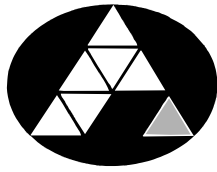


POHJOIS-KARJALAN AMMATTIKORKEAKOULU
Viestinnän koulutusohjelma

Lasse Niemi

MONIKANAVAISEN ÄÄNENTOISTON SUUNNITTELU
ULKOILMATAPAHTUMAAN

Opinnäytetyö
Toukokuu 2012



POHJOIS-KARJALAN
AMMATTIKORKEAKOULU

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2012
Viestinnän koulutusohjelma

Länsikatu 15
80110 JOENSUU
p. (013) 260 6996

Tekijä
Lasse Niemi

Nimeke
Monikanavaisen äänentoiston suunnittelu ulkoilmatapahtumaan

Toimeksiantaja
-

Tiivistelmä

Opinnäytetyössä tutkitaan monikanavaisen äänentoiston suunnittelemista ulkoilmatapahtumiin. Työssä selvitetään sään vaikutuksia äänentoistoon sekä niitä toimenpiteitä, joilla parannetaan äänentoistoa vaikeissa sääolosuhteissa. Työn toiminnallisena osuutena oli äänisuunnittelun tekeminen Joen Yö -tapahtumassa toteutettuun videomapping-esitykseen.

Opinnäytetyö koostuu neljästä osiosta. Ensimmäisessä osiossa tarkastellaan monikanavaisen äänen ja äänentoiston perusteita. Toisessa osiossa tutkitaan ulkoilman vaikutuksiin ääneen ja äänentoistoon. Kolmannessa osiossa käydään läpi työvaiheita, jotka suoritettiin ennen Joen Yö- tapahtumassaesitettyä videomapping-teosta. Neljäs osio sisältää esimerkkitapauksen monikanavaisen äänentoiston suunnittelusta vaikeammissa olosuhteissa.

Työn tietopohjana on käytetty paljon alan äänikirjallisuutta sekä fysiikan perusteita ja laskukaavoja. Työssä on käytetty myös omia empiirisiä havaintoja, joita olen pystynyt tukemaan kirjallisuuden avulla.

Kieli
suomi

Sivuja 42

Asiasanat
surround, 5.1, ulkoilma, PA, äänen vapaa kenttä, dB, äänisuunnittelu, haamukuva



NORTH KARELIA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

THESIS
May 2012
Degree Programme in media
Länsikatu 15
FIN 80110 JOENSUU
FINLAND
Tel. 358-13-260 6996

Author(s)
Lasse Niemi

Title
Designing surround sound for outdoor events.

Commissioned by
-

Abstract

The thesis studies the designing of multichannel sound systems outdoors. I examine weather, its effect on sound systems and how to improve multichannel outdoor sound reinforcement on difficult weather conditions.

The thesis consist of four parts. The first part is about the basics of multichannel audio and PA-systems. The second part studies the effects that influence sound outdoors. The third part consist of practical engineering measurements completed before the show in Joen Yö. The fourth part is a case study.

My thesis consist of professional audio literacy and basic physic literacy. Thesis also consist my personal empiric observations which I can verify with professional literacy.

Language
Finnish

Pages 42

Keywords

surround, 5.1, outdoors, PA, free field, dB, sound design, phantom image

Sisällys

Tiivistelmä	
Abstract	
1 Johdanto.....	8
2 Mitä on monikanavainen äänentoisto?.....	10
2.1 Stereoäänentoisto.....	10
2.2 Monikanavainen äänentoisto	10
3 PA-äänentoisto	12
3.1 Mitä on PA-äänentoisto?	12
3.2 PA-monikanavaäänentoisto.....	13
3.3 Kaiuttimien sijoitus monikanavaisessa äänikentässä.....	13
4 Monikanavaisen äänentoiston haasteet ulkoilmassa	14
4.1 Äänen vapaa kenttä.....	14
4.2 Ääneen vaikuttavat luonnonvoimat	15
4.2.1 Tuuli.....	15
4.2.2 Lämpötilan vaihtelut.....	16
4.2.3 Kosteus	17
4.3 Äänen lokalisointi ulkoilmassa	19
4.3.1 Haamukuva	20
4.3.2 Desibelin käsite ja äänen havainnointi	20
5 Studiotyö.....	22
5.1 Studiotyön ennakkosuunnittelu.....	22
5.2 Erot perinteiseen surround miksaamiseen.....	23
5.3 Musiikki.....	24
5.4 Äänisuunnittelu	25
6 Monikanavaisen äänentoiston testaaminen	26
6.1 Sisätiloissa.....	26
6.2 Ulkotiloissa	28
7 Yhteistyö.....	29
7.1 Synkronointi.....	29
7.1.1 Midi-komento.....	30
7.1.2 Manuaalisynkronointi.....	30
7.2 Joensuun kaupunginmuseo.....	31
7.3 Videomapping-teos.....	32
7.4 Esitys	33
8 Esimerkkitapaus.....	35
8.1 Monikanavainen äänentoisto Joensuun Linnunlahdessa.....	35
9 Johtopäätökset ja yhteenveto	39
Lähteet.....	41

