



Antti Huusko

Striimausjärjestelmän tekniset elementit

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Medianomi

Esitys- ja teatteritekniikka

Opinnäytetyö

9.12.2021

Tiivistelmä

Tekijä(t):	Antti Huusko
Otsikko:	Striimausjärjestelmän tekniset elementit
Sivumäärä:	37 sivua
Aika:	9.12.2021
Tutkinto:	Medianomi
Tutkinto-ohjelma:	Esitys- ja teatteritekniikka
Ohjaaja(t):	Lehtori Mikko Pirinen

Opinnäytetyön tavoite on kertoa lukijalle, millä elementeillä ja mitä teknisiä asioita on otettava huomioon, kun aloitetaan rakentamaan striimausjärjestelmää. Tarkoituksena on auttaa lukijaa rakentamaan itselleen omaan käyttötarkoitukseen soveltuva sekä toimiva striimausjärjestelmä.

Opinnäytetyön alussa kerrotaan striimauksessa yleisimmin käytettävistä tuotteista ja ohjelmistoista, joihin tekijä on törmännyt työskennellessään striimauksen parissa. Aihe käsitellään laitelistauksen muodossa, jonka ohessa selitetään järjestelmän kunkin laitteen tehtävä. Osalle laitteista annetaan myös vaihtoehtoisia ratkaisuja, mikä antaa lukijalle mahdollisuuden pohtia eri vaihtoehtojen välillä rinnastaen laitetta esimerkiksi omaan käyttötarpeeseen. Varsinaista vertailua opinnäytetyö ei käsittele, vaan tarkoituksena on käsitellä, millaisia tuotteita on saatavilla sekä kuinka näistä saadaan aikaiseksi toimiva kokonainen järjestelmä.

Opinnäytetyön lopuksi koostetaan mainituista laitteista kaksi erilaista järjestelmää, jotka molemmat ovat hyviä esimerkkejä toimivan järjestelmän rakennuspalikoiden liittämistä toisiinsa. Järjestelmät on toimintaperiaatteiltaan pyritty kehittämään mahdollisimman erilaisiksi toisistaan, mutta monet näistä elementeistä on mahdollista yhdistää toistensa kanssa.

Avainsanat: striimaus, etätahtumat, hybriditapahtumat, striimausjärjestelmät, broadcastjärjestelmä, monikamerajärjestelmä

Abstract

Author(s): Antti Huusko
Title: Technical Elements of Streaming System
Number of Pages: 37 pages
Date: 9 December 2021

Degree: Bachelor of Culture and Arts
Degree Programme: Live Performance Engineering
Instructor: Mikko Pirinen Senior Lecturer

The aim of this study is to describe the technical elements is needed and required when building a streaming system. The main goal is about building a working streaming system that is suitable for use.

First this study discusses the hardware and softwares that are commonly used in streaming systems. The topic is created in a form of a device list that explains the function of each device in the system. Some devices are also given alternative solutions, which allows the reader to reflect between different options, equating the devices with their own needs. The actual comparison is not discussed in the final project. The aim is to discover what kind of products are available and how to create a functional system.

At the end of the thesis, author will compile two different systems from the devices I have mentioned. Both are good examples of creating a functional system from different devices. The policy has been to develop two in many ways different systems as possible, but many of the elements in both systems can be combined.

Keywords: streaming, distant event, hybrid event, streaming system, broadcast system, multicamera system

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Striimaus	3
3	Striimauksen työkalut	4
3.1	Tietokone	4
3.1.1	Emolevy	5
3.1.2	Proessori (CPU)	6
3.1.3	Näytönohjain	7
3.1.4	Verkkokortti	7
3.1.5	RAM-muisti	8
3.1.6	Massamuisti	8
3.1.7	Jäähdytys	9
3.2	Kuvalaitteisto	9
3.2.1	Kamera	9
3.2.2	Kuvamiksaus	12
3.2.3	Kuvan reititys tietokoneeseen	13
3.3	Äänilaitteisto	16
3.3.1	Ulkoinen äänikortti	17
3.3.2	Dante	18
4	Verkkolaitteet	19
4.1.1	Verkkokytkin	21
4.1.2	Reititin	22
5	Striimausverkon vaatimukset	23
5.1	Kaistan leveys ja verkon nopeus	23
5.2	Striimin verkkoyhteyden määrittäminen	24
6	Esimerkkijärjestelmät	26
6.1	Esimerkkijärjestelmä 1	27
6.1.1	Video	28
6.1.2	Ääni	28
6.1.3	Verkko	29
6.2	Esimerkkijärjestelmä 2	30
6.2.1	Tietokone	31

6.2.2	Video	32
6.2.3	Ääni	32
6.2.4	Verkko	33
7	Loppusanat	33
	Lähteet	35

1 Johdanto

Päätin kirjoittaa striimaamisessa käytettävistä järjestelmistä huomattessani, että siitä ei juurikaan ole kirjoitettua materiaalia. Tämän lisäksi oma työurani johdatti minut striimauksen pariin vuoden 2020 koronapandemian aikana, jolloin käytännössä kaikki paikan päällä tapahtuvat yleisötapahtumat, joiden toteutuksessa olin mukana, muuttuivat verkkotapahtumiksi.

Uskon striimauksessa olevaan kasvupotentiaaliin, joka jatkossa yltää myös livetapahtumiin. Striimien suosio on ollut nousussa jo ennen koronapandemian alkua, ja pandemian alettua esimerkiksi Twitch.tv:n suosio kasvoikin vuoden 2020 tammikuun ja toukokuun välissä noin miljoonalla katselulla viikkoa kohden (TwitchTracker n.d.). Tämän lisäksi striimien määrät samassa ajassa Twitch-alustalla kaksinkertaistuivat 53 000:sta 100 000:een kuukautta kohden (TwitchTracker n.d.).

Se, minkä takia striimit ovat niin suosittuja, johtuu niiden mahdollisuuksista interaktiivisuuteen (Matinlauri 2018.). Moni striimausalusta tarjoaa reaaliaikaisen mahdollisuuden yleisiin kommentteihin, joita striimaaja voi lukea ja johon hän voi halutessaan reagoida. Mahdollisuuden olemassaolo luo myös passiivisille seuraajille osallistavan kokemuksen (Matinlauri 2018.).

Striimaus tarjoaa osallistumismahdollisuuden myös henkilöille, jotka ovat syystä tai toisesta estyneitä saapumaan tapahtumapaikalle. Näin esimerkiksi henkilö, joka elää vaikean liikuntarajoitteen kanssa, pääsee osallistumaan tapahtumiin, joihin hänen olisi muuten hankalaa tai jopa mahdotonta osallistua.

Omaan kokemukseeni ja statistiikkaan nojaten uskon, että yleisötapahtumien seuraaminen myös striimin välityksellä tulee jatkossakin olemaan yleistä niin konserttien kuin yritystapahtumienkin osalta.

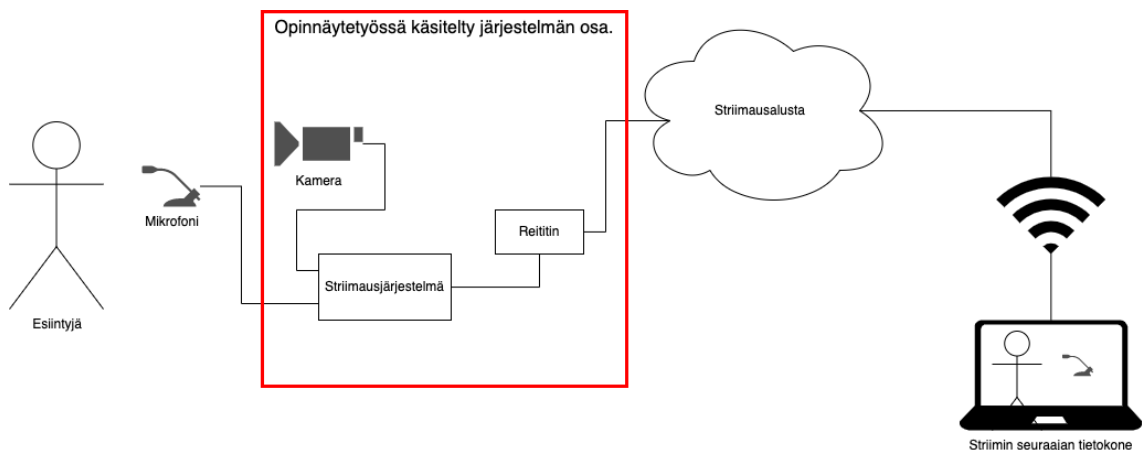
Opinnäytetyön tavoite on kertoa lukijalle, mitä teknisiä asioita on otettava huomioon, kun aloitetaan rakentamaan striimausjärjestelmää, ja kuinka voidaan ratkaista mahdolliset ilmenevät ongelmat. Tarkoituksena on auttaa lukijaa

rakentamaan itselleen omaan käyttötarkoitukseen soveltuva sekä toimiva järjestelmä.

Opinnäytetyö kertoo striimauksessa yleisimmin käytettävistä tuotteista ja ohjelmistoista. Varsinaista vertailua opinnäytetyö ei käsittele, vaan tarkoituksena on käsitellä, millaisia tuotteita on saatavilla, sekä kuinka näistä saadaan aikaiseksi toimiva kokonainen järjestelmä esimerkiksi tapahtumien striimaamiseen.

Jotta opinnäytetyö ei menisi liian yksityiskohtaiseksi, on siitä tarkoituksen mukaisesti pyritty jättämään pois kaikki järjestelmälle ei niin oleellinen, ja modulaarinen laitteisto, kuten mikrofonit. Myöskään esimerkiksi kameroita ei käsitellä sen tarkemmin mitä järjestelmän toimivuuden kannalta on järkevää.

Opinnäytetyö ei myöskään käsittele tai vertaile striimauspalveluita, vaan painopisteen on tarkoitus pysyä laiteteknisissä raameissa. Opinnäytetyössä ei siis kerrota juurikaan itse striimaamisesta, vaan siitä, millainen järjestelmä voi mahdollistaa striimin toteutumisen.



Kuvio 1. Havainnollistava kuva opinnäytetyössä käsiteltävästä striimin osasta.

Kuva: Antti Huusko (2021)

2 Striimaus

Striimaus on tekniikan ammattikielessä vakiintunut, englannin kielestä (streaming) muotoutunut sana (Pyhälähti 2020.), jolla tarkoitetaan datan siirtoa ja käyttöä samanaikaisesti, ja ennen kuin data on vielä kokonaan siirtynyt käyttäjälle (Tieteen termipankki n.d.).

Yleiskieleen vakiintuneena terminä striimauksen rinnalle on tullut suoratoisto (Pyhälähti 2020.). Kielitoimisto on kuitenkin hyväksynyt termin striimaus viralliseksi suomen kielen sanaksi vuonna 2020 (Kielitoimisto 2021.), joten näin ollen käytän sitä opinnäytetyössäni.

Videostriimissä järjestelmässä on kaksi elementtiä, jotka ovat lopputulosta katsovalle henkilölle näkyvimmissä osassa. Kuva ja ääni.

Striimissä näkyvä kohde poimitaan kameralla. Sen linssin läpi tulee valoa, jonka kameran sensori tulkitsee kuvaksi ja muuntaa digitaalisesti bittivirraksi. Tämä bittivirta otetaan vastaan tietokoneeseen, jossa kuvaa voidaan vielä prosessoida ennen sen lähettämistä maailmalle.

