1.2021].)

Pöytäyksikön käyttöasetukset määritellään DIS-CCU keskusyksikössä, jolloin sama fyysinen laite voi toimia eri tavalla puheenjohtajan ja osallistujan tai tulkin käytössä. Pöytäyksikössä on kaiutin, jonka ansiosta osallistujat kuulevat puheenvuorot myös suurissa tiloissa kaukana toisistaan. Lisäksi kahdesta eri kuulokeliitännästä voidaan kuunnella esimerkiksi erikieliset tulkkaukset tarvittaessa. (Shure, [Viitattu 20.1.2021].)



Kuva 15. DC5890P ohjelmoitava pöytäyksikkö ilman mikrofonia. (Shure, [viitattu 21.1.2021])

3.3.3 Shure DIS-CCU

Shuren valmistama DIS-CCU on keskusyksikkö, jonka avulla hallinnoidaan osallistujien puheenvuoroja ja mikrofonikokoonpanoa. Pöytäyksiköiden virransyöttö ja mikrofonien ohjaus tapahtuu keskusyksikön kautta. DIS-CCU mahdollistaa mikrofonijärjestelmän monitoroinnin ja ohjauksen verkkoselaimella joko tietokoneella tai mobiililaitteilla. (Shure, [viitattu 25.1.2021].)

Keskusyksikkö kytketään tietokoneen TCP/IP-porttiin CAT5e-kaapelilla tai sitä uudemmallalla CAT-kaapelilla. Tietokoneen ja keskusyksikön tulee olla samassa IP-osoiteavaruudessa, jolloin hallinta onnistuu syöttämällä keskusyksikön IP-osoite verkkoselaimen URL-kenttään. Tällä keinoin päästään käsiksi Shuren omaan web-pohjaiseen käyttöliittymään, jolla hallinnoidaan asennettua mikrofonikokoonpanoa. (Shure, [viitattu 25.1.2021].)

Keskusyksiköllä ohjelmoidaan pöytäyksiköt toimimaan osallistujan profiilin mukaan, joita voi olla kolme erilaista: puheenjohtaja, osallistuja ja tulkki. Keskusyksiköllä määritellään myös ennalta sovittujen periaatteiden mukaan osallistujien puheenvuorojen käsittely. Käytettävissä on neljä eri toimintamallia, automaattiohjaus, manuaalinen, FiFo (engl. First in First out) sekä äänellä aktivoitava malli. (Shure, [viitattu 25.1.2021].)

Taulukko 1. DIS-CCU-keskusyksikön ohjaustavat. (Shure, [viitattu 26.1.2021]).

Automaattiohjaus	Avauspainiketta painamalla osallistujan mikrofoni avautuu, jos puhujalistalla on tilaa. Automaattiohjausta käytettäessä puheenvuoropyynnöt eivät mene jonoon. Mikäli listalla ei ole tilaa, mikrofoni pysyy kiinni.
Manuaalinen ohjaus	Manuaaliohjauksessa puheenvuoropyyntö menee jonoon, jota hallinnoi puheenjohtaja tietokoneella ja web-selaimella. Puheenjohtaja avaa ja sulkee osallistujan pöytäyksikön. Manuaaliohjaus on ainoa toimintamalli, jossa web-selain on välttämätön.
FiFo	Mikrofoni kytkeytyy päälle automaattisesti, mikäli puhujalistalla on tilaa. Listan ollessa täynnä, puheenvuoropyynnöt menevät pyyntöjen mukaiseen järjestykseen. Puheenvuoro päätetään sulkemalla mikrofoni, jolloin seuraavan osallistujan mikrofoni kytkeytyy päälle.
Äänellä aktivoitava ohjaus	Mikrofoni kytkeytyy automaattisesti päälle, kun osallistuja alkaa puhua tai painaa avauspainiketta. Mikrofoni sulkeutuu automaattisesti, kun puhuminen loppuu. Tässä ohjaustavassa ei ole puheenvuoropyyntöjä.