Käsitteet

Kanava (channel)	Kanava ei ole sama asia kuin kaiutin. Yksi kanava on yksi spesifi äänilähtö esimerkiksi Center (keskikaiutin johon ajetaan dialogia.) Yhteen kanavaan voidaan asentaa monta kaiutinta. (Honka 2006.)
Kokoäänialueen-kaiutin	Kaiutin jossa on taajuusjako ja mahdollisesti myös kaiutinelementit kaikille toistettaville taajuuksille
LFE-kanava	Low Frequency Enhancer. Matalien taajuuksien toistokaiutin. Tunnetaan paremmin kansankielellä nimellä subwoofer. Toistaa taajuudet 16 - 120 Hz. LFE-kanavaan lisätään tehoa +10 dB muihin kaiuttimiin verrattuna.
Vaihevirhe	Eri aikaan korvaan (tai mikrofoniin) saapuvat ääniaallot kumoavat samalla taajuudella toisensa aiheuttaen äänen materiaalin häviämistä tai ääniaallon häviämisen kokonaan(Mediacollege 2012).
Sweetspot	Kuuntelupaikka stereokentässä joka on optimaalinen ajatellen stereotoistoa.
Sillattu (bridged)	Siltauksessa stereovahvistimen kanavat kytketään rinnakkain toisiinsa. Tällöin vahvistimessa on puolet vähemmän kanavia, mutta kaksi kertaa suurempi antoteho. (Moscal 1994, 100.)
Bounce	Sekvensseristä tai muusta äänitysohjelmistosta valmiin äänityön kääntäminen haluttuun formaattiin esimerkiksi .wav tai .mp3- muotoon.

Klusteri	Yksi tai useampi samassa asennuspisteessä oleva kaiutin joka muodostaa säteilykulmaltaan pysty- ja vaakasuunnassa suuremman peiton kuin yksittäinen kaiutin (McSquared 2012.)
SPL	Sound Pressure Level. Äänenpainetaso vapaassa äänikentässä.(Bohn 2011.)
Synkronointi	Yhtäaikainen kuvan ja äänen liipaisu. Ääni vastaa kuvan tapahtumia täydellisesti silloin, kun kuva ja ääni ovat synkronoituina.
AC3	Dolbyn kehittämä monikanavaisen äänen pakkausformaatti. Pakkaa äänitiedoston pieneen tiedostokokoon siten, ettei ihmiskorva haivatse äänen heikkenemisen tasoa häiritsevästi. (Afterdawn 2012.)
MMC	Protokolla, jolla kauko-ohjataan midikomennolla muita laitteita midikaapelin kautta (Roadrunner 2012).
SMPTE-aikakoodi	SMPTE on lyhenne englanninkielisestä järjestöstä nimeltä "Society of Motion Picture and Television Engineers" . Järjestön kehittämä SMPTE-aikakoodi lisätään kuvaan, ja sen avulla kuva ja ääni ovat keskenään synkronoituina. (Rees 1997.)
Bus	Lisäreititys, jota käytetään useiden kanavien summaamiseen. Yhteen bus-kanavaan voidaan lähettää useita äänisignaaleita, joita voidaan myöhemmin muokata bus-kanavassa.
Gain	Vahvistimen etuasteen herkkyuden säätö. Gain yleisessä merkityksessä tarkoittaa vahvistusta.

Immersiivisyys	Kuvainnollinen sana jostain teoksesta jossa katsoja tai kuuntelija uppoutuu teoksen sisälle omaan maailmaansa (Korpela 2008).
Line array	Ryhmä säteileviä kaiuttimia suorassa linjassa toisistaan jotka toimivat samassa vaiheessa ja samalla voimakkuudella. Käytännöllisiä tilanteissa, jossa äänen täytyy kantaa kauas. (Meyer Sound 2012.)

1 Johdanto

Monikanavaisia äänituotantoja on tehty jo 1900-luvun alusta. Ensimmäiset suuren yleisön tietoon tulleet teokset olivat elokuvia. Monikanavaista äänijärjestelmää käytettiin ensimmäisenä Disneyn elokuvassa *Fantasia*. Siinä käytettyä äänijärjestelmää kutsuttiin "fantasoundiksi", ja se johti myöhemmin surround sound-järjestelmän kehittämiseen. Fantasound-järjestelmään kuului kolme etukaiutinta sekä salin takanurkkiin asennetut takakaiuttimet. (Holman 2008, 4.)