Striimin ääni puolestaan poimitaan mikrofonilla. Mikrofoni voi olla sisäänrakennettu kuvaavaan kameraan tai se voi olla täysin oma laite järjestelmässä. Mikrofoni ottaa vastaan ilmassa kulkevia ääniaaltoja, jotka osuvat sen sisälle rakennettuun kapseliin. Kapseli muuttaa ääniaallot sähkövirraksi. Tämä analogiseksi äänisignaalksi kutsuttu sähkövirta syötetään tietokoneessa sijaitsevaan äänikorttiin, joka muuttaa sen digitaalisesti äänisignaalksi. Ääntä voidaan prosessoida esimerkiksi mikserillä ennen tai jälkeen digitaalista muutosta. Kun signaali on muunnettu analogisesta digitaaliseksi osaa tietokone tulkitaa, miltä saapuneen äänen pitäisi kuulostaa.

Kun tietokone on saanut yhdistettyä kuva- ja äänisignaalin toisiinsa, alkaa se pakkaamaan niiden luomaa tiedostoa lähetettävään muotoon. Nämä tiedostot sisältävät paketit siirretään tietokoneesta reitittimeen, josta paketit lähetetään striimausalustan (Youtube, Vimeo tms.) serverille. Tietokone tietää minne

striimiä kuuluu lähettää sille määritetyn RTMP-osoitteen sekä striimiavaimen avulla.

Kun serveri alkaa vastaanottamaan tietokoneen lähettämiä tiedostoja alkaa se purkamaan ja toistamaan niiden sisältämää kuva- ja äänidataa toistimellaan. Serveri luo tälle toistimelle verkkosivun ja katselulinkin, jonka kautta striimiä on mahdollista seurata minkä tahansa tietokoneen verkkoselaimella.

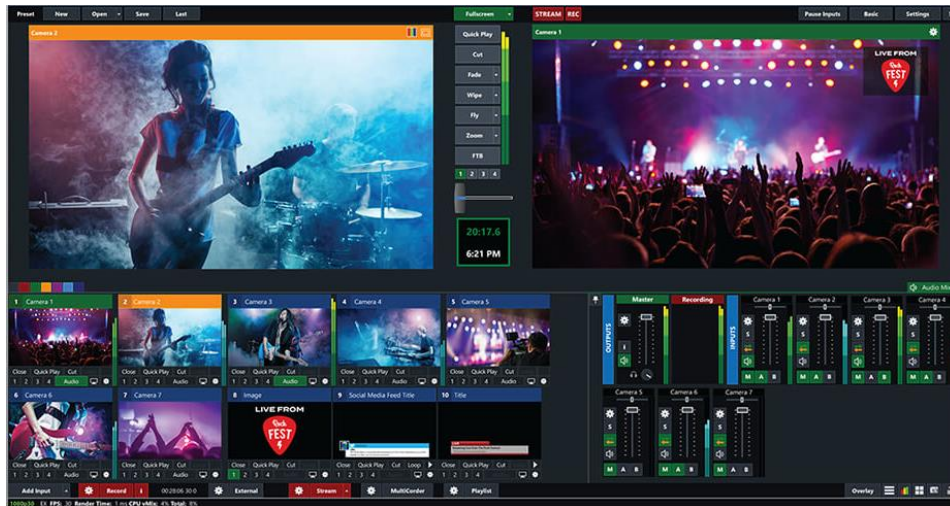
3 Striimauksen työkalut

3.1 Tietokone

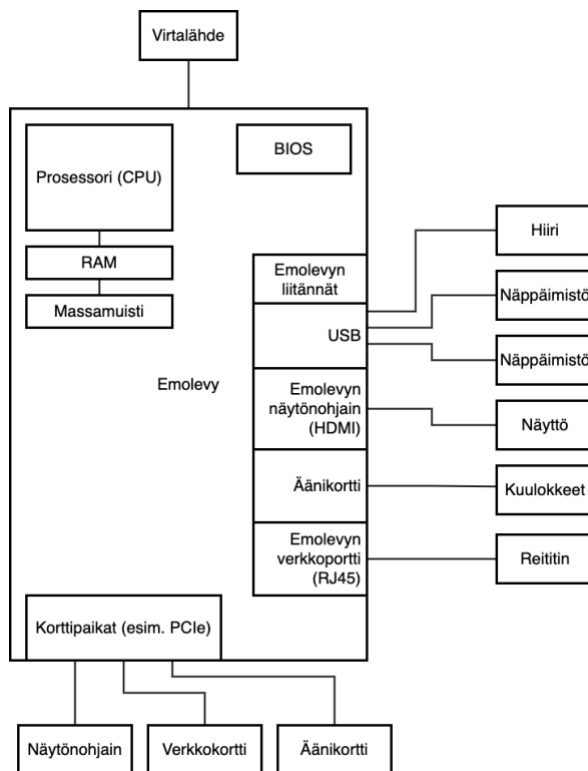
Tietokone on hyvin keskeisessä osassa, kun aletaan miettimään striimausjärjestelmää. Tietokoneen tehtävänä on yhdistää ja prosessoida striimissä näkyvä kuva ja ääni, sekä mahdollisesti vielä enkoodata se alustalle tai toistimelle. Tämän takia tietokoneen komponenttien kuuluisi olla laadukkaita sekä striimaukseen ja videomateriaalin toistoon soveltuvia.

Tässä osiossa käyn läpi tietokoneen komponentteja ja niiden tehtäviä striimausjärjestelmässä. Aiheesta löytyy paljon dataa vMixin nettisivuilta (vmix.com). Tulen siis kertomaan komponenttien käytöstä ensisijaisesti vMix-ohjelman antamien komponenttispeksien perusteella.

Vmix on tietokoneelle asennettava striimausohjelma, joka mahdollistaa kuvan ja äänen tallentamisen sekä lähettämisen. Tämän lisäksi vMixillä on mahdollista muun muassa toistaa mediatiedostoja, ottaa etäyhteyksiä vastaan sekä leikata koko striimilähetys. (vMix.com n.d.) VMix on työn keskiössä osittain sen verkkosivujen monipuolisuuden ja hyvien komponenttilähteiden vuoksi, mutta tämän lisäksi ohjelmaa käyttää moni suomalainen AV-alan yritys.



Kuvio 2. Screenshot vMixin käyttöliittymästä. Kuva. vMix.com (n.d.)



Kuvio 3. Tietokoneen rakenne. Kuva. Antti Huusko (2021)

3.1.1 Emolevy

Emolevyn tehtävä on yhdistää komponentit toisiinsa. Sitä valittaessa kannattaa huomioida, että se tukee yleensä jotain tiettyä prosessoria ja muutamaa eri

muistia. Myös kovalevy, äänikortti sekä näytönohjain vaativat tietynlaista emolevyä toimiakseen. (Mäkiketola 2017, 2.)

Sen lisäksi, että emolevy olisi pelkkä komponentteja yhdistävä piirilevy, se sisältää yleensä yhdysrakenteisia komponentteja, kuten näytönohjaimen. Tätä näytönohjainta ei kuitenkaan kannata käyttää striimauksessa, sillä sen tehon on ajateltu riittävän lähinnä tietokoneen perusohjelmien käyttöön. (Goel 2010)

Monipuolinen sekä vaivaton laajennettavuus komponenttien osalta kannattaa huomioida emolevyä valittaessa (Goel 2010)

3.1.2 Prosessori (CPU)

Tietokoneen aivoina toimiva prosessori (CPU = Central Processing Unit) ja sen tehokkuus ovat avainasemassa kaikessa tietokoneen toiminnassa. Tehokkaan prosessorin tarve ilmenee yleensä silloin, kun tietokoneelta vaaditaan parempaa suorituskykyä, esimerkiksi videon tai suurien kuvatiedostojen muokkaamisessa sekä tietokoneella pelatessa. Markkinoiden johtavia prosessorivalmistajia ovat AMD ja Intel. (Goel 2010)

Striimatessa prosessorin tehtävänä on pakata ja hahmottaa eli renderoida kuvaa striimiin. Striimatun kuvan ruudunpäivitystaajuus (engl. Frame rate) kannattaa olla vähintään 30 kertaa sekunnissa (30 FPS). Suurennettaessa ruudunpäivitystaajuutta kuva muuttuu sulavammaksi, mutta tämä vaatii luonnollisesti prosessorilta sekä nettiyhteydeltä enemmän tehoa. (Streamia.fi n.d.) On myös hyvä muistaa, että tietokone käyttää prosessoria myös muihin tehtäviin, kuten striimausohjelman pyörittämiseen. Näin ollen striimatessa kannattaa sammuttaa striimaavasta koneesta kaikki ylimääräiset ohjelmat, mitä striimatessa ei käytetä.

Kun tietokoneella halutaan käyttää jouhevasti useampaa ohjelmaa samanaikaisesti, on suositeltavaa sisällyttää tietokoneeseen moniydinprosessori. Useamman ytimen sisältävä moniydinprosessori säikeistää suorituksen ja näin jakaa prosessoinnin useammalle ytimelle. (Goel 2010)

3.1.3 Näytönohjain

Tietokoneen näytönohjain on prosessorin (CPU) kanssa työskentelevä komponentti, joka sisältää grafiikkaprosessorin (GPU = Graphics Processing Unit). Kun prosessori hoitaa muita tehtäviä, grafiikkaprosessorin tehtävänä on renderoida grafiikkaa tietokoneen näytöille ja ohjelmiin. (Johnson 2021)

Näytönohjaimen tehokkuutta kannattaa verrata prosessorin tehoon. Jos prosessorin tehokkuus alittaa näytönohjaimen tehon, ei näytönohjaimesta saada kaikkea hyötyä. Sama pätee toisin päin. Mikäli prosessori on paljon tehokkaampi näytönohjaimeen nähden, rajoittaa näytönohjain prosessorin toimintaa. (Johnson 2021)

Näytönohjaimen merkitys striimatessa painottuu lähinnä striimissä toistettavaan grafiikkaan ja kuvan renderointiin tietokoneen näytöille sekä mahdolliselle erilliselle enkooderille. Tämän lisäksi mm. vMix käyttää näytönohjaimen muistia, VRAMia, toistaakseen striimissä toistettavat videot (vMix n.d). On kuitenkin hyvä muistaa, että tietokoneesta saadaan maksimaalinen hyöty, kun näytönohjaimen tehokkuus on suhteutettu optimaaliseksi prosessorin tehokkuuden kanssa.

3.1.4 Verkkokortti

Verkkokortti mahdollistaa tietokoneen liittämisen langalliseen tai langattomaan verkkoon. Emolevyyn yhdistettävällä komponentilla voi siis yhdistää tietokoneen internetiin tai tarvittaessa toiseen tietokoneeseen. (Goel 2010.)

Striimatessa internet-yhteyden luomiseen kannattaa käyttää langattoman verkon sijasta langallista verkkoa, sillä esimerkiksi etäisyys ja fyysiset esteet heikentävät langatonta signaalia (Lampila 2020). Tämän vuoksi onkin kannattavaa asentaa tietokoneeseen verkkoportin sisältävä verkkokortti.

Verkkokorttia hankkiessa on hyvä tarkkailla tuotetiedoissa ilmoitettua tuettua maksiminopeutta. Tämä vaihtelee sadoista megabiteistä gigabiteihin (Goel 2010.) Striimatessa verkkokortin laatuun kannattaa panostaa, sillä kaikki striimiä

katsovalle henkilölle välittyvä data kulkee internet-verkkoon kytketyn verkkoportin kautta.

Nykyään monessa emolevyssä on sisäänrakennettuna verkkokortti.

3.1.5 RAM-muisti

Tietokone pääsee liian hitaasti kovalevylle tallennettuun dataan, joten se väliaikaisesti tallentaa ja hakee aktiivisessa käytössä olevan datan RAM-muistista (Random Access Memory). RAM-muistin sisältämä data on pysymätöntä, mikä tarkoittaa kovalevylle tallentamattoman datan katoamista, mikäli tietokoneesta katkaistaan virta tietokoneohjelman ollessa vielä käynnissä. (Mäkiketola 2017, 3.)