Kuva 16. Shuren DIS-CCU-keskusyksikkö. (Shure, [viitattu 25.1.2021])

3.4 Toimintaympäristössä käytetty suoratoistopalvelu

Toimeksiantaja käyttää suoratoistopalveluissaan kahta Kasenet Oy:n seutuverkossa olevaa palvelinta, joista toinen on toimeksiantajan oma ja toinen vuokrattu. Teradek VidiU Pro enkooderi lähettää 1080p25/50 Hz:n videokuvaa palvelimille, joissa vastaanottajana toimii Java-pohjainen suoratoistopalvelu Wowza Streaming Engine. Wowza Streaming Engine puolestaan jakaa videokuvan eteenpäin päätelaitteen pyytämän protokollan mukaan useammassa eri nopeusluokassa.

3.5 Teradek VidiU Pro

VidiU Pro on Teradekin valmistama H.264-enkooderi. Laitetta käytetään videolähetysten lähettämiseen suoratoistopalveluihin. Enkooderi toimii langallisen ja langattoman verkkoyhteyden lisäksi myös mobiiliyhteyden välityksellä 4G- ja 3G-verkossa. Pro-mallissa on kahden yhtäaikaisen suoratoiston tuki sekä mahdollisuus tallentaa video SD-kortille tai USB-tikulle. Laitteessa on lisäksi suora tuki palveluntarjoajiin kuten esimerkiksi YouTubeen, Facebookiin, Twitchiin ja Wowzaan, mikä tekee streamaus-toiminnan asetusten käyttöönotosta helpompaa ja nopeaa. (Avecom, [viitattu 26.1.2021].)

Taulukko 2. Teradek VidiU Pro -enkooderin tukemat lähtöresoluutiot (Teradek [viitattu 26.1.2021]).

Kuvasuhde/ resoluutio	4:3	16:9
Full HD:	1440x1080	1920x1080
HD	960x720	1280x720
High	720x540	960x540
Medium	560x414	736x414
Low	368x270	480x270
Mobile	272x200	360x200

Teradek VidiU Pron videon sisääntulona käytetään HDMI-liitäntää. VidiU Pron välittämää maksimaalista ulostulevaa videota voidaan ilmaista merkinnällä 1080p30, joka tarkoittaa progressiivista Full HD-resoluution kuvaa 30 kuvan päivitysnopeudella.

4 TOTEUTUS

Tässä luvussa kerrotaan opinnäytetyön käytännön osuudesta ja siihen liittyvistä valmisteluista. Etäohjausta ja videokuvan siirtoa testattiin eri ympäristöissä lukuisia kertoja. Tähän osioon on koottu keskeisimmät testit ja tulokset.

4.1 Verkon rakentaminen etäohjauksen testaamista varten

Testiympäristön perustaminen suunniteltiin Pohjoisen Keski-Suomen Seutuverkot Oy:n ja verkon runkolaitteita ylläpitävän JokilCT Oy:n kanssa. Kuntia yhdistävään seutuverkkoon perustettiin oma Videokuvausverkko-niminen virtuaalilähiverkko eli VLAN. Virtuaalilähiverkkoon määritettiin täysin oma IP-osoiteavaruus kameroille, ohjaimille sekä tietokoneille.

Näin määritellyssä virtuaalilähiverkossa oli se etu, että se voitiin siirtää kytkimeltä toiselle paikallisesti tai jopa naapurikuntiin saakka. Tavoitteena oli tutkia videokuvansiirtoa, etäohjausta ja viivettä kymmenien kilometrien päästä. Videokuvan ja äänen siirrossa tutkittiin NewTekin kehittämää NDI|HX-tekniikkaa.



