



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Lauri Malin

Äänentoisto teatteriesityksessä

Laitteiden välinen kommunikaatio esitystekniikassa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Muusikko (AMK)

Musiikin tutkinto

Opinnäytetyö

21.11.2018

Tekijä(t) Otsikko	Lauri Malin Äänentoisto teatteriesityksessä Laitteiden välinen kommunikaatio esitystekniikassa
Sivumäärä Aika	26 sivua + 1 liite 21.11.2018
Tutkinto	Muusikko (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Musiikin tutkinto
Suuntautumisvaihtoehto	Tuottaja-teknologi
Ohjaaja(t)	MuM, Jukka Väisänen MuT, Tapani Heikinheimo
<p>Opinnäytetyön tarkoituksena on luoda katsaus ammattimaisissa musiikkiteatteriesityksissä käytettyihin äänentoistojärjestelmiin, sekä valottaa niissä käytettyjen teknisten ratkaisujen teoriapohjaa. Pääpaino on digitaalisen signaalin siirtämiseen käytetyissä protokollissa, sekä laitteiden välisen ohjausdatan sovelluksissa.</p> <p>Työn tutkimusosuus on toteutettu teemahaastattelumenetelmällä. Haastateltavina on kolme suomalaista äänisuunnittelijaa. Haastattelujen kautta tutustutaan Suomen Kansallisoopperan, Helsingin Kaupunginteatterin, Svenska Teaternin, sekä Messukeskuksen Amfi -salin tuotantojen äänitekniisiin ratkaisuihin. Haastateltavat ovat Sakari Kiiski, Andreas Lönnquist ja Anton Lindblom.</p> <p>Työn teoriaosuuden tarkoituksena on avata erilaisia ratkaisumalleja digitaalisen äänisignaalin siirtämiseen, sekä valottaa haastatteluissa esiintyneiden laitteiden välisen dataliikenteen käyttösovellusten teknistä taustaa. Teoriaosuuden lähdemateriaalina käytetään haastattelujen tukena tietokirjallisuutta tietoliikenteen ja ääniteknologian aloilta, sekä verkkolähteitä.</p> <p>Työn tuloksena pyritään luomaan kuva modernin teatteriäänijärjestelmän mahdollisista signaalinsiirtotavoista, sekä laitteiden välisen kommunikaation mahdollisuuksista. Tuloksissa pohditaan myös haastatteluiden kautta käsiteltyjen järjestelmien käytettyä ja käyttämätöntä potentiaalia ja alan mahdollisia kehityssuuntia.</p>	
Avainsanat	Teatteriäänijärjestelmä, signaalinsiirto, ohjausdata

Author Title	Lauri Malin Sound reinforcement in theatre applications Data communication in show networks
Number of Pages Date	26 pages + 1 appendix 21 November 2018
Degree	Bachelor of Music Education, Bachelor of Music
Degree Programme	Pop & Jazz Music
Specialisation option	Sound Engineering and Music Production
Instructors	Jukka Väisänen, MMus Tapani Heikinheimo, DMus
<p>The aim of this thesis is to create an overview of the sound reinforcement systems used currently at professional theatre productions in Finland, and to enlighten the technical theory behind these applications. This thesis focuses mainly on the protocols used to distribute digital data in a network, and on different applications of control data.</p> <p>The research part of the thesis was done with a theme interview method. The interviewees are three Finnish sound designers Sakari Kiiski, Andreas Lönnquist and Anton Lindblom. Through these interviews this thesis looks into technical implementation of the sound systems at The Finnish National Opera, The Helsinki City Theatre, The Swedish Theatre and the new Amfi-hall of the convention centre Messukeskus.</p> <p>The theory section of this thesis aims to introduce different approaches to distribute digital signals, and to enlighten the technical background of different implementations of data transfer protocols described in the interviews. The source material for the theory part is based on literature about data communications and sound technology, and also on internet sources.</p> <p>The goal of the thesis is to build an overall picture on how digital signals are distributed in a modern theatre sound reinforcement system, and to introduce different ways to utilize control data. The results section of this thesis contemplates if some non-utilized potential can be found in the systems described in the interviews, and also speculates on the possible trends the industry is facing.</p>	
Keywords	Theatre sound system, signal distribution, control data

Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Työn aihe ja tavoite	2
1.2	Tutkimusmenetelmä	3
2	Teatteriaänijärjestelmä	4
2.1	Digitaalinen vastaan analoginen	4
2.2	Signaalitie	5
2.2.1	Äänilähde	6
2.2.2	Analogisen signaalin konvertointi digitaalseksi	6
2.2.3	Miksauspyytä	7
2.2.4	Kaiutinjärjestelmä	7
2.2.5	Järjestelmän kellotaajuus	8
3	Audiodata	8
3.1	Open Systems Interconnection -, eli OSI-malli	9
3.2	OSI-mallin kerrosten toiminta ja tehtävät	10
3.3	Ensimmäisen kerroksen signaalinsiirtoformaatit	11
3.4	Toisen kerroksen siirtoprotokollat	12
3.5	Kehittyneet kolmannen ja neljännen OSI-kerroksen ääniverkot	12
4	Ohjausdata	12
4.1	Laitteiden komentokäskyt	12
4.2	Aikakoodi	14
4.3	Automaatio	15
5	Haastattelut	16
5.1	Erilaiset työskentely-ympäristöt ja työnkuvat	17
5.2	Signaali nopeasti digitaalseksi	18
5.3	Ääntä verkossa	18
5.4	Ohjausdataa ja automaatiota	19
6	Tutkimuksen tulokset ja päätelmät	20
7	Opinnäytetyöprosessin arviointi	22
	Lähteet	25

Liitteet

Liite 1. Haastatteluissa käsitellyt teemat

1 Johdanto

Ajatus teatteriääneen liittyvästä opinnäytetyöstä on muhinut mielessäni opintojeni toisesta vuodesta alkaen, jolloin ohjaava opettajani Reijo Karvonen ilmoitti minut mukaan yhteistyöprojektiin Teatterikorkeakoulun näyttelijäntyön koulutusohjelman opiskelijoiden kanssa. Toteutimme syksyllä 2013 kahden opiskelijakollegani kanssa äänisuunnittelun ja teknisen toteutuksen Teatterikorkeakoululla esitettyyn Mustaa valkoisella -esitykseen, joka oli luonteeltaan episodimainen musiikkiteatteriesitys. Esitys sisälsi runsaasti musiikkia, josta suuren osan esitti työryhmästä koottu orkesteri. Tästä tuotannosta alkoi edelleen jatkuva yhteistyöni Teatterikorkeakoulun kanssa. Vuodesta 2013 lähtien olen toiminut ääni-, tai äänijärjestelmäsuunnittelijana vuosittain useissa musiikkiteatteri-, ja tanssitaideoksissa, sekä suunnitellut ja toteuttanut useiden Teatterikorkeakoululla järjestettyjen tilaisuuksien äänitekniikan.

Jo ennen yhteistyötä Teatterikorkeakoulun kanssa olin toiminut useiden vuosien ajan äänisuunnittelijana ja teknikkona monissa harrastajavoittoisissa teatterituotannoissa. Lisäksi olin työskennellyt muusikkona ammattiteatterissa Hämeenlinnassa useammassa tuotannossa ennen opintojeni aloittamista Metropolialla vuonna 2012. Musiikin yhdistäminen teatteriin ja teatteriympäristössä operointi olivat minulle tuttua, joten tuntui luontevalta etsiä opinnäytetyön aihe musiikkiteknologian ja teatterin rajapinnasta.

Erilaisissa teatteritaloissa ja niiden teknisissä ympäristöissä työskenteleminen antoivat kannustimen tämän opinnäytetyön kirjoittamiselle. Perinteinen analogisen äänijärjestelmän signaalitieajatus on nykyisessä digitalisoituneessa maailmassa muuttanut muotoaan, mutta edelleen äänijärjestelmän suunnittelijan ja käyttäjän on ensiarvoisen tärkeää hamottaa reitti, jota pitkin signaali päätyy lähteestä kuulijalle. Signaalinsiirtotavalla on äänijärjestelmän suunnittelussa ratkaisevan tärkeä asema laadukkaan lopputuloksen ja käyttäjäystävällisen työskentely-ympäristön aikaansaamiseksi. Digitalisaation myötä on tuotannoissa hyödynnettävän tekniikan määrä noussut viimeisen parinkymmenen vuoden aikana valtavasti. Teknistyminen on myös lisännyt tilausta konemaiseen tarkkuuteen eri esitysteknisten osa-alueiden välillä. Konemaiseen tarkkuuteen pääseminen edellyttää konemaista kommunikaatiota. Perinteinen käsimerkeillä toteutettu kommunikaatio esimerkiksi ääni-, ja valo-operaattorin välillä ei enää nykyään riitä yhtäaikaisten iskujen tarkkuudeksi, vaan yhden napinpainalluksen antama käsky on välitettävä millisekunnin samalla hetkellä sekä äänen toistavalle tietokoneelle, että valotilanteen vaihtavalle

valopöydälle. Tiukentuneisiin vaatimuksiin vastaamiseen on nykyään tarjolla todella runsas määrä teknisiä ratkaisuja. Esitystekniikan järjestelmiä suunnittelevilla henkilöillä onkin työelämässä kova paine pysyä ajan tasalla jatkuvasti kehittyvistä teknisistä ratkaisumalleista ja tarjolla olevista välineistä. Koinikin tärkeäksi ja ennen kaikkea päivittäistä työskentelyä helpottavaksi tutkimukseksi kartoittaa muutaman maamme suurimman tuotannon kautta tällä hetkellä käyttöön vakiintuneita äänitekniikan käytännön sovelluksia.