3.1.6 Massamuisti

Kovalevy ja SSD ovat yleisimmin käytetyt massamuistit. Massamuistia käytetään tiedostojen tallentamisessa tietokoneelle tai ulkoiselle asemalle. Massamuistiin tallennettu data siis säilyy tietokoneella myös tietokoneen sammuttamisen jälkeen, toisin kuin RAM-muistissa. (Mäkiketola 2017, 3.)

Mekaanisesti pyörivä kovalevy eli HDD (Hard Disc Drive) sekä uudempaa massamuistiteknologiaa edustava SSD (Solid State Drive) sisältävät myös enemmän muistikapasiteettia kuin RAM-muisti. HDD:n ja SSD:n merkittävimmät erot ovat SSD:n nopeus, luotettavuus sekä pienempi virrankulutus. SSD on myös äänetön, koska se ei sisällä liikkuvia osia, toisin kuin HDD.

Hintavertailussa SSD on kuitenkin HDD:tä kalliimpi. (Mäkiketola 2017, 3.)

Striimaavassa tietokoneessa massamuistia on hyvä olla riittävästi, koska striimit useasti sisältävät muistia vieviä videotiedostoja. Tämän lisäksi lähetysten mahdolliseen tallennukseen kannattaa varata tietokoneen muistikapasiteettia. Myös ohjelmat, joilla striimataan, ottavat osansa massamuistista.

3.1.7 Jäähdytys

Käynnissä ollessaan tietokoneen komponentit tuottavat lämpöä. Mikäli tietokoneen lämpötila nousee liian korkeaksi, alkavat sen toiminnot hidastua, ja loppujen lopuksi tietokone joko sammuttaa itse itsensä tai pahimmassa tapauksessa jokin komponentti hajoaa.

Jäähdytyksessä käytetään yleensä tuulettimia. Komponenteilla, kuten prosessorilla ja näytönohjaimella, on omat jäähdyttimensä. Tämän lisäksi tietokoneen koteloon voidaan kiinnittää kotelotuulettimia. Tuulettimen jäähdytyskyvystä kertovat tuotetiedoista löytyvät tuulettimen kierrokset minuutissa (esim. 300-1500 RPM) sekä sen kuinka monta kuutiometriä ilmaa tuuletin liikuttaa tunnissa (esim. 140 m³/h). Huomiota kannattaa myös kiinnittää tuulettimien melutasoon, jota mitataan desibeleissä. Melutasoa saadaan pienennettyä valitsemalla isompi tuuletin ja laskemalla sen pyörimisnopeutta. (Laitila 2011)

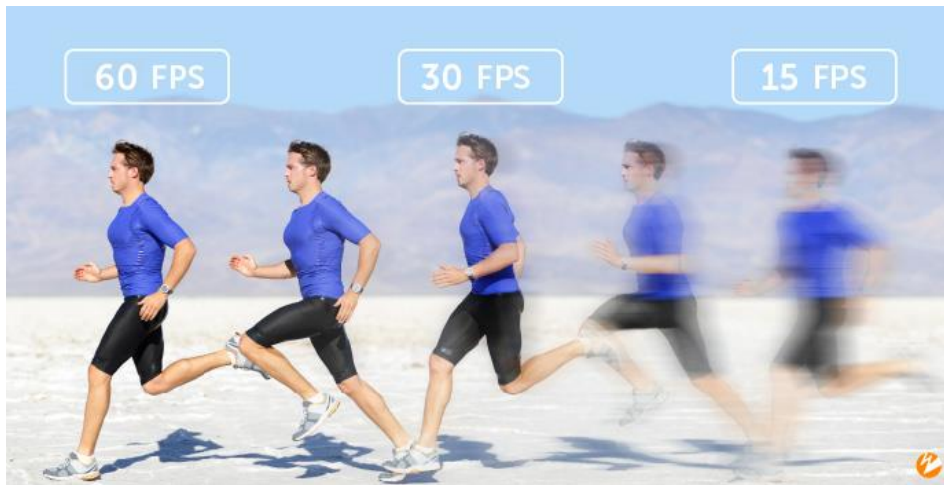
3.2 Kuvalaitteisto

3.2.1 Kamera

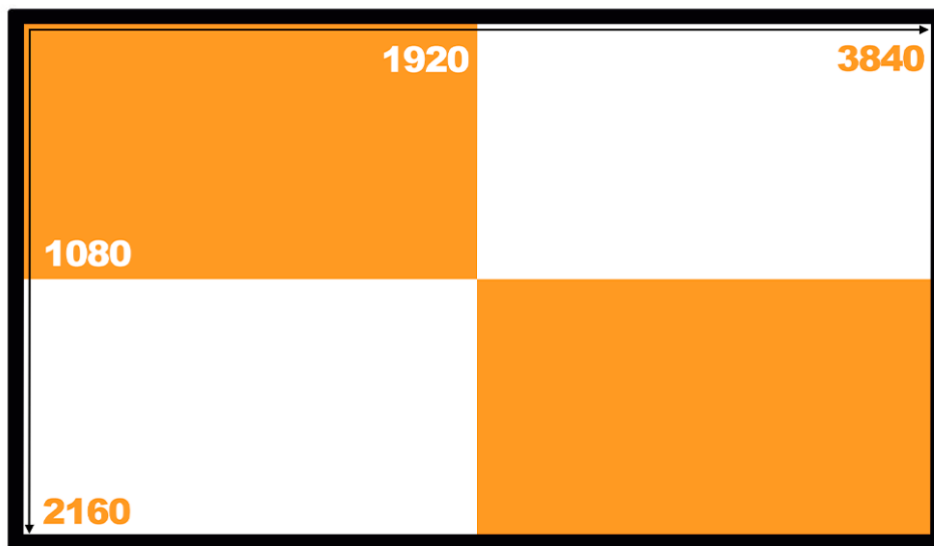
Valtaosassa striimeistä halutaan näyttää sisällön kertojan kuvaa, ja siihen luonnollisin vaihtoehto on kamera. Laatuun kannattaa panostaa tässäkin kategoriassa, mutta käyttötarkoituksen huomioiminen ja ennakkoon suunnittelu voivat pienentää investoitavaan laitteeseen tarvittavaa rahan määrää. Mikäli tarkoitus on luoda usean kameran järjestelmä, on järkevää hankkia toistensa kanssa identtisiä kameroita, jolloin kamerakuvien synkronointi toisiinsa on helpompaa.

Kameraa valittaessa on ensisijaisen tärkeää huomioida kameran syöttämä resoluutio sekä se, millä ruudun päivitystaajuudella (engl. Frame rate) kamera kykenee lähettämään informaatiota. Tarkempi kuva saavutetaan korkealla resoluutiolla, ja kuvassa tapahtuva liike on tarkempaa korkealla päivitystaajuudella. (Newagg.com 2021.) On kuitenkin hyvä tiedostaa, millä resoluutiolla aiotaan lähettää kuvaa striimiin. Mikäli ulos lähtevä kuva on 1080p

30fps, ei välttämättä ole kannattavaa hankkia kameraa, joka syöttää 4k 60fps kuvaa, ellei aikomuksena ole ottaa kamerakuvan sisältä pienempiä kuvakohtia.



Kuvio 4. Havainnollistava kuva ruudun päivitystaajuudesta. Kuva. Wovza Media (2020)



Kuvio 5. 4K-resoluutio on neljän Full HD -resoluution kokoinen. Mikäli kamera tuottaa 4K-resoluutiota, kuvaan voi huoletta sisentää kaksinkertaisesti ilman, että lähtevän kuvan resoluutio kärsii. Kuva Antti Huusko (2021)

Digitaalisia kameroita on useita erilaisia, ja jokaisella niistä on oma käyttökohteensa. Videoiden tekemisen ja striimauksen myötä valokuvaamiseen suunniteltuihin kameroihin on alettu lisäämään enemmän ja enemmän

videokuvausta parantavia ominaisuuksia, ja näin ollen lähes millä tahansa kameralla on mahdollista tuottaa hyvälaatuista videokuvaa.

Web-kamera

Web-kamera on kompakti digitaalinen kamera, jonka käyttö on suunniteltu ainoastaan kamerakuvan lähettämiseen tietokoneeseen joko USB-väylää pitkin tai WLAN-verkon yli (Woodford 2020). Nykyään valtaosassa kannettavista tietokoneista on sisäänrakennettuna web-kamera.

Web-kamera soveltuu parhaiten tilanteisiin, joissa sisällön keskeisessä osassa oleva henkilö operoi myös itse striimiä tai joissa striimin sisältöön osallistuva henkilö tai ryhmä henkilöitä tavoitetaan etäyhteydellä.

Järjestelmäkamera

DSLR-kamera (Digital Single-Lens Reflex) on videokuvaukseen soveltuva järjestelmäkamera, jonka kenno on kooltaan verrattavissa elokuvakameran sensoriin (Valkama 2016,18.). Järjestelmäkameran käyttö striimatessa antaa huomattavan paljon enemmän mahdollisuuksia kuin web-kamera paremman ja vaihdettavan optiikan, isomman kennon, sekä paremman asetusten kontrollin ansiosta.

Striimatessa DSLR-kamera ja tästä kompaktimpi peilitön kamera eivät juurikaan eroa toisistaan. DSLR-kameran hyöty on mahdollista saavuttaa lähinnä valokuvatessa, jolloin kameran sisällä olevan peilin läpi voidaan katsoa suoraan objektin läpi. Videokuvatessa peili väistyy sensorin tieltä, jolloin kamera toimii käytännössä täysin samalla tavalla kuin peilitön järjestelmäkamera. (Siersbæk 2019.) Peilittömän järjestelmäkameran suurimman hyödyt DSLR-kameraan verrattuna ovat lähinnä sen kompakti koko ja keveys (Siersbæk 2019.).

Kun järjestelmäkameraa halutaan käyttää striimausjärjestelmässä web-kameran tavoin, kamera on kytkettävä tietokoneeseen kytkettyyn kuvakaappauskorttiin. Osalla kameravalmistajista löytyy myös tietokoneelle ladattavia sovelluksia, jotka mahdollistavat kamerakuvan vastaanottamisen suoraan USB-portin

kautta. Esimerkiksi Canon on julkaissut *EOS Webcam Utility* -ohjelman, jota iso osa Canonin kameroista tukee (Canon n.d.).

PTZ-kamera

PTZ-kamera on erillisellä kameraohjaimella kontrolloitava käännettävän kamerapään omaava digitaalinen kamera. Lyhenne PTZ tulee sanoista Pan, Tilt ja Zoom eli vaakakääntö, pystykääntö ja zoomaus. Näiden ominaisuuksien lisäksi kameraohjaimella säädetään kaikki muutkin kameran asetukset aukosta valkotasapainoon ja kamerasta ulos lähtevään kuvaan. Robottikameroissa ei ole vaihdettavaa optiikkaa, joten kameraa valitessa kannattaa kiinnittää huomiota kameran zoomauskykyyn ja syväterävyyteen.

Kameraa voidaan kontrolloida:

- IP-verkon yli joko samassa verkossa olevalla IP-kameraohjaimella, tietokoneella tai älylaitteella.
- RS-422 tiedonsiirtoa käyttävällä ulkoisella kameraohjaimella.
- Kameran omalla kaukosäätimellä.

(Panasonic 2014., 17-18; PTZ Optics n.d.)

3.2.2 Kuvamiksaus

Kun puhutaan useamman kuin yhden kuvalähteen striimauksesta, pitää miettiä, kuinka saadaan vaihdettua katsojalle lähetettävää kuvaa. Tällöin puhutaan kuvamiksaamisesta. Kuvamiksausta voidaan tehdä usealla eri laitteella ja niitä voidaan myös ketjuttaa toisiinsa. Tällöin esimerkiksi kameramiksaus tapahtuu omalla kameramiksoserillä ja striimin lähtevä kuva joko videomiksoserillä tai striimausohjelmalla, jonne syötetään kameramiksoseristä tuleva leikattu kuva. Kuvamiksaus voidaan myös toteuttaa kokonaan striimausohjelman sisällä.