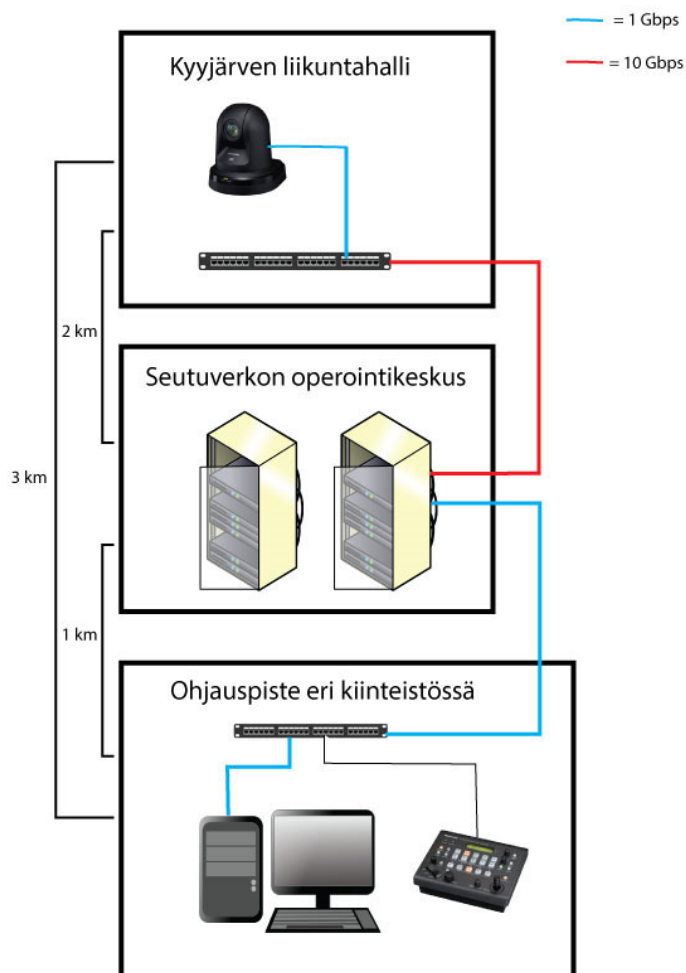
Kuva 17. Laitteistokokoonpano ensimmäiseen testiin.

Kuvassa 17 on esitetty ensimmäisessä testissä käytetyt laitteet. Ensimmäinen kokeilu aloitettiin antamalla laitteille seutuverkon IP-osoitteet, mutta laitteet kytkettiin kuitenkin suoraan toisiinsa TP-Link-peruskytkimellä. Mahdollisimman suoralla kytkennällä eliminoitiin seutuverkon vaikutukset ja päästiin tutkimaan ohjauksen toimivuutta, kuvan siirtoa kameralta tietokoneelle ja videokuvassa mahdollisesti esiintyviä häiriöitä. Verkon viivettä testattiin Ping-komennolla, ja laitteiden välinen viive oli alle yhden millisekunnin luokkaa. Kameran ohjaus toimi lähes reaaliajassa. Tietokoneelle siirtynyt videokuva kuitenkin pikselöityi ja etenkin kameran sivuttaissiirroissa esiintyi häiritsevää, muutaman millisekunnin kestävästä kuvan pysähtymistä. Zoomatessa ei kuvassa havaittu ongelmia. Pikselöitymisen ongelma korjaantui täysin ottamalla Low Latency -asetus pois päällä, sillä tässä tapauksessa minimaalisella viiveellä ei ollut merkitystä.

Ensimmäisen testin tulokset videokuvan osalta eivät olleet lupaavia, mutta ohjaus ja äänensiirto toimivat moitteettomasti.

4.2 Nopealiikkeisen kuvan testaaminen

Opinnäytetyön toinen testi toteutettiin Kyyjärven liikuntahallilla, jossa kuvattiin miesten I-sarjan lentopalloharjoituksia. Testin tarkoituksena oli kasvattaa laitteiden välistä etäisyyttä virtuaalilähiverkossa. Lisäksi testissä tutkittiin nopealiikkeisen kuvan siirtymistä liikuntahallista lähetyskoneelle, joka sijaitsi noin kolmen kilometrin päässä valokuituverkkoa pitkin mitattuna.



Kuva 18. Toisen testin laitekoonpanon ja tiedonsiirtoyhteyden havainnollistaminen.