1.1 Työn aihe ja tavoite

Tämä opinnäytetyö käsittelee modernin ammattimaiseen käyttöön tarkoitetun teatteriäänijärjestelmän toimintaa keskittyen laitteidenväliseen kommunikaatioon. Jaottelen kommunikaation työssäni kahteen pääluokkaan, audiodataan ja ohjausdataan. Audiodatalla viitataan kuultavaksi tarkoitetun äänen sisältävään tietovirtaan, ja ohjausdatalla laitteiden väliseen komentoja sisältävään kommunikaatioon.

Audiodata on sisällöltään näytteistettyä ilmanpaineen vaihtelua. Näytteen alkuperä, äänilähde, voi olla joko akustinen, tai valmiiksi digitaalinen äänitiedosto, joka toistetaan esimerkiksi tietokoneen kovalevyllä (Blomberg & Lepoluoto 2005, 12). Audiodata pitää sisällään sen informaation, joka yleisölle halutaan kaiutinjärjestelmän avulla vahvistaa kuultavaksi. Audiodatan liikuteltavat tietomäärät ovat huomattavasti ohjausdataa suurempia (Laaksonen 2013, 216-218), joten tämän opinnäytetyön pääpaino audiodatan käsittelyssä tulee olemaan signaalin siirtoprotokollissa.

Ohjausdata puolestaan on laitteiden välillä kulkevaa signaalia, jota ei ole tarkoitettu vahvistettavaksi ja kuultavaksi. Ohjausdata voi olla muodoltaan analogista tai digitaalista signaalia, ja sillä voidaan äänilaitteiden lisäksi ohjata muidenkin esitystekniikan osien, kuten valojen, lavan nostimien, tai pyrotekniikan toimintaa. Ohjausdatan käytännöllisyys tulee parhaiten esiin tilanteissa, joissa useampia esitystekniikan laitteita pyritään mahdollisimman tarkasti synkronoimaan esityksen tapahtumien kanssa (Huntington 2017, 343-347). Esimerkkitalanteena vaikkapa näytelmässä tapahtuva ukkosmyrsky, jossa salaman välähdystä imitoivan valon ja siihen liittyvän äänen olisi oltava mahdollisimman yhtäaikaista. Tällöin on helpointa ohjelmoida vaikkapa äänipöytä lähettämään ohjausdata-signaali yhtäaikaaisesti sekä ukkosäänen toistavalle tallentimelle, että valopöydälle.

Käsittelen opinnäytteessäni näitä aihepiirejä työtäni varten tekemissäni haastatteluissa esiinnousseiden työtapojen ja painotusten kautta. Työn tavoitteena ei niinkään ole pureutua bittitasolla signaalien sisältöihin, vaan kartoittaa eri protokollien ominaisuuksia ja esitellä suomalaisissa ammattiteattereissa käyttöön vakiintuneita sovelluksia signaalin siirron ja laitteidenvälisen kommunikaation toteutukseen. Työssäni pyrin kuitenkin valottamaan käytössä myös olevien ratkaisujen teknistä taustaa. Tutkimuksen jälkeen työn tarkoituksena on myös pohtia alan tulevaisuuden kehityssuuntia ja uusia työskentelytapoja, jotka nopeasti kehittyvä teknologia mahdollistaa.

Tutkimuskysymyksiä, joihin työ pyrkii vastaamaan:

- Mitkä ovat teattereissa käytetyimmät digitaalisen signaalin siirtoprotokollat?
- Miten käytössä olevat protokollat eroavat toisistaan?
- Mitkä ovat tyypillisimmät ohjausdatan protokollat?
- Millä tavoin laitteiden välistä kommunikaatiota hyödynnetään teattereissa tällä hetkellä?
- Löytyykö nykyisistä laitteistoista hyödyntämätöntä potentiaalia?

Oman työkokemukseni pohjalta uskon haastattelujen painopisteen keskittyvän pelkäämään digitaalista signaalin siirtoa hyödyntäviin järjestelmiin. Digitaalisignaalin siirtotavat tulevat todennäköisesti olemaan jonkinlaiseen ääniverkkoon pohjautuvia ratkaisuja. Ohjausdatan hyödyntämisen oletan olevan laajamittaista, sillä uskon haastatteluissa käsiteltävien tuotantojen hyödyntävän esitysteknisiä järjestelmiä monipuolisesti. Ohjausdataa oletan käytettävän sekä äänijärjestelmän sisällä, että jaettuna muiden esitystekniikan osa-alueiden kesken.

1.2 Tutkimusmenetelmä

Toteutan työni tutkimusosuuden teemahaastattelumenetelmällä. Haastattelun kolmea eri ammattiteattereissa toimivaa henkilöä, joiden päivittäiseen työnkuvaan kuuluvat opinnäytetyöni aiheena olevat teemat. Käyn haastateltavien kanssa läpi heillä parhaillaan työn alla olevia tuotantoja opinnäytetyöni kysymysten näkökulmasta. Valitsin työtavaksi

teemahaastattelun, joka perustuu haastattelijan määrittelemiін teemoihin ja niistä keskusteluun (Hirsjärvi & Hurme 2001, 47-48). Halusin jättää haastateltaville paljon liikkumavaraa, ja luoda haastattelutilanteesta mahdollisimman rennon ja keskusteluluonteisen.

Opinnäytetyötäni varten valitsin haastateltaviksi kolme äänisuunnittelijaa: Sakari Kiisken, Andreas Lönnquistin sekä Anton Lindblomin. Heidän kautta pääsin tutustumaan juuri uusitun Helsingin Kaupunginteatterin, Svenska Teaternin, Suomen Kansallisoopperan, sekä ensimmäistä kertaa musikaaliareenaksi valjastetun Messukeskuksen Amfi-salin tuotantoihin.

2 Teatteriaänijärjestelmä

Tämä opinnäytetyö on suunnattu ensisijaisesti esitystekniikan ammattilaisten käyttöön, joten en avaa yksityiskohtaisesti kaikkia käytettyjä termejä. Tässä luvussa käyn kuitenkin läpi pintapuolisesti äänijärjestelmän tyypillisimmät osat rajatakseni aihepiirin selkeästi. Teatteriaänijärjestelmällä viitataan tässä työssä ammattimaista musiikkiteatterituotantoa varten suunniteltuun järjestelmään.

2.1 Digitaalinen vastaan analoginen

Analogisella äänisignaallilla viitataan tässä opinnäytetyössä sähkövirran jännitteenvaihteluksi muunnettuun ilmanpaineen vaihteluun. Digitaalisella äänisignaallilla viitataan näytteistämällä mallinnettuun analogiseen signaaliin, joka esitetään binaarikoodina. (Laaksonen 2013, 54-77.)

Digitaalinen signaaliprosessointi on vakiinnuttanut teatterikäytössä asemansa 2000-luvulla. Kaikki tekemissäni haastatteluissa käsitellyt äänentoistojärjestelmät perustuivat digitaaliseen signaaliprosessointiin, joten suljen opinnäytetyöstäni pois täysin analogisiin laitteisiin perustuvat järjestelmät. Ennen digitalisaatiota käytössä olleisiin analogiseen vaihtoehtoihin verrattuna digitaalisen järjestelmän suurimmat hyvät puolet ovat asetusten tallennettavuus, muutosten tarkka toistettavuus ja signaalinsiirron häiriöttömyys. Analogisessa signaalinsiirrosta suuri ongelma ovat signaaliin indusoituvat häiriöt (Blomberg & Lepoluoto 2005, 115-116), joita synnyttävät herkästi esimerkiksi teattereissa käytettävät valot. Tällaisten häiriöiden suodattaminen pois signaalista on joko hyvin hanka-

laa, tai mahdotonta. Digitaaliseen signaaliin saattaa myös syntyä virheitä signaalia siirrettäessä, mutta digitaalisesta signaalista häiriöt on helpompi suodattaa pois. (Laaksonen 2013, 78.)

Digitaalitekniikan vyöry äänentoistojärjestelmiin alkoi 1990-luvulla, kun Yamaha-laittevalmistaja julkaisi Promix 01 -digitaalimiksauspöydän. Asetusten tallentamisen ja muistipaikkoihin perustuvan asetusten palautuksen johdosta tuotannoissa pystyttiin kontrolloimaan suurempaa mikrofoniäärää ja monimutkaisempia efektiasetuksia. (Collison 2008, 104.) Teattereiden äänisuunnittelijoiden keskuudessa digitaalitekniikan potentiaali nähtiin nopeasti, ja nykyään analogisia signaaliprosessoreita tai signaalinreititysjärjestelmiä ei käytä teattereissa enää juuri kukaan.