Videomiksereitä on useita erilaisia. Halvimmissa ja yksinkertaisimmissa miksereissä voidaan ainoastaan muuttaa kuvalähdettä toiseen joko leikkaamalla, feidaamalla tai jotakin ennalta ohjelmoitua efektiä hyödyntäen.

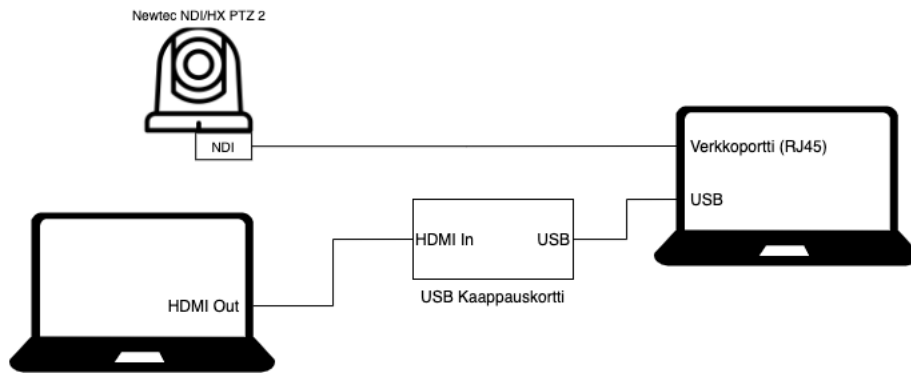
Kalliimmissa videomiksereissä puolestaan on enemmän sisään- ja ulostuloja. Niillä voidaan luoda PiP-kuvia, eli kuvamateriaalia toisen kuvan sisässä, sekä tallentaa ja toistaa mediatiedostoja suoraan mikseristä. Mikäli striimin leikkaus tapahtuu pelkällä videomikserillä eikä käytössä ole striimausohjelmaa, on striimin lähettämiseen käytettävä enkooderia, jolla saadaan striimi lähetettyä esitystä näyttävälle alustalle.

Striimausohjelmalla, kuten Vmixillä, mediatiedostot ladataan suoraan ohjelmaan ja määritetään siellä sisääntuloiksi kameroiden ja äänilähteiden tavoin. Yksi sisääntulo voi sisältää useamman mediatiedoston tai kamerakuvan. Klassinen esimerkki tästä on Powerpoint-esitys, jossa halutaan ajaa katsojalle samassa kuvassa sekä Powerpointia että puhujan omaa kuvaa.

Kameramikserin lisäksi kameramiksaaja tarvitsee itselleen monitorin, jonka avulla hän pystyy näkemaan kaikkia mikseriin saapuvia kamerakuvia samanaikaisesti. Tätä näkymää kutsutaan Multiview-näkymäksi, joka saadaan kytkettyä kuvamikserin kytkentäpaneelistä näyttöön. Multiview-näytön olisi hyvä olla laadukas ja sen pitäisi pystyä toistamaan tuotettua kuvaa samanlaisena kuin millaisena se striimissä on tarkoitus näkyä.

3.2.3 Kuvan reititys tietokoneeseen

Mikäli käytössä on jokin muu kuin suoraan tietokoneen USB-väylään liitettävä kamera, esimerkiksi web-kamera tai vastaava, on kuvan reititystä tietokoneeseen mietittävä. Kaksi tyypillisintä vaihtoehtoa saada kamerakuva tietokoneeseen on käyttää joko kaappauskorttia tai luoda lähiverkko, josta kuva saadaan tietokoneeseen NDI:tä hyödyntäen.



Kuvio 6. Kuvan reititykset tietokoneelle. Kuva: Antti Huusko (2021)

Kuvakaappauskortti

Kuvakaappauskortti on nimensä mukaisesti laite, joka kaappaa kuvaa siihen kytketystä kuvaa lähettävästä laitteesta. Lähettävä laite tunnistaa kaappauskortin näytön tavoin ja alkaa lähettämään sille kuvaa. Kaappauskorttia voidaan usein hallita sen mukana tulevan ohjelman avulla, josta voidaan määrittää, millaista resoluutiota kaappauskortti haluaa ottaa vastaan. Kaappauskortteja on USB-porttiin (usein vaatii USB 3) kytkettäviä ulkoisia kaappauskortteja ja tietokoneen PCIe-väylään kytkettäviä kaappauskortteja.

Mikäli tarkoituksena on kaapata kuvaa suoraan kamerasta, kannattaa tutustua kameran kuvan lähetysohjelmistoihin ja miettiä, minne kamera aiotaan sijoittaa suhteessa striimaavaan tietokoneeseen. Esimerkiksi useat järjestelmäkamerat sisältävän HDMI-ulostulon, jolloin kuvan kaappaukseen voidaan hyödyntää HDMI-väyläistä kaappauskorttia. Tällöin kameran tulee olla kaappauskortin lähellä, sillä HDMI-signaali heikkenee huomattavasti kuluttajaluokan kaapeleissa jo kymmenen metrin jälkeen (CIE Group n.d.).

Mikäli kamera halutaan sijoittaa kauemmas striimaavasta tietokoneesta, on käytettävä jotain muuta kuvan siirtomenetelmää, esimerkiksi SDI:tä. Tällöin SDI-kaapeli kytketään joko suoraan kameran SDI-ulostuloon tai konvertoidaan kamerasta tuleva HDMI-ulostulo SDI:ksi aktiivisella konvertterilla. Tällöin kaappauskortissa voi hyvin olla SDI-liittimet, jolloin signaalin perille saattamisessa ei tarvita ylimääräisiä konversioita. SDI-liitin on myös lukittuva

liitin toisin kuin tavallinen HDMI, jolloin riski liitoksen irtoamiseen vedon tai tärinän vuoksi pienenee.

NDI

Newtecin kehittämä NDI (Network Device Interface) on lähiverkkoa (LAN) hyödyntävä ohjelmisto, jolla voidaan siirtää videokuvaa samassa verkossa olevien laitteiden välillä. NDI tukee kaksisuuntaista tietoliikennettä, jolloin lähettävä laite voi myös vastaanottaa dataa aina 4K UHD -videosta 16 kanavaan ääntä. (NDI Technical Brief 2021.)

NDI hyödyntää mDNS-yhteyttä, joka lähettää kaikille verkossa oleville laitteille IP multicast -viestin ja pyytää identifioimaan itsensä. Tämän jälkeen viestin vastaanottanut laite lähettää multicast-viestillä IP-osoitteensa, jota NDI:tä käyttävä ohjelma käyttää hyödykseen ja päivittää käytetyn ohjelman video-sisääntulo, mikäli se löytää kyseisestä IP-osoitteesta NDI-lähetysten. (NDI Technical Brief 2021.)

NDI-järjestelmää rakentaessa tulee nopeasti vastaan verkkokytkimen tarve. Jotta video saadaan liikkumaan halutulla tavalla, on verkkokytkimen jokaisen portin kyettävä lähettämään ja lataamaan vähintään 1 Gbps:n nopeudella ja pystyttävä kahdensuuntaiseen tietoliikenteeseen. Automaattisten asetusten sijaan kannattaa kytkin konfiguroida näihin asetuksiin (NDI Technical Brief 2021.). Tämän lisäksi tietokoneeseen linkittyvän portin olisi hyvä olla 2,5 GB tai suurempi, sillä sen läpi voi joutua kulkemaan samanaikaisesti useampi videostriimi.

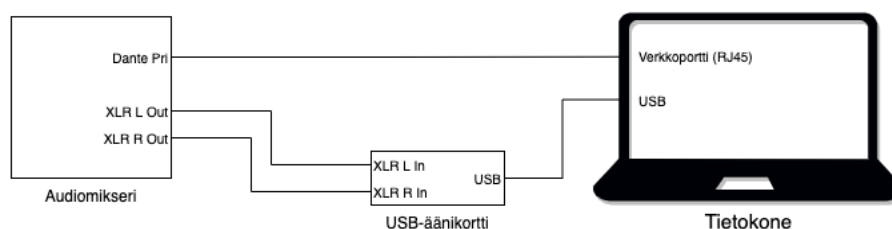
Taulukko 1. Suuntaa antava listaus NDI:n resoluutioista ja niiden kaistan tarpeista (NDI Technical Brief 2021).

NDI-lähetysten resoluutio (1x)	Suurpiirteinen kaistan tarve
4K p60	250 Mbps
4K p30	200 Mbps
1080p60	125 Mbps
1080i60	100 Mbps
720p60	90 Mbps

3.3 Äänilaitteisto

Vähintään yhtä tärkeässä roolissa striimin kuvan kanssa on ääni, ja sitä tukemaan kannattaa striimausjärjestelmään sisällyttää helppokäyttöinen, mutta monipuolinen äänijärjestelmä. Suurin osa striimin informaatiosta ja sisällöstä välittyy katsojalle äänen välityksellä. Tämän takia on tärkeää, että striimin auditiivisesta sisällöstä tehdään katsojalle mahdollisimman vaivatonta kuunneltavaa. Tämän lisäksi äänilaitteistolla olisi hyvä pystyä toteuttamaan mahdollinen paluuääni ja striimiään monitorointi, mikäli striimiä ollaan toteuttamassa esimerkiksi Zoom-etäkokousohjelmassa.

Lähetettävän striimiään ei kuitenkaan tarvitse olla teknisiltä ominaisuuksiltaan parasta laatua. Esimerkiksi Youtube pystyy striimatessa toistamaan 44,1 Khz 128 Kbps stereoääntä. (Google support n.d.)



Kuvio 7. Äänen tuonti mikseristä tietokoneelle. Ääni voidaan reitittää vaihtoehtoisesti joko Danteverkon yli, tai äänikorttia hyödyntäen. Kuva: Antti Huusko (2021)

3.3.1 Ulkoinen äänikortti

Tietokoneen sisällä olevan äänikortin lisäksi tietokoneeseen on mahdollista kytkeä ulkoinen äänikortti, jonka tehtävä on muuttaa analoginen äänisignaali digitaaliseksi.

Äänikorttia valittaessa kannattaa tutustua oman tietokoneen liitännäismahdollisuuksiin ja niiden rajoitteisiin. Iso osa äänikorteista on helppokäyttöisiä ja ilman äänikortin omaa ajuria toimivia USB-äänikortteja, mutta toisenlaisena vaihtoehtona USB:lle löytyy muun muassa Firewire-, Thunderbolt- ja verkkoporttiliitännäisiä äänikortteja. Ulkoinen äänikortti mahdollistaa myös äänen prosessoinnin tietokoneelle asennettavalla äänikortin omalla ohjelmalla. (Harris 2009)

Kuluttajalle on myös tarjolla tietokoneeseen kytkettäviä äänikortin tavoin toimivia mikseriä. Kun mikserin kytkee tietokoneeseen USB-porttiin, on tietokoneessa mahdollista valita äänisisääntuloksi joko jokin mikserin yksittäinen kanava tai mikserin master-ulostulo. Tämä toki kannattaa varmistaa mikserin valmistajalta, sillä kaikissa tuotteissa on mallikohtaisia eroja.