Kuvassa 18 on esitelty testissä käytetty laitekoonpano sekä tiedonsiirtoyhteydet. Tietoliikenne kulki laitteiden välillä kolmen kytkimen kautta kuvan 18. osoittamilla nopeuksilla.

Kameran ohjauksessa käytettiin sekä fyysistä robottikameraohjainta että verkkoselaimen välityksellä tehtyä ohjausta. Verkkoselaimella tehty ohjaus toteutettiin kameraselainkäyttöliittymän kautta. Kummassakaan ohjaustavassa viive ei ollut häiritsevää, ja näin ollen nopeasti liikkuvia pelaajia ja tilanteita pystyi seuraamaan ongelmitta. Selaimella toteutettu ohjaus tuntui sujuvammalta kuin fyysisellä ohjaimella.

Videokuvaa siirrettiin NDI|HX-tekniikalla useammassa eri formaatissa, joita olivat 1080p/25fps, 1080p/50fps ja 4K/25fps. Videokuvan siirron vaatima kaistanleveys oli sekä 1080p/25fps- että 1080p/50fps-tarkkuudella keskimäärin 25 Mbps ja 4K/25fps-tarkkuudella puolestaan 57 Mbps. Urheilua ja liikuntaa kuvatessa paras tulos saavutettiin käyttämällä 1080p/50fps-tarkkuutta, koska liikkeet olivat sulavampia verrattuna tarkkuuteen 1080p/25fps. 4K/25fps-formaatin kuvanlaatu oli huomattavasti tarkempi, mutta liike pysähteli niin häiritsevästi, ettei sitä olisi voitu käyttää lähetyksissä. Verkon kaistanleveys oli riittävä, joten kuvan pysähtely saattoi johtua tietokoneen näytönohjaimesta. 4K-videokuvan siirtoa ei päästy testaamaan paremmalla näytönohjaimella.

Tehdyn testin perusteella voitiin todeta, että esimerkiksi nopealiikkeisiä urheilutapahtumia voidaan etäohjata ja laadukasta 1080p/50fps-tarkkuuden videokuvaa voidaan siirtää verkossa virheettömästi. Testin johtopäätöksenä voidaan puolestaan todeta, että yhden kameraselaintuotannoissa kannattaa käyttää kameraselaintuotannon omaa selainkäyttöliittymää. Selainkäyttöliittymässä ohjaus tapahtuu hiiren kautta, jolloin ohjauksesta saadaan erittäin tarkka ja käyttäjäystävällinen muuttamalla hiiren DPI-lukua pienemmäksi. AW-RP50-robottikameraohjain sopii paremmin vähemmän liikettä vaativien kohteiden seuraamiseen. Lisäksi robottikameraohjain on hyödyllisempi monikameraselaintuotannoissa.

Vaikka laitteiden välinen etäisyys kasvoi, ja virtuaalilähiverkossa oli useampia kytkimiä, videokuvan siirtäminen toimi huomattavasti paremmin kuin ensimmäisessä testissä.

4.3 Hybridiohjauksen kokeilu

Hybridiohjausta kokeiltiin Miesten 1-sarjan lentopallo-ottelussa. Kyyjärven liikuntahallissa oli paikan päällä miksaus- ja lähetysyksikkö, johon oli kytketty SDI-kaapeloinnilla kaksi AW-UN70W-robottikameraa sekä yksi perinteinen Panasonicin AG-DVX200-videokamera. Videokameralla oli oma kuvaaja sekä hallissa olevia robottikameroita ohjasi lähetyksen miksaaja. Hallissa oli lisäksi yksi NDI-tekniikkaa tukeva robottikamera, jota ohjattiin eri toimipisteessä kolmen kilometrin päästä.

Etäohjattavan kameran tavoitteena oli keskittyä kuvaamaan syöttäjää, verkkotilanteita sekä kentän rajoja. Etäohjattua videokuvaa oli mahdollista ottaa mukaan suoraan lähetykseen. Etäohjauksen toimivuutta seurattiin videokuvan perusteella ja ohjaus toimi reaaliajassa.