Monikanavainen ääni on yleistynyt fantasoundin ajoilta. Monikanavainen äänentoisto on löytänyt tiensä elokuvateattereista koteihin ja teattereiden äänijärjestelmät ovat kehittyneet paljon. Transistoriteknologia on tuonut vahvistimiin lisää kustannustehokkuutta sekä luotettavuutta ja vähentänyt niiden kokoa ja painoa huomattavasti.

Monikanavaiseseen äänentoistoon on lisätty aina vain enemmän tehostekanavia ajan myötä. Monikanavaisen äänentoiston toimintakenttä on yleisesti sisätiloissa toistettava ääni. Perinteisissä ulkoilmatapahtumissa äänentoisto yleensä toimii stereona, eikä varsinaiselle monikanavaiselle äänentoistolle ole ollut tarvetta. Useita kaiuttimia toki käytetään tapahtumista, mutta toistokanavia yleisölle on vain kaksi.

Idea opinnäytetyön aiheeseen tuli opiskelijatoveriltani. Hän teki Joensuun kaupunginmuseon takapihalle videomapping-teoksen. Teoksesta puuttui äänisuunnittelu sekä henkilö joka rakentaisi ulos tarpeellisen äänentoiston. Teos esitettiin Joen Yö -nimisessä ulkoilmatapahtumassa syksyllä 2011. Kyseessä oli ensimmäinen Joensuussa toteutettava, suurelle yleisölle suunnattu videomapping-esitys. Monikanavainen äänentoisto toimi dramaturgisena lisämausteena teoksen esityksessä.

Ulkoilmassa toteutettava monikanavainen äänentoisto oli asia, jota en ollut koskaan kuullut kenenkään tekevän. Asiaa tutkiessani en löytänyt aiheesta minkäänlaista kirjallisuutta tai ohjenuoraa, miten tämälntapaisia äänentoistojärjestelmiä suunnitellaan. Varsinaisesta surround-äänestä löytyi paljon kirjallisuutta, kommentteja sekä opinnäytetöitä. Vaikka tutkin aihetta näistä näkökulmista, jäi varsinainen ulkoilmääänentoisto monikanavaisena itselleni tuntemattomaksi osa-alueeksi.

Opinnäytetyöni yhtenä aiheena ovat ne ilmiöt ja ongelmat, jotka ilmenevät ulkona monikanavaista äänentoistoa tehdessä. Miten säälmiöt vaikuttavat ääneen? Miten näitä ongelmia voidaan ennaltaehkäistä tarkkaamosta käsin ja mitä ilmiöille voi tehdä paikan päällä? Mihin kannattaa varautua monikanavaista äänentoistoa tehdessä ulkona? Varsinaista kirjallisuutta tästä aiheesta ei ole, joten äänentoistotilanteessa pääsin kokeilemaan ja tutkimaan uusia kenttiä.

Aloitan aiheen käsittelemisen tutustumalla monikanavaiseseen äänentoistoon. Tämän jälkeen tarkastelen PA-kaiuttimien ominaisuuksia ja eroja perinteisiin kotikaiuttimiin verrattuna. Opinnäytetyöni yhtenä tärkeimpänä aiheena on ulkoilman vaikutukset ääneen, jota käsittelem neljännessä luvussa. Luvusta löytyy esimerkkitapaus monikanavaisesta äänentoistosta. Viidennessä luvussa on esitettyvideomapping-teokseen tehtyä äänisuunnittelua. Opinnäytetyön lopussa käydään läpi monikanavaisen äänentoiston rakentamista ja testaamista.

2 Mitä on monikanavainen äänentoisto?

2.1 Stereoäänentoisto

Stereoäänentoistossa käytetään kahta kanavaa. Kahdella kanavalla pystytään jäljittelemään tarkemmin äänen tilallista vaikutelmaa kuin yhdellä kaiuttimella. Stereoäänikentässä on helpompi kuulla esimerkiksi soitinryhmittymät. (Everest 1975, 315.)

Stereoäänentoisto on yleisin tapa toistaa ääntä. Musiikkilevyt ja televisio-ohjelmat on pääsääntöisesti miksattu kaksikanavaiseksi. Myös yleisöäänentoistotilanteet ovat melkein poikkeuksetta kaksikanavaisia. Kahteen kanavaan mahtuu enemmän informaatiota eri äänilähteitten sijainnista stereokannalla.

2.2 Monikanavainen äänentoisto

Äänentoistoa voidaan kutsua monikanavaiseksi silloin, kun äänentoistojärjestelmässä on enemmän kuin kaksi kanavaa. Monikanavaääni jaetaan kahteen eri järjestelmään: matrisoituihin sekä diskreetteihin järjestelmiin.