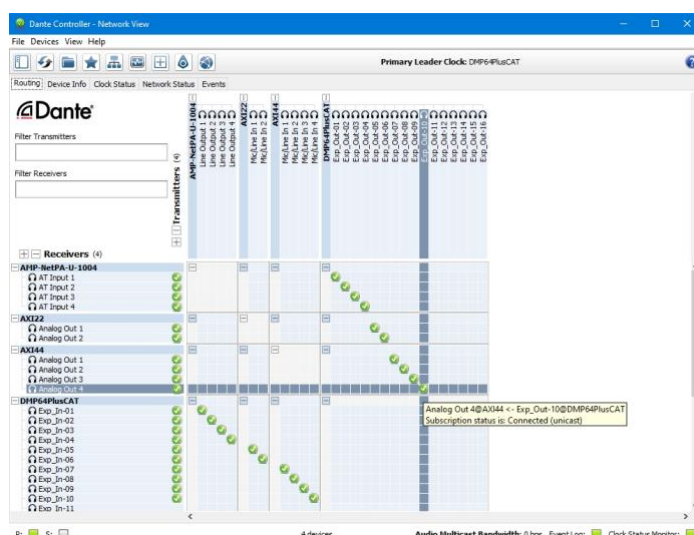
Äänikortin valinta striimauskäyttöön on täysin sidoksissa äänikortin käyttötarkoitukseen ja siihen, mitä laitteita ympärillä on. Mikäli tarkoituksena on kytkeä mikrofoni suoraan äänikorttiin, on äänikortin mikrofonista riippuen kyettävä syöttämään sille 48V Phantom-virtaa. Tämän lisäksi on hyvä miettiä, onko äänikorttiin mahdollisesti tarve kytkeä joitakin muita äänilähteitä ja onko äänikortilla oltava jokin prosessointiohjelma. Mikäli tarkoituksena on muuttaa mikseristä tuleva analogisignaali digitaaliseksi, riittää siihen tavallinen kaksikanavainen äänikortti. Jos esimerkiksi tarkoitus on lähettää striimausohjelmasta äänikanavia mikseriin ja ottaa vastaan mikserin paluukanavat äänikorttiin, on äänikortissa oltava kahden äänisisääntulon lisäksi tarvittava määrä ääni-ulostuloja. Lisäksi tarvitaan ohjausohjelma, jolla saadaan tarvittaessa muokattua äänikortin sisäistä ristikytkentää.

3.3.2 Dante

Dante on australialaisen Audinate:n kehittämä protokolla äänen siirtämiseen verkon yli. Dante muuttaa digitaalisen äänen IP-pakettidataksi ja sisällyttää siihen kellonajan sekä vastaanottavan laitteen IP-osoitteen. Tämä mahdollistaa Dantelle luodussa lähiverkossa minkä tahansa Dante-laitteen äänen reitityksen mihin tahansa muuhun Dante-laitteeseen. Dante kykenee käsittelemään digitaalista 24–32 bittisyvyyksistä ääntä 44,1–192 kHz:n näytteenoittajuudella. (Audinate n.d.)

Mikäli laite halutaan yhdistää Dante-järjestelmään, laitteeseen on laitettava joko Danten oma lisäkortti tai asennettava tietokoneelle Dante Virtual Soundcard (lyh. DVS). Se toimii nimensä mukaisesti virtuaalisena äänikorttina, jonka tietokone tunnistaa. Sen läpi voidaan lähettää ja vastaanottaa 64 äänikanavaa. (Audinate n.d.).

Dante-järjestelmän hallinta ja monitorointi tapahtuu järjestelmän verkkoon kytketyn tietokoneen Dante Controllerin avulla, jolla voidaan määrittää, minkä verkkoon kytketyn laitteen ääni toistuu missäkin laitteessa (Audinate n.d.).



Kuvio 8. Dante Controller. Kuva: Extron.com (2021)

Striimatessa Danten käyttö vMixin kanssa nopeuttaa monta työprosessia. Käytössä voi olla useita lähteitä ja palaavia äänikanavia, joiden reitittäminen esimerkiksi mikserin tai toisen tietokoneen kanssa ulkoisia äänikortteja käyttäen olisi todella työlästä. Tämän lisäksi ylimääräistä laitteistoa ei tarvitse kuljettaa mukana, vaan kaikki data kulkee verkkoportista toiseen.

Danten lisäksi on olemassa myös muita verkkoratkaisuja, mutta striimausjärjestelmissä Dantea käytetään paljon muun muassa sen takia, että se on mahdollista liittää lähes mihin tahansa digitaaliseen äänimikseriin.

4 Verkkolaitteet

Striimausjärjestelmän luomiseen tarvitaan usein erilaisia verkkolaitteita, joilla saadaan yhteys eri laitteiden välille, sekä tärkeimpänä, lähetettyä internetiin loppuasiakkaalle näkyvää striimiä. Näiden laitteiden erojen ja toimintaperiaatteiden ymmärtäminen on keskeisessä osassa järjestelmän toimivuuden kannalta.

TCP/IP Protokollapino

Verkkolaitteiden ja -ohjelmistojen toimintaa kuvataan usein OSI- tai TCP/IP-mallilla (Casad 2017) Tässä käytetty protokollapinon kuvaus vastaa TCP/IP-mallia.

Verkkolaitteet ja niiden käytön erottaa se, millä internetin protokollapinon kerroksella ne toimivat. TCP/IP-malli sisältää viisi kerrosta: sovellus-, kuljetus-, verkko-, linkki- sekä fyysisen kerroksen. Näistä kukin kerros tarjoilee palveluja itseään ylemmälle kerrokselle ja vastavuoroisesti ottaa vastaan palveluja alemmalta kerrokseltaan. (Casad 2017) Striimausjärjestelmän verkkolaitteet, joihin kuluttaja voi itse vaikuttaa, toimivat kolmella viimeisellä protokollapinon kerroksella eli sovellus-, kuljetus- ja verkkokerroksella.



Kuvio 9. TCP/IP-malli Kuva: Antti Huusko (2021)

Sovelluskerroksella toimivat kaikki ohjelmistot ja verkkosivut, jotka haluavat kommunikoida keskenään. Ohjelmistot hyödyntävät HTTP- tai jotain vastaavaa sovellustason protokollaa toistensa kanssa kommunikointiin. (Casad 2017) Striimausympäristössä esimerkkinä voivat toimia esimerkiksi vMlx ja Youtube.com.

Kuljetuskerroksella tarjotaan päästä päähän-yhteys sovelluskerroksen lähettäjän ja vastaanottajan välillä. Kuljetuskerroksella voidaan määrittää viestin laadulle oleellisia asioita, kuten saako viesti mennä perille huonompilaatuisena kuin mitä se oli lähettäessä, tai saako viesti esimerkiksi kahdentua matkalla. TCP- ja UDP- protokollat ovat kaksi merkittävintä protokollaa tällä kerroksella. Mikäli lähetettävä tiedosto on liian suuri muodostettavaksi yhteen kuljetuskerroksen luomaan segmenttiin, se voidaan paloitella moneen osaan. (Casad 2017)

Verkkokerros vastaa kuljetuskerrokselta saadun tiedon reitittämisestä pisteestä A pisteeseen B. Verkkokerroksessa toimivien laitteiden tehtävänä on siis tietää missä päin verkkoa mikäkin laite sijaitsee. Tähän verkkokerros hyödyntää IP-protokollaa, jota kaikkien verkossa olevien laitteiden pitää tukea toimiakseen. (Casad 2017)

Linkkikerros vastaanottaa IP-paketin verkkokerrokselta ja luo sen ympärille oman kehysen. Tämän jälkeen linkkikerroksen luoma kehys sisältöineen voidaan siirtää fyysistä kerrosta, eli esimerkiksi verkkokaapelia, hyödyntäen sille osoitettuun osoitteeseen. (Casad 2017)

Viestiä vastaanottavassa päässä fyysistä kerrosta pitkin tullut kehys puretaan linkkikerroksessa, josta sen sisältämät IP-paketit siirtyvät verkkokerrokselle. Verkkokerros toimittaa IP-paketissa olleet segmentit kuljetuskerrokselle, jossa lähettäjän viesti kasataan ja toimitetaan sovelluskerrokselle. Mikäli lähetetty viesti tulee useammassa segmentissä, säilyttää kuljetuskerros viestin palasia niin pitkään, kun kaikki viestiä sisältäneet osat ovat kasassa, jolloin viesti voidaan toimittaa eteenpäin sovelluskerrokseen. (Casad 2017)

4.1.1 Verkkokytkin

Verkkokytkin on linkkikerroksella toimiva laite, jonka tehtävä on suodattaa ja toimittaa kehys halutulle vastaanottajalle. Viestin vastaanottajan tunnistamiseen verkkokytkin käyttää vastaanottavan laitteen MAC-osoitetta. Verkkokytkin ei siis tunnista laitteiden IP-osoitteita. (Cisco Systems 2009)

Verkkokytkin käyttää kytkintaulua pitääkseen kirjaa sen portteihin kytketyistä laitteista ja niiden MAC-osoitteista, jotta se voi ohjata vastaanottamansa kehysen suoraan haluttuun osoitteeseen. Koska verkkokytkin välittää saamansa tiedon eteenpäin välittömästi, se ei tiedustele, missä päin verkkoa MAC-osoite sijaitsee. Mikäli osoitetta ei löydy kytkintaulusta, se lähettää saamansa kehysen kaikkiin portteihin varmistaakseen, että vastaanottaja saa kehysen perille. Verkkokyttimeen saapuvat kehykset sisältävät lähettäjänsä MAC-osoitteen, joiden avulla kytkin voi päivittää oman kytkintaulunsa. Jos verkkokytkin ei tunnista kehysen lähettäneen laitteen MAC-osoitetta, lisätään kytkintauluun sen MAC-osoite sekä kytkimen porttinumero, johon lähetävä laite on kytketty. Jotta kytkintaulu pysyisi mahdollisimman pienenä, poistaa verkkokytkin käyttämättömiä MAC-osoitteita. Näin ollen kytkimeen voidaan liittää ja vaihtaa uusia laitteita, jotka kytkin oppii itsenäisesti. (Cisco Systems 2009)

Verkkokytkimellä voidaan siis muodostaa yhteys kahden tai useamman laitteen välille. Vaikka verkkokytkin ei itsessään käytä IP-osoitteita vastaanotettujen kehysten vastaanottajan löytämiseen, on kahden toisensa kanssa keskusteleval laitteen oltava samassa IP-aliverkossa, jotta ne voivat keskustella kytkinverkon yli.

Koska eri verkkoprotokollat voivat hyödyntää koko verkkoa kuormittavaa multicast tai broadcast liikennettä, kannattaa eri verkoille muodostaa kytkimeen omat VLANit (Virtual Local Area Network). VLANiin määritellään verkkokytkimen portit, joiden halutaan pystyä kommunikoimaan keskenään sekä verkkoportit, joiden ei haluta olevan osana VLANia (Hucaby 2010). Näin saadaan luotua useampi pienempi virtuaalinen verkko yhden verkkokytkimen sisään, eikä jokaiselle eri verkkoprotokollalle tarvitse olla omaa kytkintä. Verkkokytkimen on oltava hallittava, jotta VLANeja voidaan muodostaa.

4.1.2 Reititin

Reitittimen perustehtävä on nimensä mukaisesti reitittää sille saapuvat IP-paketit eteenpäin oikeaan suuntaan. Reititin yhdistää kytkinverkkoja toisiinsa verkontunnusten perusteella ja piilottaa lähiverkon Internetiltä. Reititin siis ottaa paketin vastaan jostain sen sisääntuloista, päättää mihin suuntaan paketti toimitetaan ja lähettää paketin jostain ulosmenoportista eteenpäin. Yleensä reitittimen portit on ohjelmoitu sekä ottamaan paketteja vastaan että lähettämään niitä, eli sama portti voi toimia sekä sisääntulona että ulosmenona. (Cisco 2014)

Sen lisäksi, että reititin toimii pakettien jakelijana, voidaan reititintä hyödyntää myös muun muassa palomuurina tai esimerkiksi DHCP-palvelimena (Cisco 2014).