Testin ainoa ongelma oli siinä, että NDI-tekniikalla siirrettyä videokuvaa ei saatu näkymään samanaikaisesti lähetysyksikössä ja etäohjauspisteessä. Ongelma ratkaistiin ottamalla lähetysyksikköön videokuva NDI-tekniikalla, ja etäohjaus suoritettiin kameran selainkäyttöliittymän avulla.

Etäohjauskoneelle tehtiin tallenteita 1080p/50fps-formaatilla siten, että videokuvan kaistanleveyttä vaihdeltiin 5,8 Mbps:n ja 27 Mbps:n välillä. Tallenteet olivat noin 10 minuutin pituisia. Kuvanlaadussa ei ollut merkittävää eroa. Videotallenteita tutkittaessa VLC Media Player -ohjelmalla havaittiin, ettei äänessä ja videokuvassa ollut hukattuja ruutuja. Tällä perusteella voidaan todeta, että videokuva ja ääni saatiin siirrettyä virheettömästi valokuituverkossa.

Suoritettujen testien perusteella hybridiohjausta voidaan käyttää jopa urheilulähetyksissä virheettömästi. Jatkossa yhdistys tulee käyttämään hybridiohjausta ensisijaisesti hidastustilanteissa ja lähikuvauksessa, jolloin tavoitteena on lähinnä monipuolistaa lähetyksen sisältöä.

4.4 Kahden kameran etäohjaus

Opinnäytetyön viimeisessä testissä kokeiltiin kahden kameran etäohjausta pitkällä välimatkalla. Testissä käytettiin kahta AW-UN70W-robottikameraa siten, että toinen

kameroista sijaitsi Kivijärvellä ja toinen Kyyjärvellä. Kyyjärvellä kamera ja etäohjauspiste sijaitsivat eri kiinteistöissä noin 2 kilometrin etäisyydellä toisistaan.

Kuntien välinen etäisyys on noin 45 kilometriä, mutta valokuituverkkoa pitkin mitattuna kameroiden etäisyys oli lähes 150 kilometriä. Pohjoisen Keski-Suomen seutuverkossa tietoliikenne kulkee Kyyjärveltä Saarijärven ja Kannonkosken kautta Kivijärvelle. Tietoliikenne kulki seitsemän kytkimen kautta ja lähes koko matkan 10 Gbps:n runkoverkossa. Verkon nopeus kameroiden ja ohjauksen liitoskohdissa oli 1 Gbps. Verkon viive oli ping-komennolla mitattuna yhdestä kolmeen millisekuntia. Kumpaankin kameraan kytkettiin lisäksi analoginen mikseri ja mikrofoni äänen kaksisuuntaista siirtoa varten.

Testin tuloksena saatiin lähes reaaliaikainen kaksisuuntainen kommunikaatio 1080p/50fps -kuvanlaadulla. Tämän perusteella voitiin todeta, että kameraa voi ohjata alle kolmen millisekunnin viiveellä yli sadan kilometrin etäisyydeltä virheettömästi. Kuva ja ääni siirtyivät valokuituverkkoa pitkin virheettömästi. Videokuvassa ei esiintynyt pikselöitymistä tai pysähtelyä.

5 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli testata robottikameroiden etäohjaamista ja videokuvan siirtoa valokuituverkossa. Lisäksi tavoitteena oli selvittää, voiko toimeksiantajan nykyistä suoratoistotoimintaa kehittää siten, että jatkossa NettiTV-lähetykset voitaisi toteuttaa myös osittain etäohjauksella.

Opinnäytetyön teoriaosuus sisälsi perustietoa valokuidusta, sen toimintaperiaatteesta sekä hyödyistä tiedonsiirtotekniikkana. Lisäksi teoriaosuudessa esiteltiin opinnäytetyön toimintaympäristö sekä työssä käytetyt laitteet ja ohjelmistot. Työn toteutusosassa esiteltiin robottikameroiden etäohjaukseen tarvittavat valmistelut, tehdyt testit ja tulokset.