Digitaaliset järjestelmätkään eivät joustavista käyttömahdollisuuksistaan huolimatta ole suinkaan ongelmattomia. Suuri haaste digitaalista äänijärjestelmää suunniteltaessa liittyy laitteiston toimintavarmuuteen. Digitaalista signaalinsiirtoa hyödyntävissä järjestelmissä yhtä yhteyskaapelia pitkin kulkee tyypillisesti kaikki laitteiden välillä liikkuva audiodata. Kaapelin vioittuessa tai tiedonsiirtoväylän muuten vaarantuessa on koko järjestelmän toiminta välittömästi uhattuna. Tästä syystä tiedonsiirtoväylä päädytään tyypillisesti rakentamaan kaksinkertaiseksi siten, että pääasiallisen reitin katketessa tietoliikenne siirtyy vaihtoehtoiselle väylälle. Monissa kehittyneissä verkkopohjaisissa ääni-verkkojärjestelmissä varajärjestelmä on rakennettu suoraan laitteistoon siten, että laitteet pystyvät lähettämään käsittelemänsä datan suoraan kahteen erilliseen verkkoporttiin. Kun vastaanottava laite huomaa signaalin kadonneen pääasiallisesta väylästä, vaihtaa se automaattisesti kuuntelemaan vaihtoehtoista väylää. Kahden laitteen yhdistämiseen suunniteltuja yksinkertaisempia ensimmäisen tai toisen OSI-kerroksen (ks. kappaleet 3.3 ja 3.4) siirtoformaatteja käytettäessä varaväylä on tyypillisesti rakennettava signaalin haaroituksella erikseen. (Huntington 2017, 109-112.)

2.2 Signaalitie

Signaalitiekse kutsutaan reittiä, jonka ääni kulkee matkalla äänilähteestä kaiuttimelle (Laaksonen 2013, 92). Signaaliketjuun kuuluvat kaikki signaalitiehen kytketyt laitteet, joiden läpi ääni kulkee matkallaan mikrofoniasta kaiuttimelle. Signaalitien ymmärtäminen on laitteiston käyttäjälle ensiarvoisen tärkeää sekä halutun taiteellisen lopputuloksen saavuttamiseksi, että mahdollisten ongelmatilanteiden ratkaisemiseksi.

Digitaalinen signaalinsiirto on tehnyt signaalitien hahmottamisesta olennaisesti analogisia järjestelmiä haastavampaa. Analogisen järjestelmän reititys on pitkälti selvitettävissä laitteiden välisiä fyysisiä yhteyksiaapeleita tutkimalla, mutta digitaalisen ääniverkon reitityksiä on mahdoton selvittää ilman pääsyä signaalireitityksiä kontrolloivaan ohjelmistoon. Digitaaliset järjestelmät antavat käyttäjälleen joustavia mahdollisuuksia signaalitien reititykseen, mutta luovat myös mahdollisia sudenkuoppia, mikäli käyttäjä ei ole tarkalleen selvillä tekemistään reitityksistä. Laajojen digitaalisten ääniverkkojen tapauksessa reititysongelmien ratkaiseminen saattaa olla huomattavan hidasta.

2.2.1 Äänilähde

Äänilähde on signaaliketjun ensimmäinen osa. Äänilähde voi olla mikä tahansa akustista ääntä tai sähköistä äänisignaalia tuottava toimija. Signaalin luonne määrittää äänentoiston suunnittelijalle parhaan signaalin poimimistavan. Akustisten äänilähteiden tapauksessa käytössä on useimmin mikrofoni, joka muuntaa ilmanpaineenvaihtelun sähkövirran jännitteenvaihteluksi (Laaksonen 2013, 230). Sähköisten analogista tai digitaalista signaalia tarjoavien lähteiden tapauksessa muunnosta ilmanpaineesta jännitteenvaihteluksi ei tarvita, vaan signaali voidaan heti joko (analogisen signaalin tapauksessa) näytteistää, tai (digitaalisen signaalin tapauksessa) reitittää suoraan signaaliketjussa eteenpäin. Erilaisten äänilähteiden luonteesta on esimerkiksi verkossa tarjolla runsaasti lisätietoa. (Ks. esim. Blomberg & Lepoluoto 2005, 12.)

2.2.2 Analogisen signaalin konvertointi digitaalseksi

Nykyisissä teatteriaänijärjestelmissä pyritään akustisten ja analogisten äänilähteiden tuottama signaali muuntamaan mahdollisimman varhain signaaliketjussa digitaaliseen muotoon (Kiiski, 18.4.2018). Muunnosprosessia kutsutaan näytteistykseksi. Näytteistys tehdään aina sähköisestä jännitteenvaihtelusta. Analogisen signaalin muuntaminen digitaalseksi hävittää aina osia alkuperäisestä signaalista, joten prosessi ei ole häviötön. Mitä korkeampaa näytteenottotaajuutta muunnoksessa käytetään, sitä tarkemmin digitaalinen kuvaaja vastaa alkuperäistä signaalia. Näytteenottotaajuus ilmoitetaan tyypillisesti kilohertseinä, ja se ilmoittaa sekunnin ajanjaksolla otettujen näytteiden määrän. Tyypillisiä näytteenottotaajuuksia ammattimaisessa äänijärjestelmässä ovat esimerkiksi 48khz ja 96khz. Tällöin sekunnin ajanjaksolla otettujen näytteiden määrä on joko 48 000 tai 96 000 kappaletta. Muuntoprosessi vaatii myös prosessointivoimaa ja vie aikaa.

Näistä syistä turhia signaalin muunnoksia pyritään äänentoistojärjestelmää suunniteltaessa välttämään. (Laaksonen 2013, 66-77.)

Signaalin muuntamiseen, eli konvertointiin käytettävää laitetta kutsutaan AD/DA -muuntimeksi. Lyhenne tulee englanninkielisistä sanoista Analog-Digital, jossa kirjainten järjestys viittaa tehtävän muunnoksen suuntaan joko Analog to Digital tai Digital to Analog.

2.2.3 Miksauspöytä

Miksauspöydällä kootaan kaikki vahvistettavat signaalit yhteen, ja säädetään niiden väliset vahvistustasot tilanteeseen sopiviksi. Miksauspöydän kautta kulkevat tyypillisesti kaikki salin kaiutinjärjestelmällä vahvistettavat signaalit. Miksauspöydän sisällä voidaan myös tehdä mitä moninaisimpia prosessointeja esimerkiksi signaalin taajuusvasteelle tai dynamiikalle, sekä tehdä varsinaisen salimiksauksen lisäksi erilaisia summauksia vaikkapa monitorikaiuttimia tai esityksen äänitystä varten. (Laaksonen 2013, 116-137.)

Äänentoistojärjestelmään voi kuulua useita eri käyttötarkoituksiin suunnattuja miksauspöytiä. Tyypillinen ratkaisu on esimerkiksi käyttää yhtä miksauspöytää salin äänijärjestelmän kontrollointiin, ja toista lavamonitoroinnin kontrollointiin. Tällöin käytetään termejä ”monitorimiksauspöytä” ja ”salimiksauspöytä”. (Kiiski, 18.4.2018.)

2.2.4 Kaiutinjärjestelmä

Salin kaiutinjärjestelmällä vahvistetaan salimiksauspöydällä tehty äänisumma yleisölle. Kaiutinjärjestelmä monesti sisältää myös digitaalimuunnoksen, sillä usein miksauspöydästä syötetään vahvistimille digitaalista signaalia, jonka vahvistimeen sijoitettu DA-muunnin muuntaa analogiseksi jännitteenvaihteluksi vasta juuri ennen signaalin varsinaista vahvistusta. Vahvistuksen jälkeen signaali siirretään analogisena sähkövirran jännitteenvaihteluna kaiuttimelle, joka puolestaan muuntaa jännitteenvaihtelun ilmanpaineenvaihteluksi.

Salin kaiutinjärjestelmän lisäksi teatteriympäristössä käytetään myös esiintymislavalle tai orkesterimonttuun sijoitettuja monitorikaiuttimia. Näiden kaiuttimien tarkoituksena on helpottaa orkesterin ja solistien musiikillista kommunikaatiota. Monitorikaiutinjärjestelmään syötettäviä signaaleja ohjataan järjestelmän kokoonpanosta riippuen joko sali-, tai monitorimiksauspöydästä.

2.2.5 Järjestelmän kellotaajuus

Digitaalisella äänijärjestelmällä on aina kellotaajuus, joka määrittelee järjestelmään kytketyille laitteille sekunnin tarkan mitan. Kellosta käytetään tyypillisesti englanninkielistä nimitystä word clock. Kellotaajuuden perusteella esimerkiksi AD/DA-muuntimet osaavat ajoittaa näytteidenoton oikein suhteessa näytteenottotaajuuteen. Tyypillisesti äänijärjestelmän kaikkien laitteiden on oltava ”samassa kellossa”, eli käytettävä samaa kellolähdettä (Huntington 2017, 27). Kellosignaali voidaan kuljettaa joko omalla kaapelillaan, tai osana muuta datavirtaa äänijärjestelmän käyttämää signaalinsiirtoväylää pitkin. Kaikkien ammattikäyttöön suunnattujen digitaalisten äänilaitteiden on mahdollista käyttää joko omaa sisäistä kelloaan, tai jotakin edellä mainittua reittiä pitkin saapuvaa kellosignaalia. Äänijärjestelmää rakennettaessa määritetään yksi laite toimimaan kellolähteenä järjestelmän kaikille muilla laitteille. Tällöin puhutaan ”Master” ja ”Slave” -laitteista. Master-laitte jakaa oman kellonsa kaikille muille, joista tulee kellotaajuuden suhteen ”Slave” -laitteita. Verkkopohjaisissa signaalinsiirtojärjestelmissä myös mikä tahansa verkon laitteista voi toimia järjestelmän kellona, ja jakaa sen kaikille verkkoon kytketyille laitteille. Ääniverkkojärjestelmissä usein käytetty kellojärjestelmä on Precision Time Protocol, eli PTP. (Huntington 2017, 329-331.)