Reititin on oleellinen työkalu, kun luodaan striimin lähetysverkkoa. Tämän takia kannattaa valjastaa yksi tai useampi reitittimen ulosmenoväylä pelkästään striimin lähettämiseksi ja varmistaa, että reitittimen siirtonopeus on varmasti riittävä. Reititin kytkeytyy lähiverkkoon ja yhteen tai useampaan teleoperaattorin

verkkoon kaapelilla tai mobiiliverkon kautta (Cisco 2014). Tämä muodostaa varmennetun nettiyhteyden, jolloin voidaan varmistua lähetyksen nettiyhteydestä, vaikka yksi reitittimen verkkoyhteys kaatuisikin.

5 Striimausverkon vaatimukset

Striimaus vaatii lähtökohtaisesti aina nettiyhteyttä. Jotta sisältö saadaan välitettyä halutulla laadulla katsojalle, on lähetyksyhteyden laadulla tietynlaisia vaatimuksia, jotka on otettava huomioon ennen lähetyksen aloittamista.

5.1 Kaistan leveys ja verkon nopeus

Kaistan suuruutta voidaan mitata kaistan leveydellä, joka kertoo kuinka paljon dataa kaistan läpi voidaan lähettää ja vastaanottaa. Kaistan leveys määritetään megabitteinä sekunnissa eli Mbps. (Sheldrick 2020)

Kaistan leveyteen vaikuttaa koko lähetyksen verkkoympäristö eli tietokoneen ja mahdollisen kytkimen verkkoporttien nopeus, reititin sekä verkkoyhteyden tiedonsiirtotekniikka.

Toinen asia, joka vaikuttaa striimin lähetykseen, on yhteyden bittinopeus, eli kuinka nopeasti laskettua dataa verkko voi lähettää. Kaistan leveyden tavoin yhteyden nopeus ilmoitetaan megabittinä sekunnissa. Kaistan leveys ja nopeus eivät siis ole sama asia, jotta voidaan siirtää dataa tietyllä bittinopeudella, tarvitaan siihen vastaavasti yhtä paljon kaistan leveyttä. (Sheldrick 2020.)

Kiinteä internetyhteys muodostetaan puhelinverkon, kaapeliverkon tai valokuituverkon avulla. Puhelinverkoista 4G- ja uutena tullut 5G-yhteys ovat striimaamiseen soveltuvia verkkoja, mutta niiden nopeudet voivat vaihdella suurestikin esimerkiksi ulkona vallitsevan sään takia. (Nopeustesti.eu n.d.)

Kaapelilaajakaista ja valokuitu ovat puolestaan kiinteitä verkkoja, joiden toimintavarmuus on sikäli varmempaa, että tiedon ei tarvitse missään välissä

kulkea ilmateitse, vaan yhteyttä ylläpidetään fyysisellä kaapelilla. Näistä kahdesta vaihtoehdosta valokuitu on nopeampi ja kuormitusta kestävämpi. Se hyödyntää valoimpulsseja tiedon välittämiseen, ja sen kokonaiskapasiteettia on mahdollista kasvattaa verkon kuormituksen noustessa. Kaapelilaajakaista puolestaan hyödyntää kaapelitelevisioverkkoa. Sen kuormituskapasiteetti on heikompi kuin valokuidun, eikä se ole skaalattavissa käyttökapasiteetin mukaan. Tämän lisäksi kaapeliliittymien lähetyksenopeus on huomattavasti huonompi kuin latausnopeus. (Nopeustesti.eu n.d.)

Molempien kiinteiden verkkojen nopeus on kuitenkin riittävä striimaamiseen. Nettiyhteys kannattaa joka tapauksessa testata aina ennen striimaamisen aloittamista.

5.2 Striimin verkkoyhteyden määrittäminen

Striimattiin sitten tietokoneella tai erillisellä enkooderilla, voidaan lähtevän striimin laatuun vaikuttaa. Laatu puolestaan vaikuttaa tarvittavaan bittinopeuteen. Bittinopeus on määriteltävissä striimausohjelman tai enkooderin asetuksista. Esimerkiksi, mikäli striimin videoresoluutio on 1080p 30fps, on tarvittava bittinopeus noin 5000 Kbps eli 5 Mbps. Eri striimauspalvelut (Youtube, Vimeo, Twitch yms.) voivat kuitenkin haluta tietyn bittinopeuden, joten se kannattaa tarkistaa alustojen omista striimausohjeista. (Sheldrick 2020.)

Taulukko 2. Esimerkki Youtuben ilmoittamista bittinopeus-asetusten spekseistä kuvan resoluutiota kohden. (Google support n.d)

Resoluutio	Bittinopeus
2160p 60fps	20 000–61 000 Kbps
2160p 30fps	13 000–34 000 Kbps
1080p 60fps	4 500–9 000 Kbps
1080p 30fps	3 000–6 000 Kbps
720p 30fps	1 500–4 000 Kbps

Bittinopeuden tarpeen vaihtelu riippuu todella paljon lähtevästä striimin pakkaustavasta ja siitä, kuinka paljon pikseleiden pitää päivittyä jokaista lähtevää kuvaa kohden. Toisin sanottuna, jos striimatun kuvan jokaisen framen jokaisen pikselin pitää päivittyä joka kerta, on luonnollisesti bittinopeus suuri, sillä dataa liikkuu paljon. Puolestaan jos enkoodattava codekki osaa verrata sen hetkistä kuvaa aikaisempiin kuviin ja päivittää vain kuvassa tapahtuvia muutoksia, ei luultavasti bittinopeuttakaan tarvita niin paljoa, sillä päivitettävien pikselien määrä on luultavasti pienempi.

Kaistan tarve kannattaa tästä huolimatta laskea aina sen mukaan, paljonko sitä maksimissaan tarvitaan, ja kertoa luku vielä puolellatoista, jotta kaistaan jää vielä riittävästi myös muulle mahdolliselle verkkoliikenteelle.

Videon bittinopeuden lisäksi pitää huomioida lähetettävän äänen bittinopeus. Esimerkiksi Youtube ottaa vastaan 44,1 KHz stereo-ääntä 128 Kbps, eli äänen viemän kaistan tarve on normaalitilanteessa hyvin pieni. (Youtube Help 2021.)

Muita mahdollisia kaistan tarpeita ovat esimerkiksi etäyhteydet, jotka voivat tulla esimerkiksi Zoomin tai vMix Callin kautta. Näistä Zoom tarvitsee Full HD-laatuun 3 800 Kbps lähetykseen ja 3 000 Kbps lataukseen tai HD-laatuun 2 600 Kbps lähetykseen ja 1 800 Kbps lataukseen (Zoom.com n.d). VMix Call puolestaan käyttää noin 2 000 Kbps sekä lataukseen että lähetykseen etäyhteyttä kohden (vMix.com n.d.).

Taulukko 3. Suuntaa antava kokonaiskaistan tarvelaskenta.

Stream-lähetys (video) 1080p 30 fps	6 000 Kbps
Stream-lähetys (ääni) 44.1 KHz Stereo	128 Kbps
Zoom-etäyhteys (lähetyk, Full HD)	3 800 Kbps
Zoomä-etäyhteys (lataus, Full HD)	3 000 Kbps
Kokonaisuudessaan x 1,5:	19 392 Kbps

Näin ollen kaistaa pitää varata tähän järjestelmään n. 20 Mbps ja verkon bittinopeuden pitäisi olla minimissään 15 Mbps lähettäessä ja 4,5 Mbps ladataessa.

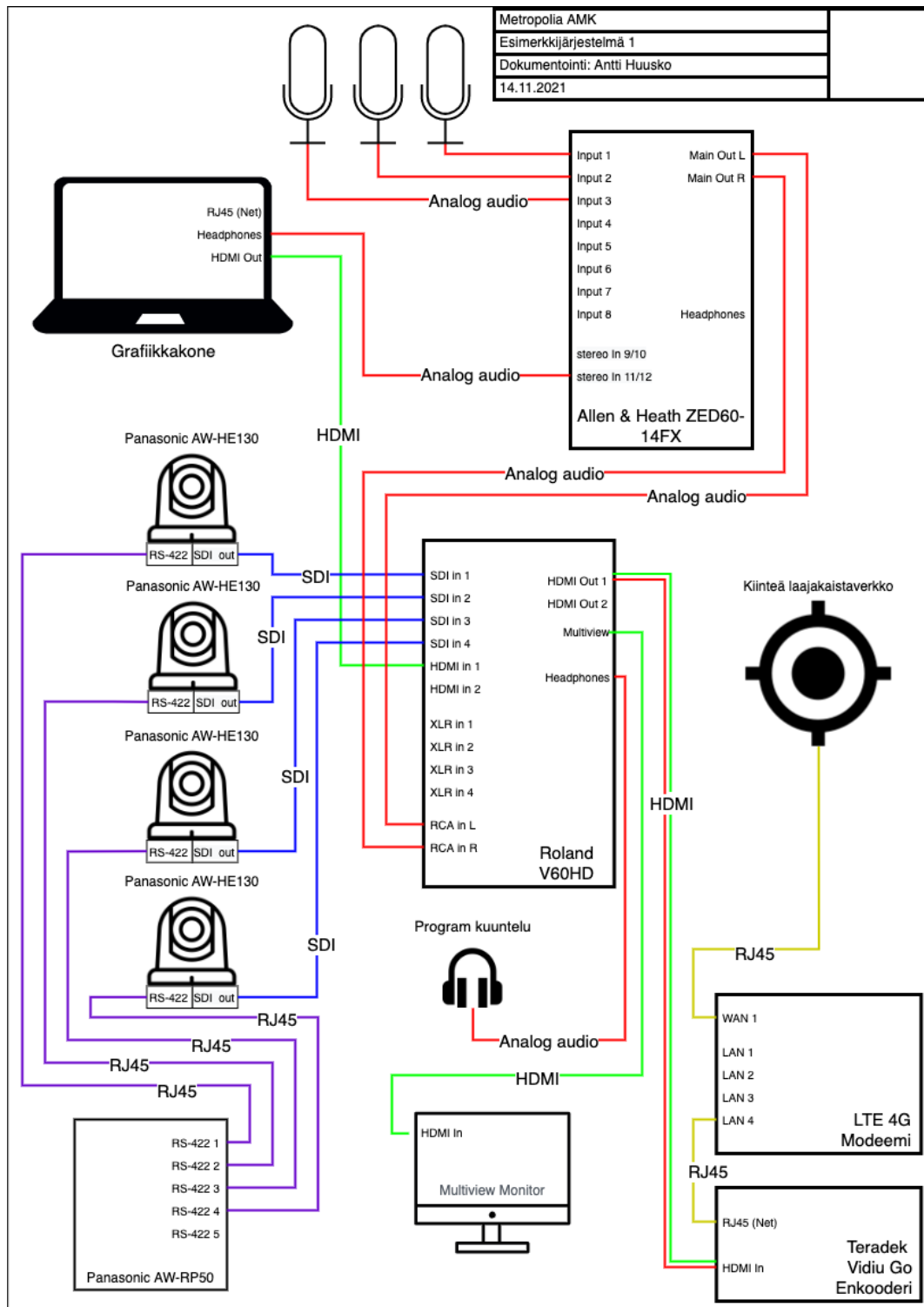
6 Esimerkkijärjestelmät

Ensimmäinen esimerkkijärjestelmä perustuu järjestelmänä pitkälti verkkolaitteiden määrän minimointiin järjestelmässä, jolloin oikeastaan ainoa verkkoa tarvitseva laite on enkooderi, jolla lähetetään striimiä halutulle striimausalustalle.

Toinen esimerkkijärjestelmä puolestaan pohjaa verkkojärjestelmään ja siihen, miten voidaan luoda striimausjärjestelmä kokonaan verkkoympäristöön. Striimaavana laitteena toimii tietokone, jossa voidaan käyttää striimausohjelmana esimerkiksi vMixiä.

Nämä esimerkkijärjestelmät ovat toteuttamiskelpoisia ja niiden tarkoituksena on antaa kuva järjestelmän kokonaisuudesta. Striimausjärjestelmien toteutustapoja ja ratkaisuja on näiden esimerkkien lisäksi useita erilaisia.