Alkuvaikeuksien jälkeen onnistuttiin rakentamaan suunnitelmassa tavoiteltu toimintaympäristö. Projektin lopussa etäisin kamera oli lähes 150 kilometrin päässä valokuituverkkoa pitkin mitattuna. Verkon viiveen ollessa yhdestä kolmeen millisekuntia, videokuva ja ääni siirtyivät lähes reaaliaikaisesti. Kameroita pystyttiin ohjaamaan sujuvasti niin fyysisellä ohjaimella kuin selainkäyttöliittymän kautta. Verkkoselaimella onnistui myös kameran hallinta ja erilaisten säätöjen tekeminen etänä. Testien perusteella saatiin onnistuneet tulokset 1080p/50fps-videokuvalla. 4K-kuvan siirtoa testattiin, mutta se ei ole vielä tätä päivää etäisyyksistä riippumatta. 4K-kuvan siirron ongelmia ei tässä opinnäytetyössä tarkemmin selvitetty.

Opinnäytetyön myötä toimeksiantaja sai kauan kaipaamiaan testituloksia etäohjauksen toimivuudesta ja valokuituverkon hyödyntämisestä etäohjauksessa. Yhteenvetona voitiin todeta, että työlle asetetut tavoitteet toteutuivat. Myönteiset tulokset avasivat uusia näkemyksiä kehittää yhdistyksen toimintaa etenkin koronapandemian aikana ja sen jälkeen. Etäohjattu lähetystoiminta soveltuu tällä hetkellä hyvin perinteisiin kokouksiin, seminaareihin, luentoihin ja jopa urheiluun. Jatkossa etenkin kaksisuuntaisen kommunikaation kehittäminen avaa täysin uusia mahdollisuuksia esimerkiksi opetuksessa, tapahtumissa samoin kuin yhteisöjen ja jopa yritysten toiminnan kehittämisessä.

Toimeksiantaja aikoo hyödyntää opinnäytetyön tuloksia jo lähitulevaisuudessa, sillä suunnitelmissa on laatia hankesuunnitelma jatkotutkimuksia ja kehittämistä varten.

LÄHTEET

- Avecom. Ei päivystä. Teradek VidiU-Pro. [Verkkosivu]. Avecom. [Viitattu 26.1.2021]. Saatavana: <https://www.avecom.fi/tuote/teradek-vidiu-pro/>
- BCC Solutions. Ei päivystä. Valokaapeli. [Verkkosivu]. BCC Solutions. [Viitattu 8.2.2021]. Saatavana: <https://www.bccsolutions.fi/teknologiat/valokaapeli/>
- Benner, M. 21.8.2020. What is NDI camera? [Verkkosivu]. StreamGeeks. [Viitattu: 19.1.2021]. Saatavana: <https://streamgeeks.us/what-is-an-ndi-camera/>
- Huumarkangas, V. 2021. Tuotantokoordinaattori. Kyyjärven Mediamyllärit ry. Haastattelu 4.3.2021.
- Keski-Suomen Valokuituverkot Oy. Ei päivystä. Miksi valokuitu? [Verkkosivu]. Keski-Suomen Valokuituverkot Oy. [Viitattu 27.1.2021]. Saatavana: <https://ksvv.fi/liittyma-ja-palvelu/miksi-valokuitu/>
- Laaksonen, P. 2014. Kuidunrakentajan käsikirja. [Verkkokirja]. Suomen Seutuverkot ry. [Viitattu 11.2.2021]. Saatavana: <https://www.seutuverkot.fi/assets/files/kuiturakentajan-kasikirja.pdf>
- Liikenne- ja viestintävirasto. 23.10.2020. Liikenne- ja viestintäviraston valokuitukatsaus. [Verkkosivu]. Liikenne- ja viestintävirasto. [Viitattu 28.1.2021]. Saatavana: https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/Liikenne-%20ja%20viestint%C3%A4viraston%20valokuitukatsaus_0.pdf
- Marttila, S. 2015. FTTX – Optiset liityntäverkot (FIN). [Verkkokirja]. Oulu: Nestor Cables Oy. [Viitattu 26.1.2021]. Saatavana: <https://www.nestorcables.fi/kaapelitietoutta/kirjat-tai-julkaisut.html>
- Marttila, S. 2021. Toimitusjohtaja. Televerkkopalvelut Seppo Marttila Oy. Sähköpostihaastattelu 10.2.2021.
- Panasonic. Ei päivystä. AW-RP50 Compact Remote Camera Controller. [Verkkosivu]. Panasonic North America. [Viitattu 4.2.2021]. Saatavana: <https://na.panasonic.com/us/audio-video-solutions/broadcast-cinema-pro-video/camera-controllers/aw-rp50-compact-remote-camera-controller>
- Panasonic. Ei päivystä. AW-UE70 4K Professional PTZ Camera. [Verkkosivu]. Panasonic North America. [Viitattu 19.1.2021]. Saatavana: <https://na.panasonic.com/us/audio-video-solutions/broadcast-cinema-pro-video/professional-ptz-cameras/aw-ue70-4k-professional-ptz-camera>