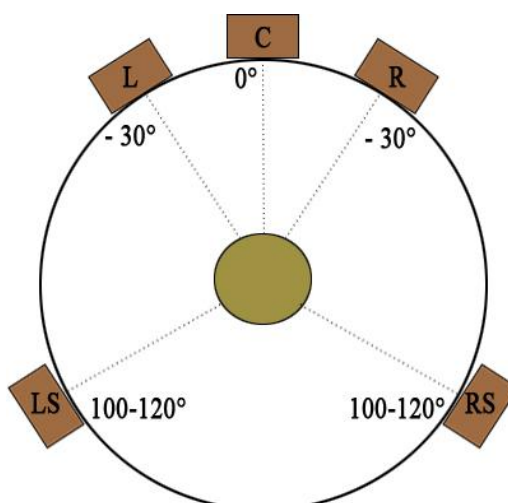
Matrisoidussa järjestelmässä monikanavainen ääni koodataan kahteen kanavaan. Myöhemmin toistettaessa ääni dekodataan erillisiksi kanaviksi. Dolby Surround -kuvaäänijärjestelmä käyttää edelleen matriisijärjestelmää. Diskreetissä järjestelmässä äänikanavat pidetään toisistaan erillään tallennuksen, siirron ja toiston aikana. (Aro 2006, 71). Tavalliseen stereoääneen verrattuna monikanavaisen äänen etuina on kyky ympäröidä kuuntelija äänellä ja saada aikaiseksi intensiivisempi kuuntelukonaisuus.

Monikanavaääneen kuuluu olennaisesti matalien taajuuksien tehostekanava, eli LFE-kanava. Tällä tavoin toisetettavaan ääneen saadaan lisää matalien taajuuksien tuomaa informaatiota, joita peruskaiuttimet eivät pystyisi puhtaasti toistamaan.

Tunnetuin monikanavajärjestelmä on 5.1-kanavainen Surround Sound-järjestelmä. Numerolla 5.x tarkoitetaan pääkaiuttimien määrää ja x.1-kanavalla ilmoitetaan LFE-kanavien määrä. Diskreetit kanavat kyseisessä järjestelmässä ovat left, right, left surround, right surround ja LFE tai sub.

Monikanavaiset äänituotannot ovat suurimmaksi osaksi elokuvaan tarkoitettuja äänituotantoja. Näissä tuotannoissa kaikki on kalibroitu ja standardoitu siten, että valmis äänituotanto toistuu elokuvateattereissa samoin kuin tarkkaamossa, jossa tuotanto tehtiin. (Dolby Laboratories Inc 2000.)

Kaiutinsijoittelu vaati enemmän ennakkosuunnittelua monikanavaisessa äänijärjestelmässä kuin stereoäänentoistossa. Stereokuuntelussa kaiuttimet sijoitetaan tasasivuisen kolmion kärjen mukaan kuuntelijaa kohti noin 60 asteen kulmassa. Monikanavaisessa kuuntelijärjestelmässä kanavia on useita, mikä voi johtaa vaihevirheisiin, jos kaiuttimet on sijoitettu huolimattomasti eikä kuuntelukulmia tai etäisyyksiä ole mitattu tarkkaan. Kuva 1 esittää yleisimmin käytettyä, ITU:n standardienmukaista kaiutinsijoittelua.



Kuva 1. ITU:n standardinmukainen 5.1-kanavainen kaiutinsijoittelu.

3 PA-äänentoisto

3.1 Mitä on PA-äänentoisto?

PA-lyhenne tulee englanninkielisistä sanoista publicaddress. Suomennettuna kyseessä on yleisöäänentoisto. PA-äänentoistolaitteita käytetään suurissa yleisötilaisuuksissa, joissa tarvitaan suurta äänenpainetta äänen kuuluvuuden takaamiseksi.

PA-kaiuttimen elementin liikkuva pinta-ala on huomattavasti suurempi kuin kotikäytössä olevien kaiuttimien. Suurempi liikkuma-ala takaa suuremman äänenpaineen ja ääni kantaa kauemmaksi ja kuuluu paremmin julkisissa tilaisuuksissa. PA-kaiuttimet kestävät suuria virtamääriä särkymättä. (Aikio 2004.)

PA-äänentoistojärjestelmiä käytetään tavallisesti kahteen eri tarkoitukseen: äänen toistamiseen tai vahvistamiseen. Äänen vahvistamista käytetään pääasiassa yhtyeiden äänentoistossa tai julkisissa puhetilaisuuksissa. Vahvistetussa äänentoistossa monikanavaisuus rajoittuu pääkaiuttimien stereopariin sekä mahdolliseen lavamonitorointiin. (Davis & Jones 1990, 313–314.)

PA-äänijärjestelmässä ääntä pelkästään toistettaessa ei varsinaista miksausta tarvita, koska toisetettava materiaali on käsitelty aiemmin studiossa. PA-kaiuttimien rakenteista ja tilasta johtuvat taajuuskaistavirheet voidaan korjata mittaamalla tilan taajuusvasteet ja korjaamalla ne graafisella ekvalisaattorilla.