6.1 Esimerkkijärjestelmä 1



Kuvio 10. Ensimmäisen esimerkkijärjestelmän kytkentäkaavio. Kuva: Antti Huusko (2021)

6.1.1 Video

Järjestelmän kuvatoteutus on rakennettu kuvamikserin ympärille. Käytännössä kuvamikserissä tapahtuu striimin kuvamiksaaminen sekä striimiin lähtevän äänen ja kuvan yhdistäminen. Kuvamikseriin siis kytketään kaikki käytössä olevat kamerat sekä mahdolliset tietokoneet, joista halutaan ajaa graafista materiaalia striimiin.

Järjestelmään kytkettyjen robottikameroiden ohjaus tapahtuu RS-422-seriaalidataa hyödyntäen, jolloin kameroiden kytkentälogiikka helpottuu. Toisin sanottuna kamera 1 voidaan suoraan kytkeä sekä kuvamikserin SDI porttiin 1 että kameraohjaimen sarjaporttiin 1. Tällöin myöskään kameroiden IP-osoitteistuksesta ei tarvitse huolehtia. Koska eri kameravalmistajilla on erilaiset ohjausprotokollat kameraohjauksien takana, on suositeltavaa hankkia saman valmistajan tuotteita sekä kameroiksi että ohjaimiksi. Myös kamerakuvien toisiinsa synkronoiminen on helpompaa mikäli kamerat ovat identtisiä toistensa kanssa, koska valmistajat lähtökohtaisesti pyrkivät valmistamaan tasalaatuisia ja samaan lopputulokseen kykeneviä laitteita.

Kuvajärjestelmään oleellisena osana kuuluu kamerakuvan tarkkailu, joka saadaan kuvamikserin Multiview HDMI-portista.

6.1.2 Ääni

Tässä järjestelmässä äänen prosessoinnista vastaa analoginen mikseri, josta ääni reititetään Master ulostulon kautta kuvamikseriin. Lähtevä kuva ja ääni yhdistetään kuvamikserissä, josta ne reitittyvät HDMI-liitännän kautta enkooderiin. Se, miksi ääni reititetään kuvamikserin läpi, johtuu kuvan ja äänen synkronoisesta.

On hyvin harvinaista, että prosessoitu ääni ja prosessoitu kuva saapuvat järjestelmän läpi kuljettuaan samaan aikaan loppupisteeseen. Tämän vuoksi monesti joudutaan viivästäämään joko kuvaa tai ääntä. Kun ääni synkronoidaan kuvan kanssa yhteen, se kannattaa tehdä striimausalustan preview-näkymässä,

jolloin päästään tarkastelemaan katsojalle näkyvää tuotetta. Tämän lisäksi äänen tasot kannattaa tarkistaa samaisessa preview näkymässä.

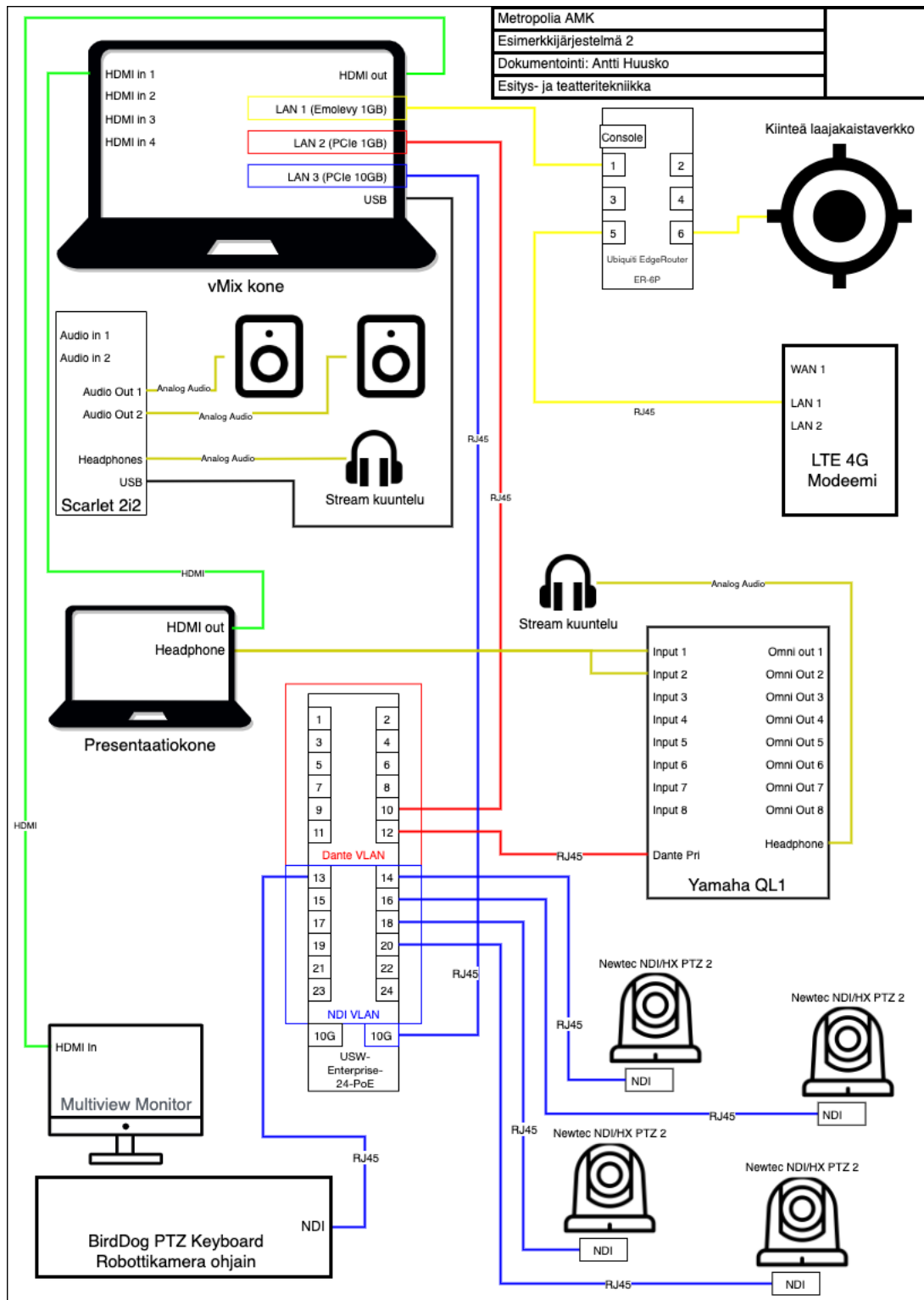
Grafiikkatietokoneen ääni voidaan ottaa mikseriin esimerkiksi DI-boxin läpi tai kytkemällä tietokone suoraan mikserin linjatasoiseen sisääntuloon.

6.1.3 Verkko

Koska lähetykseen voidaan haluta liittää tietokone esimerkiksi etäyhteyttä varten, on käytössä oltava verkkolaite, johon saa kytkettyä useamman kuin yhden laitteen. Tämän järjestelmän käytössä on 4G-modeemi, jossa on neljä LAN-porttia, joista mistä vain voi ottaa langallisen portin käyttöön. Tämän lisäksi verkon kahdennus on mahdollista, koska modeemi voidaan kytkeä WAN-portista kiinteään laajakaistaverkkoon 4G-verkon lisäksi. Näin ollen, mikäli jompikumpi verkoista kaatuu kesken lähetyksen, on olemassa varaverkko, jota pitkin lähetyksen striimaus on edelleen mahdollista.

Mikäli järjestelmään halutaan kolmas varaverkko, voidaan enkooderina käyttää esimerkiksi laitetta, jolla itsessään pystytään liittymään mobiiliverkkoon.

6.2 Esimerkkijärjestelmä 2



Kuvio 11. Toisen esimerkkijärjestelmän kytkentäkaavio. Kuva: Antti Huusko (2021)

6.2.1 Tietokone

Tämä järjestelmä on rakennettu tietokoneen ympärille. Tietokoneen tehtävä on reitittää kaikki mahdollinen kuva ja ääni tarvittavaan prosessointiin sekä lähettää striimiä katsojille. Tämän lisäksi kaiken kuvamiksauksen ja mediatiedostojen toiston on tarkoitus tapahtua tietokoneella. Tähän tarkoitukseen tietokone käyttää vMix-striimausohjelmaa.

Tietokoneen komponentit vastaavat vMixin suosittelemaa esimerkkijärjestelmää. Nettisivun mukaan tietokoneella on mahdollista toteuttaa 4K-laatuista lähtevää striimiä sekä mahdollisuutta lähettää neljää 4K NDI-ulostuloa. Tämän lisäksi tietokone kykenee vastaanottaa kuutta 4K-kameraa tai 24:ää Full HD-kameraa.

Taulukko 4. Komponenttilista (vMix.com):

Emolevy	Intel X299 LGA 1151 Socket
Näytönohjain (VRAM)	Nvidia GeForce RTX 3080 Ti (12GB)
Proessori	Intelcore I9 9900K
Muisti (RAM)	32GB DDR4
Massamuisti	Samsung 960 NVMe 1TB SSD
Kaappauskortti	Decklink Quad HDMI Recorder
Verkkoportit	1x 1GB verkkoportti (emolevy) 1x 1GB verkkoportti (PCIe) 1x 10GB verkkoportti (PCIe)
Ulkoinen USB-äänikortti	Scarlett 18i20 3rd Gen

Koska striimausjärjestelmällä halutaan pystyä toteuttamaan 4K-kuvaa, on sekä prosessorin että näytönohjaimen oltava riittävän tehokas. Myös näytönohjaimen välimuistin on oltava riittävän iso kyetäkseen tallentamaan ja toistamaan riittävästi videotiedostoja, joita striimissä halutaan toistaa. Myös itse massamuistia on varattava riittävästi, mikäli tietokoneella sekä tallennetaan että toistetaan suuria tiedostoja.

6.2.2 Video

Järjestelmän videotoistimena toimii vMix, eli ulkoista grafiikkakonetta ei tarvita.

Kameroiden ja mahdollisten tietokoneiden kuva reititetään striimaavaan tietokoneeseen ensisijaisesti NDI-verkon yli. Kameroiden ohjaus sekä virran syöttö tapahtuu myös NDI-verkon kautta, jolloin kameraan ei tarvitse viedä kuin NDI-kytkimestä tuleva verkkokaapeli. Tämä siisteyttää ja nopeuttaa kaapeloinnin hallintaa.

Koneessa on myös HDMI-kaappauskortti siltä varalta, että kuvaa ei voida vastaanottaa NDI:n välityksellä. Kaappauskortilla voidaan ottaa vastaan esimerkiksi pelikonsolin tai presentaatiotietokoneen kuvajakoa.

Multiview-näkymä saadaan liittämällä tietokoneeseen toinen näyttö ja valitsemalla vMixin asetuksista Multiview-näkymä kyseiselle näytölle.

6.2.3 Ääni

Ääni on toteutettu kokonaisuudessaan Dante-verkon yli. Striimaustietokoneelle on asennettu Dante Virtual SoundCard, jonka kautta Dante-verkkoon voidaan lähettää ja sieltä vastaanottaa 64 kanavaa ääntä. Sitä prosessoidaan digitaalisella mikserillä, johon on asennettu oma Dante-kortti. Tällä hetkellä parhaiten Dantea tukevat mikserit ovat Yamahan QL- ja CL-sarjat, joissa Dante-kortit ovat valmiina valmistajan asentamana.

vMix pystyy käsittelemään seitsemää stereokanavaa, joista yksi on lähtevän striimin ääni. Stereokanavia on myös mahdollista lähettää pareittain erillisinä monokanavina. Näin ollen järjestelmä kykenee lähettämään yhteensä 12:ta monokanavaa mikseriin prosessoitavaksi. Kun mikserissä tapahtuva prosessointi on tehty, voidaan striimin ääni lähettää suoraan Dante-verkkoa pitkin takaisin vMix-tietokoneelle, jossa kyseiset kanavat reititetään suoraan ulos lähteviin striimin äänikanaviin.