3 Audiodata

Audiodatalla viitataan tässä opinnäytetyössä kuultavaksi tarkoitetun äänisignaalin sisältävään datavirtaan. Suurin kysymys audiodataan liittyen vaikuttaa nykyään olevan sen siirtotapa. Digitaalisen äänisignaalin siirto edellyttää lähettävältä ja vastaanottavalta laitteelta saman kielen puhumista. ”Kieli” -sanon sijaan käytetään usein yksinkertaisista laitteidenvälisistä yhteyksistä puhuttaessa sanaa formaatti, ja monimutkaisempien verkkopohjaisten siirtotapojen yhteydessä sanaa protokolla. Haastattelujen perusteella yleisimmin teatterijärjestelmissä käytetty signaalinsiirtotapa perustuu digitaalisen äänisignaalin siirtämiseen lähiverkkoyhteyden välityksellä. Lähiverkot puolestaan perustuvat seuraavaksi käsiteltävään OSI-malliin, jonka käsitteellinen ymmärtäminen helpottaa huomattavasti ääniverkkojen rakenteen hahmottamista.

3.1 Open Systems Interconnection -, eli OSI-malli

OSI-malli on International Organization for Standardization (ISO) -järjestön julkaisema malli, jonka pohjalta kaikki tietoliikennejärjestelmät suositellaan suunniteltavan. Standardin tarkempi tunnus on ISO/IEC 7498-1:1994 (International Organization for Standardization -järjestön WWW-sivu, 29.10.2018). OSI-malli perustuu seitsemään kerrokseen, joista jokainen kommunikoi viereisten kerrosten kanssa.



Kuvio 1. OSI-kerrosmallin kuvaus, lähde <https://fi.wikipedia.org/wiki/OSI-malli>

Kaikki haastatteluissa käsitellyt signaalinsiirtotavat perustuvat ISO:n määrittämään standardiin ISO/IEC 7498-1, joka määrittelee verkon rakenteen Kuvion 1 mukaiseksi. Käsitellyt signaalinsiirtoformaatit operoivat OSI-mallin alemmilla kerroksilla 1-4. Ääniverkon laajennettavuuteen ja käyttömahdollisuuksiin vaikuttaa olennaisesti se, millä OSI-mallin kerroksella kyseinen verkkomalli pystyy toimimaan.

3.2 OSI-mallin kerrosten toiminta ja tehtävät

OSI-mallin seitsemästä kerroksesta digitaalisen äänisignaalsiirron kannalta tärkeimmät ovat neljä alinta kerrosta, eli Fyysinen-, Siirto-, ja Verkko-, ja Kuljetuskerros. Mallin toiminta perustuu kerrostenväliseen kommunikaatioon, jossa tietoa lähetettäessä jokainen kerros saa tietoa itseään ylemmältä kerrokselta, ja toimittaa sitä eteenpäin itseään alemmalle kerrokselle. Tietoa vastaanotettaessa liikenteen suunta on luonnollisesti päinvastainen.

Fyysisen kerroksen tehtävänä on määritellä käytettävän yhteyden mekaaniset, fyysiset ja toiminnalliset ominaisuudet. Digitaalisen äänisignaalin tapauksessa ensimmäisen kerroksen käyttämä yhteysmalli määrittää esimerkiksi käytettävän yhteyskaapelin ja liittimien tyypit. Fyysinen kerros myös muuntaa välitettävän datavirran yhteyskaistalle sopivaksi signaaliksi, esimerkiksi sähköisiksi pulsseiksi, valoksi, tai radiosignaaliksi. (Granlund 2007, 8.)

Siirtokerroksen tehtävänä on määritellä verkkoyhteyden osapuolet, ylläpitää kahden verkkopisteen välistä yhteyttä ja havainnoida ja korjata Fyysisen kerroksen tiedonsiirrossa tapahtuneet virheet. Näiden toimintojen saavuttamiseksi Siirtokerros on jaettu kahteen osaan: MAC-, eli Media Access Control -osioon, joka vastaa yhteyden muodostamisesta ja osoittamisesta, sekä LLC-, eli Logical Link Control -osioon, jonka tehtävänä on tietovuon hallinta sekä tiedonsiirron virheiden havainnointi ja korjaus. (Granlund 2007, 8.) Ääniverkkojärjestelmässä Siirtokerroksen palvelut tulevat tarpeeseen, mikäli verkkojärjestelmään kytketään enemmän kuin kaksi laitetta kerrallaan. Siirtokerros yksilöi yhteyspisteet jokaisen verkkoon kytketyn laitteen MAC-osoitteen¹ perusteella.

Verkkokerroksen palveluita tarvitaan käytettäessä laajempia, useita laitteita sisältäviä järjestelmiä. Verkkokerroksen tehtävänä tällaisessa kokonaisuudessa on hallinnoida tietoliikennettä IP-osoitteen² avulla. Verkkokerroksen toimintaan ei kuulu yhteyden perillepääsyn varmistaminen, vaan se ainoastaan hallinnoi avattavia yhteysväyliä.

¹ MAC-, eli Media Access Control -osoite on jokaiselle verkkolaitteelle valmistajan määrittämä, globaalisti uniikki 48-bittinen osoite, jonka perusteella yhteys kahden verkkolaitteen välille voidaan muodostaa (Huntington 2017, 157)

² IP-, eli Internet Protocol -osoite on verkkoyhteyksissä käytettävä 32-bittinen osoitekoodi, joka annetaan jokaiselle verkkoon liittyvälle laitteelle. Samassa verkossa operoivilla laitteilla on verkon luotettavan toiminnan varmistamiseksi oltava uniikki IP-osoite. (Huntington 2017, 171)

Kuljetuskerros määrittää tietoliikenteen toimintaperiaatteen. Tyypillisimmät ääniverkko-käytössä nähtävät protokollat ovat Transmission Control Protocol TCP ja User Datagram Protocol UDP. TCP on luonteeltaan ”yhteydellinen yhteys” (Granlund 2007, 9), jonka toiminta perustuu varmennettuun tiedonsiirtoon. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että TCP-protokolla varmentaa kahden laitteen välillä tapahtuneen tiedonsiirron ennen tiedon luovuttamista eteenpäin seuraavalle kerrokselle. TCP-lähetystä varten laitteiden välille luodaan uusi yhteys, joka suljetaan lähetyksen loputtua. TCP-protokollaa käytetään teatteriympäristössä esimerkiksi pyroteknisten laitteiden komentokäskyjen välitykseen sen varmennetun ja näin ollen turvallisemman luonteen vuoksi (Huntington 2017, 170). UDP puolestaan on ”yhteydetön yhteys” (Granlund 2007, 9), joka perustuu jatkuvasti avoinna olevaan kommunikaatioväylään. UDP-protokolla ei sisällä paketin vastaanoton varmistusta, vaan tiedonsiirron varmistus jää Siirtokerroksen LLC-osion varaan. UDP:n hyvä puoli on yhteyden nopeus, sillä protokolla ei käytä aikaa erillisten yhteyksien avaamiseen jokaista lähetystä varten, tai pakettien sisällön varmistamiseen. Useimmat käytössä olevista ääniverkkoratkaisuista perustuvat UDP-tiedonsiirtoon. Valinta on ymmärrettävä ääniverkkojen luonteen perusteella; verkot ovat usein verraten pienikokoisia, korkeintaan kymmeniä yhteyspisteitä sisältäviä järjestelmiä, ja käytettävät kaistanleveydet³ ovat ääniverkoissa usein mitoitettu varmasti riittävälle tasolle. Tämä tekee tiedonsiirrosta lähtökohtaisesti luotettavaa, joten varsinaista tarvetta hitaammalle, mutta turvallisemmalle TCP-protokollalle ei äänikäytössä usein nähdä. Mieluummin suositetaan lyhyemmän järjestelmäviiveen mahdollistavaa nopeampaa UDP-protokollaa.

3.3 Ensimmäisen kerroksen signaalinsiirtoformaatit

Ensimmäisen kerroksen signaalinsiirtoformaatit ovat yksinkertaisia, vain muutaman yhtäaikaisen äänisignaalin siirtoon käytettäviä kahden laitteen väliseen yhteyteen perustuvia ratkaisuja. Signaalia voidaan kuljettaa laitteiden välillä tarvittaessa molempiin suuntiin, mutta signaalia on mahdotonta esimerkiksi jakaa minnekään, eikä signaali itsessään pidä sisällään osoitetietoa välitettävälle datalle. Data yksinkertaisesti kuljetetaan sille laitteelle, johon fyysinen yhteys johtaa. Ensimmäisen kerroksen siirtoprotokollia käytetään tätä opinnäytetyötä varten tekemieni haastatteluiden perusteella modernissa teatteriaänijärjestelmässä harvoin.

³ Kaistanleveys määrittää käytettävän tietoliikenneyhteyden maksimaalisen siirtokapasiteetin. (Granlund 2007, 20.)