Yleensä PA-äänentoistoa suositaan kaksikanavaisena. LFE-kanava toimii PA-äänentoistossa jakosuotimen kautta. Jakosuotimelta ajetaan halutut matalat taajuudet subwoofereille ja korkeat taajuudet kokoäänialuekaiuttimille. Useampia ulostuloja käytetään pääasiassa monitorointiin.

3.2 PA-monikanavaäänentoisto

Tässä yhteydessä monikanavaisella PA-äänentoistojärjestelmällä tarkoitetaan äänijärjestelmää, joka toimii diskreetillä ITU:n standardin mukaisella 5.1-kaiutinjärjestelmällä ja kaiutinsijoittelulla, jota käytetään äänen toistamiseen, ei vahvistamiseen.

Monikanavaisessa PA-äänentoistossa prosessointitapoja voi olla monia. Yhtenä esimerkkinä voidaan käyttää tietokoneelta ajettavaa monikanavaista diskreettiä äänisignaaliä äänikortille, jossa on tarpeeksi ulostuloja kaiuttimien määrään nähden. Äänikortista ajetaan äänet vahvistimille, joista signaalit reititetään haluttuihin kaiuttimiin jakosuodinten kautta.

Monikanavaisessa PA-äänentoistossa työjärjestys ja tavat eroavat perinteisestä PA-äänentoistosta huomattavasti. Kaiuttimien sijoittelu on tärkeämmässä asemassa usean ulostulokanavan takia. Monikanavaisuus aiheuttaa ongelmia äänten vaihevirheiden kanssa. Huonosti sijoitetut kaiuttimet voivat aiheuttaa vaikeasti hallittavia vaihevirheitä. Äänen jälkikaiunta sekä viiveet aiheuttavat ongelmia monikanavaisen äänen äänikenttään.

Kaiuttimien etäisyydet eivät saa poiketa ITU:n standardista. Jos vasen takakaiutin sijaisee metrin taaempana kuin oikea, aiheuttaa se äänen vääristymistä ja lokalisointiongelmia kuuntelijalle. Vaihevirhe kuulostaa ikävältä kuuntelijasta ja äänimaailma kärsii. Jos kaiuttimien elementit kohtaavat klusterissa, kumoavat äänet toisensa. (Moscal 1994, 44.)

3.3 Kaiuttimien sijoitus monikanavaisessa äänikentässä

Yleisöäänentoiston tarkoitus on saada ääni kuulumaan hyvin suurissa massatapahtumissa siten, että jokainen paikallaolija kuulee mitä tapahtuu. Suuret yleisömassat vaimentavat ääntä tehokkaasti. Jos ihminen seisoo kaiuttimien lähellä, vaimentaa hän akustista tehoa huomattavasti. Olen havainnut, että noin sadan ihmisen joukossa äänenpaine laskee noin desibelillä. Korjaukseksi riittää yhden desibelin nosto äänenpaineessa.

Onkin tärkeää kiinnittää huomiota kaiuttimien korkeuteen yleisöön nähden. Kaiuttimen elementit eivät saisi olla samalla korkeudella kuin yksikään yleisössä oleva ihminen. Ääniaalto suuntautuu suoraan kuuntelijaa kohti, ja ääni saattaa tuntua kuuntelijasta ikävältä. Kaiuttimet täytyy sijoitella myös siten, ettei niiden edessä ole esteitä. Ihanteena voidaan pitää tilannetta, jossa kaiuttimet on ripustettu yleisön yläpuolelle kolmen metrin korkeuteen.

4 Monikanavaisen äänentoiston haasteet ulkoilmassa

4.1 Äänen vapaa kenttä

Sisätiloissa suurimpana haasteena ovat äänen jälkiheijastukset, jotka tulevat kovista sisäpinoista, esimerkiksi kiviseinästä tai tiilikatosta. Ulkoilmassa näitä ongelmia ei kuitenkaan ole, koska heijastavia pintoja tai suoraan äänen edessä olevia objekteja ei ole. Tällaisia tilanteita kutsutaan äänen vapaaksi kentäksi. (Davis & Jones 1990, 43.)

Äänen vapaassa kentässä äänen voimakkuus laskee 6 dB silloin, kun kuuntelija siirtyy äänilähteestä kaksi kertaa kauemmaksi. Kun kuuntelija siirtyy äänilähteestä kymmenen kertaa kauemmaksi, laskee äänentaso 20 dB. (McSquared 2012.) Äänen vapaan kentän vaikutukset äänentason vaimenemiseen tai tehonkasvuun voidaan laskea kaavalla:

$$20 \times \log(\text{etäisyys 1} : \text{etäisyys 2})$$

Jos äänentoistossa käytettyjen kaiuttimien jatkuva äänenpaine ulkona olisi 100 dB SPL yhtä wattia kohden ja kuuntelija 2 metrin päässä äänilähteestä, niin kuinka paljon äänenpaine on, jos kuuntelija siirtyy 6 metrin päähän äänilähteestä? Tässä tilanteessa laskukaava menisi alla olevan mukaisesti:

$$20 \times \log(6:2) = 20 \times \log(3) = 9.5424250943932 \sim 9,5$$

$$100 - 9,5 = 90,5 \text{ dB} \sim 90 \text{ dB}$$

Äänenpaine laskee 9,5 dB, joten äänenpaine on 90 dB 6 metrin päässä äänilähteestä.