Panasonic. Ei päiväystä. AW-UN70 4K Professional PTZ Camera with NDI | HX. [Verkkosivu]. Panasonic North America. [Viitattu 20.1.2021]. Saatavana: <https://na.panasonic.com/us/audio-video-solutions/broadcast-cinema-pro-video/professional-ptz-cameras/aw-un70-4k-professional-ptz-camera-ndirhx>

Perez, A. 4.4.2019. NDI and NDI | HX for network video production. [Verkkosivu]. Epiphan Video. [Viitattu 19.1.2021]. Saatavana: https://www.epiphan.com/blog/ndi-ndihx-network-video-production/?gclid=EAlaIQobChMlnLr1kqet7gIV1fZRCh0iCw9uEAAYASAAEgIEdPD_BwE

Shure. Ei päiväystä. DC 5980 P User Guide. [Verkkosivu]. Shure. [Viitattu 20.1.2021]. Saatavana: <https://pubs.shure.com/guide/DDS5900/en-US>

Shure. Ei päiväystä. DC 5980 P. [Verkkosivu]. Shure. [Viitattu 21.1.2021]. Saatavana: https://www.shure.com/en-US/products/conference-discussion/dds_5900/dc5980p

Shure. Ei päiväystä. DIS-CCU Central Control Unit Quickstart Guide. [Verkkosivu]. Shure. [Viitattu 26.1.2021]. Saatavana: <https://m.markertek.com/Attachments/Manuals/Shure/DIS-CCU-US-Manual.pdf>

Shure. Ei päiväystä. DIS-CCU. [Verkkosivu]. Shure. [Viitattu 25.1.2021]. Saatavana: https://www.shure.com/en-US/products/conference-discussion/mxc/dis_ccu

Shure. Ei päiväystä. GM 5923 & GM 5924. [Verkkosivu]. Shure. [Viitattu 23.1.2021]. Saatavana: <https://www.shure.com/en-US/products/accessories/gm5923-gm5924>

Teradek. Ei päiväystä. VidiU and VidiU Pro Reference Guide. [Verkkosivu]. Teradek. [Viitattu 26.1.2021]. Saatavana: http://cdn.teradek.com/Public/VidiUPro/Docs/Teradek_VidiU_Reference_Guide_v3_1117.pdf

Toppinen, A. 2021. IT-vastaava. Kyyjärven kunta. Sähköpostihaastattelu 25.1.2021.

Worbis. Ei päiväystä. SFP BiDi moduuli 1,25Gbit 1310/1490nm 20km. [Verkkosivu]. Orbis Oy. [Viitattu 11.2.2021]. Saatavana: <https://www.worbis.fi/sfp-bidi-moduuli-1-25gbit-1310-1490nm-20km.html>