3.4 Toisen kerroksen siirtoprotokollat

Toisen kerroksen siirtoprotokollista puhuttaessa signaalin kuljetus on jo lähempänä tyypillistä tietokoneidenvälistä lähiverkkoyhteyttä. Yhteyttä pitkin kulkeva yksittäisten yhtäaikaisten äänisignaalien määrä voi olla kymmeniä, ja samassa verkossa voi olla peräkkäin useita laitteita. Kaikilla verkkoon liitetyillä laitteilla on oma osoite, jonka perusteella verkossa liikkuva data osataan ohjata oikealle laitteelle. Toisen kerroksen laitteiden osoitejärjestelmä perustuu jokaiselle laitteelle valmistajan toimesta määritellyyn 48-bittiseen MAC-, eli Media Access Control -osoitteeseen. (Huntington 2017, 157.)

3.5 Kehittyneet kolmannen ja neljännen OSI-kerroksen ääniverkot

Kolmannen ja neljännen OSI-kerroksen palveluita käyttävät ääniverkot sijoittuvat tällä hetkellä haastattelujen perusteella alan kehityksen kärkeen. Verkot perustuvat IP-osoitteella määriteltäviin yhteyksiin, ja pystyvät luomaan toimintaedellytykset hyvin laajoille äänijärjestelmille. IP-perusteisen järjestelmän etuja ovat muun muassa verkossa siirrettävien signaalien helppo reitittäminen useisiin yhtäaikaisiin kohteisiin, ja verkossa olevien laitteiden kontrollointi mistä verkkopisteestä tahansa. Verkossa voi liikkua yhtäaikaisesti satoja äänisignaaleja. Audio Engineering Society -organisaatio julkaisi vuonna 2013 AES67 -standardin, joka määrittelee toimintaperiaatteen kolmannen kerroksen ääniverkkojen toiminnalle. Useat laitevalmistajat pohjaavat omat tekniset ratkaisunsa tähän standardiin, joskaan eivät välttämättä ole suoraan yhteensopivia AES67-muotoisen signaalin kanssa. (Huntington 2017, 28.)

4 Ohjausdata

Ohjausdatalla viitataan tässä opinnäytetyössä laitteiden väliseen kommunikaatioon, joka välittää komentokäskyjä ja aikatieta järjestelmään kytketyille laitteille. Ohjausdata voi olla luonteeltaan digitaalista tai analogista signaalia, mutta se ei sisällä vahvistettavaksi ja kuultavaksi tarkoitettua ääntä. Käsittelen seuraavaksi haastatteluissa esiin nousseet teatterijärjestelmissä käyttöön vakiintuneet ohjausdatan käyttömuodot.

4.1 Laitteiden komentokäskyt

Komentokäskyt ovat luonteeltaan yksinkertaisia komentojonoja. Tyypillinen komento-käsky esimerkiksi miksauspöydän ja tehosteäänikoneen välillä voisi olla vaikkapa ”GO

CUE 13”, joka välittäisi tietokoneelle käskyn soittaa etukäteen ohjelmoituun CUE 13 -muistipaikkaan liitetty äänitiedosto. Äänilaitteiden välinen kommunikointi edellyttää laitteille yhteistä ”kieltä”. Useimmat digitaaliset äänilaitteet kommunikoivat vuonna 1983 julkaistulla MIDI (Musical Instrument Digital Interface) -komentokielellä, joka suunniteltiin alkujaan digitaalisten syntetisaattoreiden ohjaamiseen. MIDI-signaali on luonteeltaan 10-bittistä digitaalisignaalia, ja MIDI-väylän tiedonsiirtonopeus on 31,25 kilobittiä sekunnissa. Väylän nopeus ei ole nykymailman standardeihin suhteutettuna kovin nopea, verrattuna vaikkapa monien ääniverkkojen käyttämään Gigabit Ethernetiin, jonka tiedonsiirtonopeus on 1 gigatavu sekunnissa (Huntington 2017, 158-159). MIDI-väylän tiedonsiirtonopeus riittää kuitenkin hyvin monimutkaistenkin tietojen välittämiseen, sillä MIDI-komentokäskyt ovat kooltaan hyvin pieniä verrattuna vaikkapa pakkaamattoman näytteistetyn audiosignaalin kokoon.

MIDI-tiedon perinteinen siirtotapa on kahden laitteen MIDI IN ja OUT -porttien välille kytkettävä kaapeli. Perinteinen MIDI-kytkentä käyttää viisinapaista DIN 180° -liitintä, jossa yhteyskaapelin molemmissa päissä on urosliittimet, ja yhdistettävän laitteen MIDI-portissa naarasliitin. (Laaksonen 2013, 394.)



Kuvio 2. Yläpuolelle MIDI-yhteyskaapelissa käytettävä DIN 180° -liitin, uros.



Kuvio 3. Yläpuolella MIDI-liitännässä laitteen MIDI IN -, ja OUT -porteissa käytettävä DIN 180° -runkoliitin, naaras.

Perinteisen MIDI-kaapelin on viime vuosina korvannut MIDI-tiedon siirtäminen jonkin muun digitaalisen signaali siirtotavan välityksellä. Usein esimerkiksi tietokoneen ja MIDI-kontrollerin välinen liikenne hoidetaan USB-kaapelin välityksellä, ja teatterikäytössä laitteiden välinen MIDI-ohjausdata lähetetään käytettävän tiedonsiirtoverkon, esimerkiksi MADIn yhteysväylää pitkin. MIDI-tiedon lähettäminen muita yhteysväyliä pitkin vaatii aina oman protokollansa, joten MIDI-tiedon kuljettamiseen erinäisten siirtoformaattien välityksellä on olemassa useita eri protokollia. (Huntington 2017, 281-283.)

4.2 Aikakoodi

Laitteistoon syötettävät käskyt on myös mahdollista sitoa esityksen aikajatkumoon. Yleisimmin käytetty tapa laitteiden aikakäsityksen synkronointiin on SMPTE-aikakoodi. SMPTE-aikakoodin alkuperäinen kehittäjä oli amerikkalainen yritys EECO, joka kehitti vuonna 1967 tavan synkronoida kuva-, ja äänitallenteet keskenään jälkikäsitteilyvaiheessa. Kansainvälinen Society of Motion Picture and Television Engineers -järjestö julkaisi vuonna 1969 EECO:n järjestelmän pohjalta SMPTE-aikakoodiformaatin, joka koostui kahdesta eri variaatiosta: Linear Time Code (LTC)-, ja Vertical Interval Time Code (VITC) -aikakoodista. (Huntington 2017, 308.) Äänijärjestelmissä näistä vaihtoehdoista on nykyisin vakiintunut käyttöön pääasiassa LTC. Valinta johtuu LTC-koodin luonteesta, sillä se on helppo jakaa laitteiden välillä analogisen äänisignaalin muodossa. LTC-koodi ei myöskään tarvitse toimiakseen referenssiä esimerkiksi äänijärjestelmän master-kelloon⁴, vaan se sisältää itsessään kaiken tarpeellisen datan tarkan aikakohdan määrittämiselle.

LTC-koodi voidaan generoida millä tahansa laitteella, esimerkiksi internetistä löytyy useita ilmaisia LTC-aikakoodin generaattoreita. Koodi tyypillisesti generoidaan yksilöidysti jokaista kohtausta varten, sillä teatteriesityksen elävästä luonteesta johtuen on mahdotonta sitoa kovin pitkiä osia esityksestä toistumaan aikakoodin tarkkuudella samaan rytmiin. Koodin generoimisen jälkeen koodin sisältävä äänitiedosto yksinkertaisesti jaetaan äänijärjestelmän välityksellä kaikille sitä tarvitseville käyttäjille. Äänijärjes-

⁴ Master-kellolla viitataan digitaalisen äänijärjestelmän sisäisen kellon generaattoriin, jonka tehtävänä on määritellä kyseisessä järjestelmässä vallitseva sekunnin aikakäsite. Digitaalisen äänijärjestelmän vakaan toiminnan varmistamiseksi kellon lähde pitää kaikilla verkon laitteilla olla sama. Useimmat ääniverkkoratkaisut käyttävät kellosignaalin jakamiseen Precision Time Protocol -standardia. (Huntington 2017, 330)

telmän sisällä koodi jaetaan yleensä digitaalisignaalin, mutta esimerkiksi valo-, tai videojärjestelmiin siirryttäessä signaalin helpoin levitys tapahtuu yleensä analogiseksi signaaliksi muunnettuna.



Kuvio 4. LTC-aikakoodi tuotuna Pro Tools -sekvensserin näytölle.

4.3 Automaatio

Automaatiolla viitataan tässä työssä aikakoodiperusteisesti tapahtuviin etukäteen ohjelmoituihin muutoksiin. Tyypillinen käyttökohde on esimerkiksi yksittäisen musiikkinumeron valotilanteiden sitominen aikakoodiin, jolloin äänijärjestelmästä syötetty aikakoodi kertoo valolaitteistolle milloin vaikkapa kappaleen kertosäe alkaa, ja valo-ohjain vaihtaa käytettävän valotilanteen automaattisesti tiedon saapuessa. Aikakoodiautomaation käyttäminen edellyttää, että automatisoitava esityksen osa on pystyttävä sitomaan tarkasti samaan rytmiin jokaisella esityskerralla. Tämän edellytyksen vuoksi automatisoitavat aikajaksot ovat tyypillisesti melko lyhyitä. Automaation hyviin puoliin lukeutuu tarkka toistettavuus. Tästä syystä esimerkiksi lavanostimiin ja pyrotekniikkaan liittyvät tapahtumasarjat sidotaan monesti aikaan.