4.2 Ääneen vaikuttavat luonnonvoimat

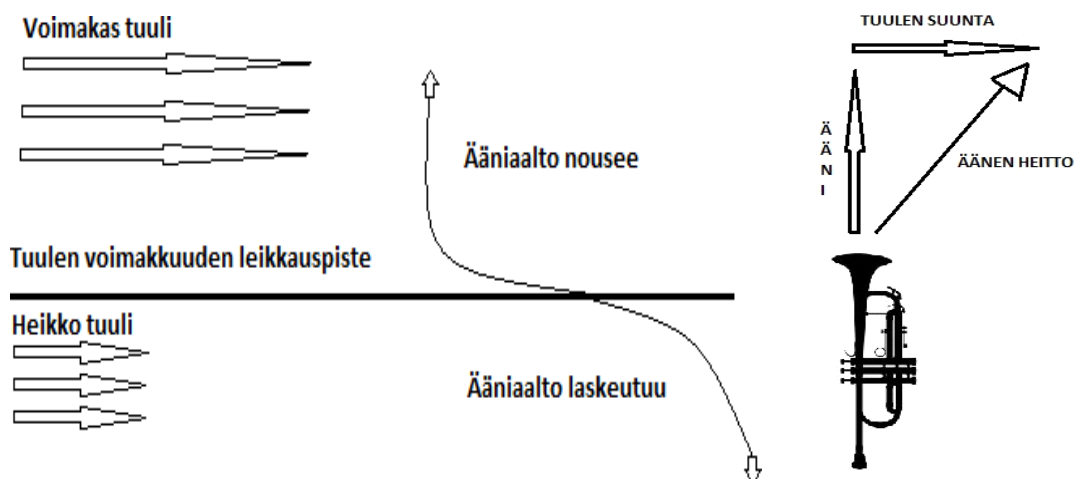
Luonnonvoimat vaikuttavat ääniaaltoihin. Sisätilat pysyvät aina vakioituina. Tästä syystä kerran optimoitu äänentoistojärjestelmä toimii sisätiloissa aina suunnitellulla tavalla. Ulkona äänentoiston optimoiminen voi olla vaikeaa, jopa mahdotonta.

Yleisimmät ulkoilman vaikutukset, jotka vaikuttavat ääniaallon suuntaavuuteen, taajuuksiin sekä kantavuuteen, ovat tuuli, lämpötila sekä kosteus. Seuraavat esimerkit näistä luonnonvoimista tapahtuvat äänen vapaassa kentässä, eikä näihin esimerkkeihin oteta huomioon kevyitä ulkorakenteita kuten juhlateltoa tai ulkona sijaitsevia teatterirakenteita ja suoja. Näihin tiloihin kuuluvat olennaisesti äänen heijastumat, joita en käsittele opinnäytetyössäni. Heijastumat näissä tiloissa eivät ole kuitenkaan yhtä vaikeasti hallittavia kuin sisätiloissa.

4.2.1 Tuuli

Tuuli vaikuttaa ääneen kahdella eri tavalla. Yhtenä voidaan pitää tuulen nopeutta, joka siirtää mukanaan kaiuttimesta tulevan ääniaallon suuntaa siten, että ääni tuntuu kuuluvan eri suunnasta. Tämä voi vaikuttaa merkittävästi esimerkiksi tarkkaan suunniteltuihin äänen panorointeihin.

Toinen tapa, jolla tuuli vaikuttaa ääneen, on tuulen voimakkuuden gradientti, eli tulosuunnan vaihtelut. Tässä tilanteessa tuuli kulkee kahdella eri nopeudella kahdella eri korkeudella. Tuuli voi käyttäytyä tällä tavalla silloin, kun tapahtumapaikalla on yleisöä tuulelta suojaava muuri tai äänilähde sijaitsee avoimessa teltassa. Kun ääniaalto kohtaa kovan vastatuulen, ääniaalto puskee itseään ylöspäin, kun taas ääniaalto kohtaa myötätuulen, painautuu se alaspäin. (Davis & Jones 1990, 45.) Kuva 2 esittää äänen taittumista tuulen eri gradienttikentissä.



Kuva 2. Ääniaallon taittuminen tuulen vaikutuksesta.