Mikäli järjestelmään kytketään esimerkiksi esiintyjän tietokone, jossa ei ole Dante Virtual Soundcardia, on striimaustietokoneeseen kytketty äänikortti, jolla

voidaan ottaa ääntä vastaan analogisesti suoraan tietokoneen kuulokeportista. Mikäli äänimikseriä ei haluta sisällyttää järjestelmään, voidaan myös mikrofonit tarvittaessa liittää suoraan Scarlettin äänikorttiin. Myös striimin kuuntelu tulee ulkoisen äänikortin kuulokeportin kautta, jolloin esimerkiksi striimiin lähtevä ääni voidaan kuulla vielä juuri ennen enkoodausta.

6.2.4 Verkko

Sekä NDI- että Dante-verkko on toteutettu samassa kytkimessä, mutta ne ovat erotettu toisistaan VLANia hyödyntäen. Kytkimessä on PoE-valmius, jotta kamerat saavat käyttövirtansa verkkokaapelin kautta. Tämän lisäksi kytkin sisältää kaksi 10GB SFP+-verkkoporttia, joista toinen NDI-verkon kytkimen ja tietokoneen välille. SFP+-porttiin pitää tätä varten asentaa lisäkortti, jolla se muutetaan tavalliseksi verkkoportiksi (RJ45). Sekä NDI- että Dante-verkosta pitää muistaa tarkastaa, ettei niissä ole käytössä porttien virransäästötilaa. Muuten yhteys saattaa mahdollisesti pätkiä laitteiden välillä pienemmän bittivirran vuoksi.

Lähetysverkko toimii erillisen reitittimen kautta, joka on konfiguroitu lähettämään striimiä kahta eri väylää pitkin. Näin saadaan luotua osittain kahdennettu lähetysverkko ja lähetyksen laadun varmuutta parannettua.

7 Loppusanat

Opinnäytetyöni tavoitteena oli luoda hyvä ja yleispätevä muistio siitä, millaista laitteistoa on mahdollista hyödyntää striimausjärjestelmää suunnitellessa. Aiheen rajaus oli helposti määriteltävissä, mutta kirjoitusprosessin edetessä ja usean tekniseen järjestelmän osaan tutustuessa oli pakko puntaroida, miten paljon haluaa kirjoitustyössään mihinkin aiheeseen syventyä. Lopputulos on kuitenkin mielestäni riittävän yleistajuinen luettavaksi esimerkiksi henkilölle, jolle striimaaminen ei ole ennestään tuttua. Lisäksi muun muassa työn esimerkkijärjestelmät mahdollistavat aikaisemmin kerrotun tiedon kokoamisen kokonaisuudeksi.

Lukijan on hyvä muistaa, että esimerkiksi tapahtumien striimaaminen vaatii omanlaistaan ammattitaitoa ja tämä opinnäytetyö kertoo ainoastaan yleistekniikasta, joka mahdollistaa striimin toteutumisen. Tämän vuoksi lukijan kannattaa opinnäytetyöni lisäksi tutustua ennen mahdollisen striimilähetyksen toteuttamista myös esimerkiksi kuvamiksaamiseen ja kameratyöskentelyyn, joita en tekstissäni käsitellyt lainkaan.

Tämän lisäksi teknisten laitteiden hallintaan kannattaa perehtyä syvemmin kuin opinnäytetyössäni kerroin. Esimerkiksi kytkin- tai Dante-verkon luomisesta löytyy paljon kirjoitettua materiaalia, joka ei kirjoittamani tekstin viitekehykseen sopinut. Näiden hallinta ja osaaminen ovat kuitenkin ehdottoman tärkeitä, mikäli kyseisiä laitteita aikoo käyttää järjestelmässä.

Opinnäytetyön kirjoittamisprosessi edisti oman ammattitaitoni kehittymistä erityisesti tietokoneen sisäisten komponenttien toimivuuden sekä verkkoympäristön hahmottamisen osalta. Tämän lisäksi tiedon hakeminen monelta eri osa-alueelta, esimerkiksi kameroiden toimintaperiaatteiden osalta, antoi minulle myös striimaamiseen liittymätöntä tietoa, jota voin hyödyntää omassa työssäni tapahtuma-alalla niin teknikkona, suunnittelijana kuin konsulttina.

Opinnäytetyöni antaa paljon mahdollisuuksia jatkaa järjestelmän luomisen dokumentointia signaaliketjun molempiin päihin. Mitä tapahtuu ennen kuin kamera lähettää kuvaa kaappauskorttiin? Mitä tapahtuu kuvalle ja äänelle sen jälkeen, kun enkooderi on lähettänyt ne striimausalustalle, ja kuinka signaalia voidaan johdattaa useampaan eri verkko-osoitteeseen? Toivottavasti näihin kysymyksiin tulee vastauksia tulevaisuudessa niin kirjoitettuna materiaalina kuin verkkoon striimattuna lähetyksenä.

Lähteet

Audinate.com n.d. Dante. <https://www.audinate.com/> (viitattu 19.9.2021)

Ben Harris 2014. Home studio setup. Chapter 4. Computer and Recording. Chapter 6. Mixing Consoles vs. Audio Interface

Canon n.d. Support. Eon webcam utility. <https://www.usa.canon.com/internet/portal/us/home/support/self-help-center/eos-webcam-utility> (viitattu 22.6.2021)

Casad Joe 2017. Sams teach yourself TCP/IP in 24 hours.

CIE Group n.d. Distance of HDMI signal travel <https://cie-group.com/how-to-av/videos-and-blogs/distance-of-hdmi-signal-travel> (viitattu 1.9.2021)

Cisco Network Academy 2014. Network Basics companion guide. Chapter 6. Network Layer.

Cisco Systems; Varsalone Jesse, Burton James; Liu Dale 2009. Cisco Router and Switch Forensics : Investigating and Analyzing Malicious Network Activity. Chapter 10: Cisco IOS Switch Basics

Goel Anita 2010. Computer Fundamentals. Chapter 2. Computer system hardware

Google support n.d. <https://support.google.com/youtube/answer/2853702?hl=en> (viitattu 27.9.2021)

Google support n.d. Youtube help: Live stream on Youtube. <https://support.google.com/youtube/answer/2853702?hl=en#zippy=%2Ck-p-fps%2Cp-fps%2Cp> (viitattu 7.11.2021)

Hucaby David 2010. CCNP Switch 642-813 Official Certification Guide. Chapter 4. VLANs and Trunks

Johnson Dave 2021. A beginner's guide to graphics cards and how they help power your computer's images. <https://www.businessinsider.com/what-is-a-graphics-card?r=US&IR=T> (luettu. 8.12.2021)

Kielitoimisto 2021. Striimaus. <https://www.kielitoimistonsanakirja.fi/#/striimaus> (viitattu 5.5.2021)

Laitila Teemu 2011. Hardware.fi. Opas: Ilmajäähdytetyn PC:n rakentaminen ja osien valinta pt. 2. Luku: Kotelotuulettimet: Ilmansiiro ja äänitaso.

https://www.hardware.fi/artikkelit/artikkeli.cfm/opas_ilmajaahdytetyn_pc_n_rakentaminen_ja_osien_valinta_osa_2/2

Lampila Pekka 10.2.2020 Langattoman verkon käyttäjän lyhyt muistilista.

<https://www.mpy.fi/kuluttajat/ajankohtaiset/artikkelit/kodin-langattoman-verkon-toiminta-kattava-tietopaketti-wlanista> (viitattu 1.12.2021)

Lovinus Adam 2020. Webcam buying guide. Newegg.com 24.7.2020.

<https://www.newegg.com/insider/webcam-buying-guide-how-to-choose/> (viitattu 22.6.2021)

Matinlauri Ida-Maria 2018. Live-striimaus–Suora suora vuorovaikutussuhde suunnittelussa. Dagmar.fi <https://www.dagmar.fi/digitaalinen-markkinointi/live-striimaus-suora-vuorovaikutussuhde-suunnitellusti/> (viitattu 7.11.2021)

Mäkiketola Ville 2017. Tietokoneen keskusyksikön komponentit pelikäytössä. Opinnäytetyö. Hämeenlinna. Theseus.fi

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/123513/Makiketola_Ville.pdf?sequence=1&isAllowed=y

NDI Technical Brief 14.11.2016. Versio 2. <https://233b1d13b450eb6b33b4-ac2a33202ef9b63045cbb3afca178df8.ssl.cf1.rackcdn.com/pdf/newtek-ndi-technical-brief.pdf> (viitattu 1.9.2021)

Nopeustesti.eu n.d. Mikä vaikuttaa netin nopeuteen? Verkot, liittymät ja laitteet. <https://nopeustesti.eu/mika-vaikuttaa-netin-nopeuteen-teknologiat-ja-liittymat/> (viitattu 5.11.2021)

Panasonic 2014. [https://pro-av.panasonic.net/manual/pdf/AW-HE130WPE_KPE_OPERATION\(VQT5L27A-2\)_E.pdf](https://pro-av.panasonic.net/manual/pdf/AW-HE130WPE_KPE_OPERATION(VQT5L27A-2)_E.pdf) (viitattu 30.7.2021)

PTZ Optics n.d. IP-control. <https://ptzoptics.com/ip-control/> (viitattu 30.7.2021)

Pyhälähti Minna 2020. Tilaisuus striimataan eli suoratoistetaan. Kielikello 2/2020 <https://www.kielikello.fi/-/tilaisuus-striimataan-eli-suoratoistetaan> (viitattu 5.5.2021)

Rinta-Valkama 2016. Kuinka valita oikeat työkalut. Opinnäytetyö. Helsinki. Theseus.fi https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/110770/Rinta-Valkama_Sakari.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Sheldrick Jordan 2021. Bandwith for streaming. Epiphan.com 15.10.2020. <https://www.epiphan.com/blog/bandwidth-for-streaming/> (viitattu 5.11.2021)

Siersbæk Poul 2019. Valitako peilitön järjestelmäkamera vai peilijärjestelmäkamera. Digi-kuva.fi 16.12.2019. <https://digi-kuva.fi/>

kuva.fi/kamerat/valitako-peiliton-jarjestelmakamera-vai-peilijarjestelmakamera (viitattu 29.7.2021)

Streamia.fi n.d. Streamajaan opas. <https://streamia.fi/artikkelit/streamajaan-opas/> (viitattu 19.4.2021)

Tieteen termipankki.fi n.d.. Striimaus. <https://termipankki.fi/tepa/fi/haku/striimaus> (viitattu 5.5.2021)

TwitchTracker n.d. Twitch Statistics and Charts. <https://twitchtracker.com/statistics> (viitattu 13.11.2021)

vMix Youtube-kanava 30.4.2020 A beginner's guide to computer hardware and vMix! Build a great vMix PC! Graphic Gard <https://www.youtube.com/watch?v=rATGkfFGTLE&t=551s>

vMix.com n.d. Supported hardware. <https://www.vmix.com/software/supported-hardware.aspx> (viitattu 7.5.2021)

vMix.com n.d. Video Call. <https://www.vmix.com/help24/index.htm?VideoCall.html> (viitattu 7.11.2021)

Woodford Chris 2020. Webcam. Explainstuff.com 30.9.2020 <https://www.explainthatstuff.com/webcams.html> (viitattu 22.6.2021)

Zoom.com n.d. System requirements. https://support.zoom.us/hc/en-us/articles/201362023-System-requirements-for-Windows-macOS-and-Linux#h_d278c327-e03d-4896-b19a-96a8f3c0c69c (viitattu 7.11.2021)