Äänijärjestelmän näkökulmasta automaatio antaa runsaasti käyttömahdollisuuksia. Miksauspyödyän muistipaikkojen vaihto on esimerkiksi mahdollista sitoa aikakoodiin, jolloin

äänioperaattorin ei tarvitse huolehtia vaikkapa musiikkinumeron aikana auki olevista mikrofoneista, vaan miksauspöytä saa aikakoodiperusteisesti MIDI-komennot muisti-paikkojen vaihtoon. Komennot voi syöttää esimerkiksi sama ohjelma, joka vastaa musiikkitiedoston toistamisesta. Tyypillisin ohjelmisto esitystekniikan järjestelmissä automaation hallintaan on haastatteluiden perusteella QLab⁵.

5 Haastattelut

Valitessani opinnäytetyötäni varten haastateltavia henkilöitä pyrin saavuttamaan mahdollisimman kattavan ja modernin otannan Suomessa tällä hetkellä käytössä olevasta teatteriaäniteknikasta. Olin onnekas saadessani haastattelun järjestymään juuri näiden henkilöiden kanssa, sillä näillä kolmella haastattelulla sain ajanmukaista tietoa Helsingin Kaupunginteatterin, Svenska Teaternin, Suomen Kansallisoopperan sekä Helsingin Messukeskuksen uuden musiikkiteatteriarena Amfin teknisistä ympäristöistä. Tämä otanta edustaa mielestäni hyvin maamme teatterialan tämän hetken kehityskärkeä. Haastateltaviksi päätyivät äänisuunnittelijat Sakari Kiiski (Suomen Kansallisooppera ja Helsingin Kaupunginteatteri), Andreas Lönnquist (Svenska Teatern ja Suomen Kansallisooppera), sekä Anton Lindblom (Messukeskus Amfi). Toteutin haastattelut teema-haastatteluperiaatteella. Dokumentoin haastattelut äänitiedostoiksi Olympus LS-5 -sanelimen avulla voidakseni palata halutessani haastateltujen käyttämiin tarkkoihin sanamuotoihin, ja voidakseni haastattelutilanteessa keskittyä muistiinpanojen kirjaamisen sijasta keskustelun ohjaamiseen. Tarkempi lista haastatteluissa käsitellyistä teemoista on luettavissa tämän opinnäytetyön lopusta Liite 1 -dokumentista ”Haastatteluissa käsitellyt teemat”.

Ensimmäinen haastateltavani oli Sakari Kiiski, jonka kanssa tapasimme haastattelun merkeissä Cafe Piritassa Helsingissä 18.4.2018. Kiiski on pitkän linjan äänisuunnittelija, joka on työskennellyt maanlaajuisesti useissa teattereissa varsinkin musiikkiteatterituantojen parissa. Haastattelun aikaan hänellä oli käynnissä esitykset Myrskyluodon Maija -musikaalista Helsingin Kaupunginteatterilla, sekä Oopperan Kummitus -esityksen lämmitysharjoituksien suunnittelu Kansallisoopperalla. (Kiiski, 18.4.2018.)

⁵ QLab on amerikkalaisen Figure 53 -yrityksen tuote, jolla kontrolloidaan eri esitystekniikan osalu-
alueita, kuten ääntä, valoa ja videota. (Valmistajan verkkosivu <https://figure53.com/qlab/>)

Andreas Lönquistin tapasin haastattelun merkeissä Svenska Teaternilla 30.5.2018. Lönquist on työskennellyt pitkään Svenska Teaternilla äänimestarina, ja tuntee näin ollen talon äänijärjestelmän varsin hyvin. Haastattelun aikaan Lönquist työskenteli syksyllä 2018 ensi-iltansa saaneen suurmusikaali Chessin harjoituksissa. Lönquist vastasi musikaalin äänisuunnittelusta. Chessin lisäksi Lönquist oli suunnittelemassa Oopperan Kummituksen paluuta ohjelmistoon yhteistyössä Sakari Kiisken kanssa. (Lönquist, 30.5.2018.)

Anton Lindblom on äänisuunnittelija, joka työskentelee Lönquistin tavoin päätoimisesti Helsingissä Svenska Teaternilla. Haastattelun aikaan 31.5.2018 tapasin Lindblomin kuitenkin Helsingin Messukeskuksella, jonne hänet oli palkattu vastaamaan Mamma Mia -musikaalituotannon äänioperaattorin tehtävistä. (Lindblom, 31.5.2018.)

5.1 Erilaiset työskentely-ympäristöt ja työnkuvat

Tehdyt haastattelut paljastivat mielenkiintoisia eroja tuotantojen toteutustavoissa. Helsingin Kaupungiteatteri, Svenska Teatern ja Kansallisooppera operoivat hyvin perinteisen teatteritalon tapaan, jossa talossa on kiinteä saliin suunniteltu äänentoistojärjestelmä, jota tarvittaessa laajennetaan kunkin produktion tarpeiden mukaisesti (Kiiski, 18.4.2018). Tämän järjestelmän pohjalta äänisuunnittelija aloittaa työnsä, ja tekee taiteelliset ratkaisut suunnittelussaan tekniset olosuhteet huomioiden. Messukeskuksen Amfi -teatterin Mamma Mia -tuotannon tapauksessa koko esitystekniikkajärjestelmä⁶ oli tuotu Englannista valmiina pakettina, jonka englantilaisen tuotantoyhtiön henkilöstö oli pystyttänyt ja ohjelmoinut valmiiksi. Näin ollen esityksen äänioperaattorille oli valmiiksi määritetty hyvin tarkat toimintaohjeet, joiden mukaan hänen tuli operoida. (Lindblom, 31.5.2018.)

Eroja löytyi myös esitysten teknisen henkilökunnan miehityksessä. Messukeskuksen Amfi -teatterin tuotannossa Anton Lindblom vastasi koko äänioperaattorin tontista yksin, kun esimerkiksi Helsingin Kaupunginteatterin Myrskyluodon Maija -esityksessä työskenteli kaksi äänioperaattoria. Tällöin ensimmäinen operaattori vastaa langattomien mikrofونien tasoista ja saliaänen kokonaisbalanssista⁷, toinen orkesterin balanssista. Kansal-

⁶ Esitystekniikkajärjestelmä, tässä tapauksessa esityksessä käytetty valo-, ja äänitekniikka.

⁷ Balanssi, eli saliaänessä vahvistettujen äänten suhde toisiinsa.

lisoopperan Oopperan Kummituksessa osa äänioperaattorin tehtävistä oli siirretty orkesterin järjestäjälle, jonka vastuulla oli osa tehosteäänien ajosta. (Kiiski, 18.4.2018.) Työtavat ja työnjako siis vaihtelevat talosta ja tuotannosta riippuen.

5.2 Signaali nopeasti digitaalseksi

Signaaliketjusta puhuttaessa kaikkien haastateltavien yhteinen ajatus oli äänisignaalin mahdollisimman nopea saattaminen digitaaliseen muotoon, ja pitäminen sellaisena läpi koko signaaliketjun. Kaikki haastateltavat mainitsivat perusteeksi samoja digitaalisen signaalikäsittelyn hyviä puolia häiriöttömästä signaalinsiirrosta prosessoinnin helppouteen. Esiin nousi myös turhien konversioiden välttäminen. Signaalin konvertointi varsinkin analogisen ja digitaalisen välillä vie aikaa, ja jokaisessa konversiossa hävitetään väistämättä osia alkuperäisestä signaalista (Kiiski, 18.4.2018).

5.3 Ääntä verkossa

Signaalin siirtäminen laitteiden välillä toteutettiin kaikissa esimerkkitapauksissa digitaalisessa muodossa. Kaikkia tuotantoja myös yhdisti Digico-valmistajan laitteistot, jotka vaikuttavat olevan teatterialalla tällä hetkellä varsin yleisesti käytössä. Valta-aseman takana lienee valmistajan erityisesti teatterikentälle suuntaama Theatre-ohjelmistoversio, joka sisältää innovatiivisia ja työtä helpottavia ominaisuuksia nimenomaan teatteriesityksen tarpeisiin (Lindblom 31.5.2018). Digico perustaa laitteidensa välisen signaalinsiirron suurelta osin MADI⁸-protokollaan. Selkeästi toisen kerroksen protokollalla käsitellyistä tuotannoista kuitenkin operoi ainoastaan Messukeskuksen Mamma Mia (Lindblom 31.5.2018). Muissa taloissa MADI-protokollaa oli laajennettu Optocore⁹ -järjestelmällä, joka laajentaa yksinkertaiset laitteiden väliset MADI-signaalit kolmannen kerroksen IP-osoitteistoon perustuvaksi tietovirraksi. Tämä mahdollistaa esimerkiksi samojen mikrofoni- ja musiikkilaitteiden digitoitujen signaalien jakamisen usean miksauspöydän kesken, kuten esimerkiksi Helsingin Kaupunginteatterin sali-, ja monitorimiksauspöytien tapauksessa toimitaan (Kiiski, 18.4.2018).