Tuulen vaikutukset ovat kuitenkin suhteellisen vähäiset ja vaikeasti havaittavissa. Kova tuuli voi rikkoa tarkkaa stereokuvaa, mutta muut vaikutukset ovat hyvin pieniä, eivätkä ne ole helposti havaittavissa. Jos halutaan suojautua tuulen vaikutuksia vastaan, on suositeltavaa pitää tapahtuma tuulelta suojaisessa paikassa.

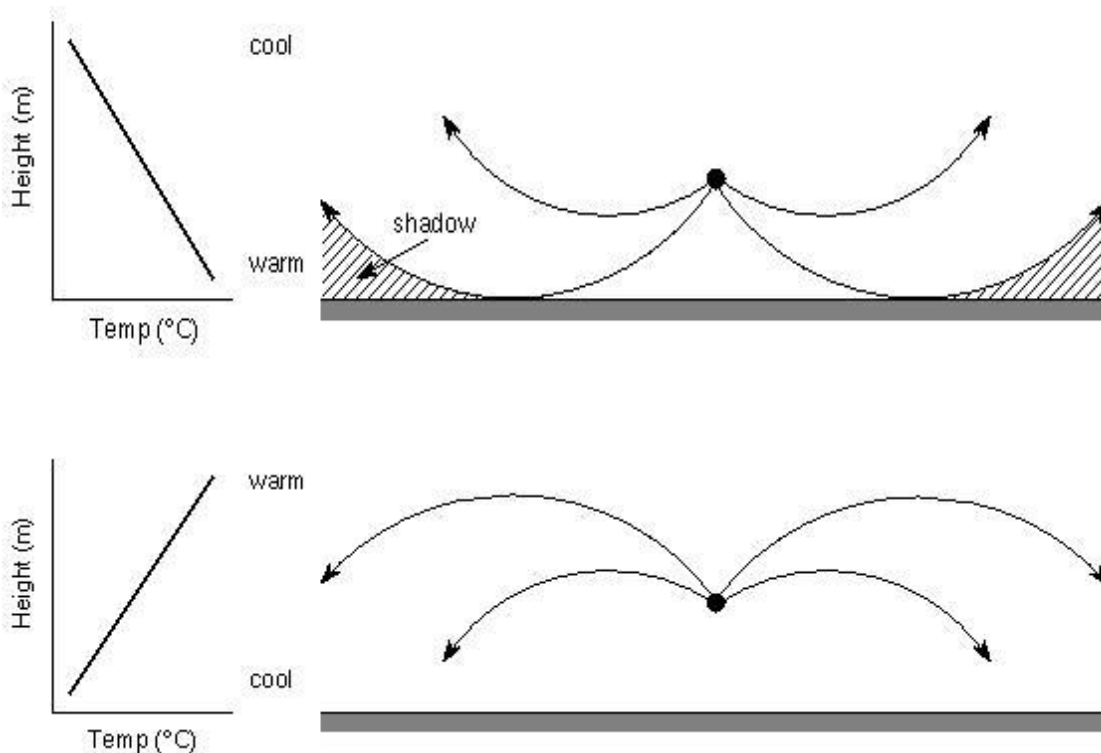
Tuulen siirtämät äänimassat voivat työntää ääntä kauemmaksi tapahtuma-alueesta. Tämä voi vaikuttaa lähelläasuvien ihmisten viihtyvyyteen ja voi aiheuttaa liikaa äänen vuotoa tapahtuma-alueen ulkopuolelle.

4.2.2 Lämpötilan vaihtelut

Ääniaallon nopeus on sidoksissa ilman lämpötilaan. Äänen nopeus vaihtelee ilman lämpötilan mukaan: ääni kulkee nopeammin lämpimässä kuin kylmässä ilmassa, koska lämmin ilmassa on tiheydeltään pienempää kuin kylmä ilma. (Gibbs 2010).

Ääniaalto taipuu ilman lämpötilojen vaihtelun mukaan. Lämmin maanpinta kuljettaa ääniaaltoja nopeammin kuin kylmä. Kun lämpimässä ilmassa kulkeva ääniaalto kohtaa kylmemmän ilman, taipuu ääniaalto ylöspäin. Tässä tilanteessa ääniaalto voi jättää jälkeensä katvealueita, joihin ääniaalto ei kulkeudu, vaikka äänilähde olisikin näkyvissä.

Ilmamassan ollessa lämmin mutta maanpinnan kylmä taipuu ääniaalto maata kohti. (Russell2004.) Kuva 3 esittää ääniaaltojen taipumista ilman lämpötilojen vaihteluissa. Shadow-merkintä kuvassa esittää edellämainittua katvealuetta.