⁸ Audio Engineering Society -organisaation AES10-standardiin perustuva toisen kerroksen Multichannel Audio Digital Interface -protokolla, joka pystyy kuljettamaan yhtäaikaaisesti 64 audiokanavaa. (<http://www.aes.org/publications/standards/search.cfm?docID=17>)

⁹ Optocore-valmistajan ääniverkkojärjestelmä, jolla laajennetaan MADI-signaalinsiirto kolmannen kerroksen ääniverkoksi. (Optocore Network Description, <http://www.optocore.com/images/pdf/about-us/network/Network-Description-v2.12E.PDF>)

Haastatteluissa nousi esiin myös äänen prosessointiin käytettävä Waves-valmistajan signaalinsiirtoprotokollan ja prosessointijärjestelmän käsittävä Soundgrid¹⁰. SoundGrid on toisen kerroksen ääniverkkoprotokolla, jonka avulla voidaan miksauspöydän ja ulkoisen prosessointijärjestelmän välillä siirtää yhtäaikaaisesti enintään 128 audiokanavaa. Soundgrid-verkkoa käytetään yhtäaikaisesti Optocore-verkon kanssa miksauspöytään asennetun verkkokortin välityksellä. SoundGrid-järjestelmä antaa äänisuunnittelijan käyttöön huomattavasti lisää prosessointivoimaa. (Kiiski, 18.4.2018.)



Kuvio 5. Digico SD 7 Suomen Kansallisoopperalla. Kuvan lähde <https://www.mondodr.com/digico-sd7t-ghosts-into-finnish-national-opera/>

5.4 Ohjausdataa ja automaatiota

Laitteiden välistä ohjausdataa hyödynsivät kaikki käsitellyt tuotannot. Yleisin perustason ohjausdatan käyttötapa oli mikrofonietuasteiden etäohjaus miksauspöydältä. Tämän lisäksi kaikissa tuotannoissa käytettiin MIDI-käskyjä laitteiden välillä laukaisemaan esi-

¹⁰ Waves-valmistajan toisen kerroksen SoundGrid-verkon signaalinsiirtoa hyödyntävä prosessointijärjestelmä. (Waves Audio Systems, Soundgrid 101 <https://www.waves.com/soundgrid-101>).

merkiksi tehosteääniä tietokoneelta. Tavallaan ohjausdataa hyödyntää myös miksauspöydän sisäinen muistipaikkajärjestelmä, jonka avulla äänioperaattori tai operaattorit vaihtavat äänipöydän asetuksia suurempina kokonaisuuksina.

Aikakoodiin perustuvaa varsinaista miksausautomaatiota haastateltavat kertoivat hyödyntävänsä harvoin. Perusteluna käyttämättä jättämiselle olivat pääasiassa luotettavuusongelmat. Aikakoodiautomaatiolle ei koettu haastateltavien keskuudessa myöskään tarvetta. Esimerkiksi äänipöydän muistipaikkojen vaihto haluttiin mieluummin pitää äänioperaattorin, kuin automaation vastuulla. Tällä haluttiin varmistaa, että äänioperaattori pysyy joka hetkellä ”tilanteen herrana”. Esitysten sisäinen rytmi elää illasta toiseen, joten esimerkiksi aikakoodiin sidottu mikrofoniin sulkeutuminen ei välttämättä jokaisella esityskerralla osuisi juuri oikealle hetkelle (Lönquist, 30.5.2018). Äänioperaattori aistii esityksen inhimillistä rytmiä ja välittää käskyjä tekniselle laitteistolle aistimansa rytmin perusteella, hänen rytmikäsitykseensä luotetaan mieluummin, kuin aikakoodiin (Kiiski, 18.4.2018).

Aikakoodin käyttö muissa sovelluksissa oli yleistä. Esimerkiksi Svenska Teaternin musiikkiteatterituotannoissa Lönquist mainitsi tavanmukaisesti käytettävän musiikkinumerokohtaista aikakoodia, joka jaetaan äänijärjestelmän kautta kenelle tahansa sitä tarvitsevalle taholle. Tyypillisiä aikakoodin käyttökohteita olivat muun muassa lavatekniikka, kuten nostimet ja pyörömoottorit, sekä valo-, ja videotekniikka. Käytettävä aikakoodin muoto on LTC. LTC-koodia käytetään sen käyttövarmuuden ja jakamisen helppouden vuoksi. LTC-koodi on perusluonteeltaan analogista äänisignaalia, joten sen jakelu on helppo suorittaa äänijärjestelmän välityksellä. (Lönquist, 30.5.2018.)

6 Tutkimuksen tulokset ja päätelmät

Haastatteluissa käsitellyt työtavat ja ratkaisut sisälsivät sekä yllätyksiä, että odotettuja vastauksia suhteessa johdannossa esittämiini lähtöoletuksiin. Audiodatan käsittelyssä digitaalinen signaalinprosessointi ja siirto painottuivat haastatteluissa selkeästi, eikä täysin analogisia järjestelmävaihtoehtoja noussut esiin lainkaan. Digitaalisen järjestelmän mainitut edut teatterikäytössä olivat odotusten mukaisia, ja signaalin siirto perustui johdannossa mainitsemani oletuksen mukaisesti verkossa siirrettävään signaaliin. Yllätykseksi voidaan laskea yhden laitevalmistajan ja siirtoprotokollan vahva dominointi kaikissa käsitellyissä tuotannoissa. Odotin näkeväni useampia järjestelmävaihtoehtoja, sillä

tarjonta äänilaitemarkkinoilla on tällä hetkellä todella runsasta. Ohjausdatan hyödyntäminen käsitellyissä järjestelmissä oli odotusten mukaan runsasta, mutta äänijärjestelmän sisällä käytettävän automaation oletin korostuvan huomattavasti enemmän. Esimerkiksi aikakoodiin sidottuja miksauspöydän automaattisia asetusmuutoksia ei kukaan maininnut hyödyntävänsä. Valinta oli selkeästi perusteltu, haastateltavat ilmoittivat mieluummin luottavansa ihmisen, kuin koneen rytmitajuun.

Luotettavuus ja käytön joustavuus todettiin myös tärkeiksi äänijärjestelmän ominaisuuksiksi. Tämä näkökulma selittää osaltaan yhden laitevalmistajan odottamattoman vahvaa markkina-asemaa. Vaikka alalla toimivat laitevalmistajat kehittävät jatkuvasti uusia entistä monipuolisempia käyttömahdollisuuksia tarjoavia järjestelmiä, on käytännön työssä toimintavarmuutensa ja luotettavuutensa osoittaneilla laitteilla vahva asema järjestelmiä suunniteltaessa.

Luotettavuuteen perustuu myös aikakoodiin perustuvan ohjausdatan potentiaalin hyödyntämättömyys äänijärjestelmissä. Periaatteessa aikakoodiin sidotulla automaatiolla pystyttäisiin korvaamaan osia esityksen äänioperaattorin työpanoksesta, ja mahdollisesti joissain tuotannoissa jopa pudottamaan kahdesta äänioperaattorista toinen pois. Käytännössä esityksen rytmin elävyydestä ja esiintyjien inhimillisestä luonteesta johtuen esityksen jokaisella toistokerralla ei päästä sellaiseen rytmiseen tarkkuuteen, joka ei edellyttäisi tekniseltä laitteistolta rytminmuutokseen reagoimista. Tällaiseen reagointiin automaatio on kykenemätön, joten ihmisen työpanosta laitteiston komentokäskyjen antajana on mahdoton nykyisillä automaatiomalleilla korvata.

Nykyajan talouskeskeistä ajattelua ja teatteritaiteen rahoituksen kehityssuuntaa ajatellen on mielenkiintoista nähdä, pyritäänkö ohjausdataa hyödyntämällä tulevaisuudessa löytämään entistä tehokkaammin keinoja teatteriesityksessä vaadittavan teknisen henkilökunnan vähentämiseen. Periaatteessa esitystekniikan eri osa-alueiden kontrollointi yhden operaattorin toimesta on ohjausdataa hyödyntämällä jo nykyisellä teknologialla hyvin mahdollista. Pienemmissä tuotannoissa hyödynnetään jo nykyään monesti yhden operaattorin mallia, jossa esimerkiksi valo-ohjaajan kontrolloima QLab-ohjelmisto antaa komentokäskyt myös äänitehosteiden soittimelle, eikä erillistä äänioperaattoria yksinkertaisessa esityksessä välttämättä tarvita. Musiikkiteatteriesityksen tapauksessa tällainen ratkaisu johtaisi valtavaan taiteelliseen kompromissiin, sillä äänioperaattori tekee jokaisessa esityksessä yksilölliset ratkaisut esimerkiksi saliaänen balanssista huomioiden

kaikki tilanteeseen vaikuttavat tekijät. Tehokkuusajattelun jyrätessä on kuitenkin kiinnostavaa nähdä, ryhdytäänkö tällaisia kompromissimalleja jossain yhteydessä kehittämään.

Opinnäytetyön alussa esitin työtäni ohjaavia tutkimuskysymyksiä. Audiodatan siirtotapoihin ja niiden eroihin liittyviin kysymyksiin voidaan haastattelujen perusteella todeta, että haastattelijoiden käyttämät järjestelmät perustuvat joko toisen tai kolmannen OSI-kerroksen siirtoformaatteihin, ja hyödyntävät pääasiassa Digico-valmistajan suosimaa MADI-formaattia. Erot järjestelmien välillä koskivat lähinnä järjestelmän laajennettavuutta. Kaikissa muissa, paitsi Mamma Mia -tuotannon järjestelmässä MADI-formaatti oli laajennettu Optocore-järjestelmällä kolmannen kerroksen ääniverkoksi. Ohjausdatan formaattien osalta voidaan todeta MIDI-kielen olevan edelleen vahva suosikki äänilaitteiden komentokielenä. Laitteiden välisen kommunikaation hyödyntäminen on runsasta varsinkin esitystekniikan eri osa-alueiden välillä. Usein esimerkiksi äänijärjestelmästä syötettävä aikakoodi toimii laukaisimena valo-, video-, tai lavanostintekniikalle. Hyödyntämätöntä teknistä potentiaalia löytyi yllättäen äänijärjestelmän sisältä, kun aikakoodiin perustuvaa miksausautomaatiota ei kukaan haastatelluista ilmoittanut juurikaan hyödyntävänsä. Hyödyntämättä jättämiselle esitettiin vahvat taiteelliset perusteet.

7 Opinnäytetyöprosessin arviointi

Aloitin opinnäytetyöni suunnittelun konkreettisesti syksyllä 2017. Ensimmäinen ajatukseni oli käsitellä teatteriaäänijärjestelmien laitteistoratkaisuja omassa työssäni kohtamieni teknisten ratkaisujen kautta. Nopeasti siirsin ajatuksen kuitenkin laajempaan tilannekartoitukseen, ja syntyi idea haastattelujen sisällyttämisestä työn toteutukseen. Haastateltavien valinta perustui omaan näkemykseeni Suomessa tällä hetkellä kehittyneintä esitystekniikkaa hyödyntävistä teatteritaloista. Haastattelut toteutin keväällä 2018, ja kirjoitustyötä haastattelujen purkamisessa ja teoriaosuuden kirjoittamisessa jatkui syksyyn 2018 asti.

Haastateltavien valinta oli mielestä onnistunut, ja olin todella iloinen saadessani juuri haluamani henkilöt suostumaan työtäni varten haastateltaviksi. Näiden henkilöiden kautta sain työni pohjaksi tietoa maamme taiteellisesti ja teknisesti korkeatasoisimmista tuotannoista. Jälkeenpäin työni painopistettä tarkastellen olisin voinut valita haastateltavien joukkoon vielä jonkun enemmän äänijärjestelmien suunnitteluun suuntautuneen

henkilön. Toisaalta näillä valinnoilla näkökulmaksi muodostui selkeästi käyttäjälähtöisyys. En myöskään halunnut laajentaa haastateltavien lukumäärää, sillä aineistoa kertyi jo näistä haastatteluista paljon enemmän kuin tässä työssä ehdin käsitellä.

Opinnäytetyön rajauksen olisin jälkeenpäin ajatellen voinut tehdä vielä selkeämmäksi ennen haastatteluiden tekemistä. Rajaus olisi varmasti auttanut saavuttamaan tarkempaa tietoa juuri tämän opinnäytetyön käsittelemiin aiheisiin. Toisaalta tarkoitukseni oli luoda yleiskatsaus teatterikentällä käytettäviin äänijärjestelmiin, enkä halunnut rajoittaa haastateltavien ulosantia liian tarkkaan osoitetuilla kysymyksillä. Siksi päädyin haastatteluissa käyttämään teemahaastatteluperiaatetta. Toisaalta haastattelujen rajaamattomuuteen oli myös itsekäät perusteet, sillä halusin saada harvinaisesta haastattelumahdollisuudesta irti mahdollisimman monipuolista ja omassa työssäni hyödynnettävää tietoa kokeneiden äänisuunnittelijoiden käyttämisestä työtavoista. Haastatteluiden perusteella saatu tietomäärä oli kuitenkin niin laaja, että jouduin rajaamaan tätä opinnäytetyötä varten käytettävän tiedon lopulta melko pieneen osaan haastattelujen tuottamasta datasta. Toisaalta haastattelujen tuottama tietomäärä antaa eväitä tällä opinnäytetyöllä aloittamani tutkimustyön laajentamisesta eteenpäin, mikäli sellainen tulee joskus ajankohtaiseksi.

Tässä opinnäytetyössä esitetyn tiedon validiteetin varmistamiseksi pyysin haastateltuja henkilöitä lukemaan työni läpi ennen julkaisua ja kommentoimaan mahdollisia epäkohtia, joita työssäni havaitsevat. Haastatellut eivät maininneet huomanneensa epäkohtia työn sisällössä. Sakari Kiiski kommentoi luvussa 5.1 esiintyvän Oopperan orkesterin järjestäjän tittelistä, ettei ole varma onko oikea titteli ”orkesterin järjestäjä”, vai ”musiikkijärjestäjä”. Haastattelunauhalla kuuluu käytettävän molempia termejä, eikä asialla työn sisällön kannalta ole ratkaisevaa merkitystä.

Opinnäytetyöni tutkimuksen tuloksiin olen tyytyväinen. Alkuun hyvin hankalalta tuntunut työn rajaus on lopputuloksessa onnistunut, ja onnistuin mielestäni varsinkin teoriaosuudessa käsittelemään monimutkaisiakin aihepiirejä selkokielisesti ja jäsennellysti. Opinnäytteeni myös vastaa mielestäni onnistuneesti työn alussa esittämiini tutkimuskysymyksiin.

Periaatteessa tämän opinnäytetyön sisältöä voi hyödyntää kuka tahansa, joka operoi tai suunnittelee nykyaikaista teatteriäänijärjestelmää. Varsinkin verkkopohjaista signaalinsiirtoa käsittelevää kirjoitettua tietoa ei alan nopeasta kehityksestä johtuen ole valtavasti

tarjolla, ja aiheen käsittely onnistui tässä opinnäytetyössä mielestäni kelvollisesti. Lähdetiedon saatavuus lukeutui ehdottomasti tämän opinnäyteprosessin ongelmiin, mutta lopulta onnistuin löytämään mielestäni laadukasta ja ajanmukaista tietoa yhdistelemällä tietotekniikkaa ja äänijärjestelmien kokoonpanoa käsittelevää kirjallisuutta. Erityisesti tämän opinnäytetyön aihepiireistä kiinnostuneille suosittelen lähdeluettelosta löytyvää James Huntingtonin kirjaa *Show Networks & Control Systems* -kirjaa. Teoksesta löytyi huomattava määrä selkeästi esitettyä ja hyvin jäsenneltyä ajanmukaista tietoa teatterijärjestelmissä käytettävästä tekniikasta.

Tämän opinnäytetyön kirjoittaminen ja varsinkin tutkimusosuuden tekeminen on ollut minulle valtavan antoisa prosessi. Työtä varten tekemäni tutkimus on antanut jo lyhyessä ajassa konkreettista apua moniin työelämässä kohtaamiini ongelmatilanteisiin. Olen kiitollinen jokaiselle työni valmistumista edesauttaneelle taholle.

Lähteet

Collison David 2008. The Sound of Theatre, From the Ancient Greeks to the Modern Digital Age. Eastbourne: Plasa Limited, Redoubt House.

Granlund Kaj 2007. Tietoliikenne. Porvoo: WSOY.

Hirsjärvi Sirkka, Hurme Helena 2001. Tutkimushaastattelu, teemahaastattelun teoria ja käytäntö. Helsinki: Yliopistopaino.

Huntington John 2017. Show networks & control systems, second edition. New York: Zircon Designs Press.

Laaksonen Jukka 2013. Äänityön kivijalka, 2. uudistettu painos. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy

Verkkolähteet:

Audio Engineering Society White Paper, Best Practices in Network Audio, 2009.
<http://www.aes.org/technical/documents/AESTD1003V1.pdf>

Blomberg Esa & Lepoluoto Ari, 2005. Audiokirja, Audiotekniikkaa ammattilaisille ja kehittyneille harrastajille. <http://ari.lepoluo.to/audiokirja/>

International Organization of Standardization <https://www.iso.org/home.html>

Optocore Network Description, verkkodokumentti Optocore-verkon toimintaperiaatteesta. <http://www.optocore.com/images/pdf/about-us/network/Network-Description-v2.12E.PDF>

Waves Audio Systems, SoundGrid 101. Verkkodokumentti SoundGrid-järjestelmän perusteista. <https://www.waves.com/soundgrid-101>

Haastattelut:

Kiiski, Sakari. Äänisuunnittelija. 18.4.2018, Cafe Piritta, Helsinki. Haastattelija Lauri Malin.

Lönnquist, Andreas. Äänisuunnittelija. 30.5.2018, Svenska Teatern, Helsinki. Haastattelija Lauri Malin.

Lindblom, Anton. Äänisuunnittelija. 31.5.2018, Messukeskus, Helsinki. Haastattelija Lauri Malin.

Haastatteluissa käsitellyt teemat

-Haastateltavan esittely

-Äänijärjestelmän kokoonpano

- Signaalinsiirtotapa, käytetyt protokollat ja formaatit

- Kaiutinjärjestelmä

- Salin kaiutinjärjestelmä

- monitorointijärjestelmä

- FOH

- miksauspöytä

- äänitehosteiden ajojärjestelmä

- ajojärjestelmän backup

- orkesterin käyttämien taustanauhojen ajo ja reititys

- Äänioperointi

- minkälainen miehitys operoi esityksissä?

- Tyypillinen työnjako?

- Automaation käyttö

- miten CUE:t käsketään esityksissä?

- miten aikakoodia hyödynnetään?

- minkä formaatin aikakoodeja käytetään?