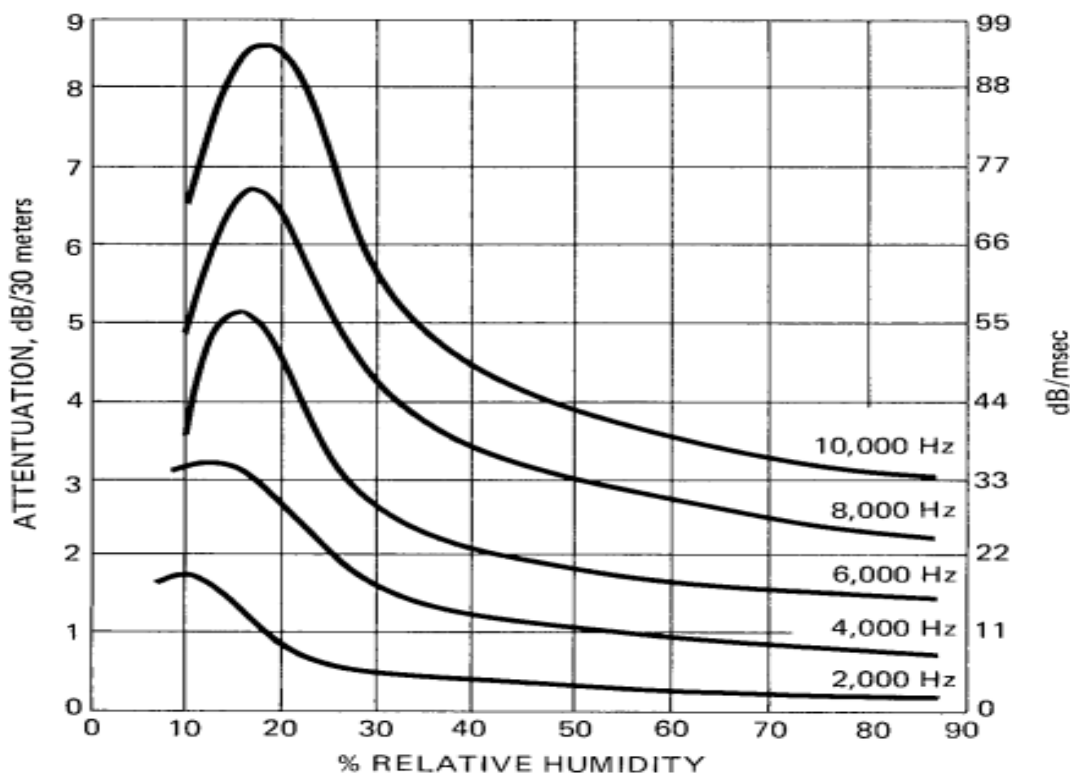
Kuva 3. Ääniaallon taipuminen ilman lämpötilojen vaihtelun seurauksena (Russel 2004).

Tilanteet joissa ilmassa on lämmintä, mutta maa kylmää, ovat yleisimmät kesällä aamulla auringonnousun aikaan sekä illalla auringon laskeuduttua. Talvella ilma on tasaisemmin kylmä kuin kesällä. Ilma on talvella myös kuivempaa.

4.2.3 Kosteus

Kosteus vaikuttaa äänen nopeuteen. Ilma kuluttaa ääniaallon energiaa sitä enemmän, mitä pidemmälle se kulkeutuu. Tämä pätee erityisesti 2 kHz:n ja sitä korkeampiin ääniaaltoihin. Kuiva ilma on tiiviimpää kuin kostea ilma, joten äänen voimakkuus laskee nopeammin kuivassa ilmassa (Eargle 1999, 13).

Kuvassa 4 on esitetty 2 kHz ja sitä ylempien taajuuksien vaimeneminen ilmastokosteuden mukaan. Matalammat taajuudet kantavat pidemmälle eikä niihin vaikuta ilman kosteus yhtä paljon kuin korkeisiin ääniin (Truax 1999). Tästä syystä kaukana pauhaavastaukkosmyrskystä kuuluu vain matalan jyrähdyksen.



Kuva 4. 2 kHz ja sitä ylempien taajuuksien vaimentuminen ilmastokosteuden muutoksessa. (Eargle 1999.)

Kosteus voi kuulua myös äänentoistossa laitteiden kosteusvaurioina. Näihin kuuluvat johtojen liitoksiin päässyt kosteus, joka kuuluu signaaliin lisääntyneenä surinana, sekä elektroniikkaan päässyt kosteus, joka voi vaikuttaa äänenlaatuun ja pahimmillaan tuhota laitteistoa. Suojaaminen kosteudelta on välttämätön toimenpide ulkoilmatapahtumissa.

4.3 Äänen lokalisointi ulkoilmassa

Sisätiloihin asennettu äänijärjestelmä on vapaa niistä ilmiöistä, jotka vaikuttavat ulkoilmassa. Optimoitu äänijärjestelmä sisätiloissa toimii moitteetta, mutta ulkotiloissa optimoitu äänijärjestelmä on luonnonvoimille altistuva. Äänilähteen havainnointiin vaikuttaa kolme tekijää: aikaerot, vaihe-erot sekä voimakkuuserot (AuditoryPerception 2012). Ulkoilmaäänentoistossa voimakkuuserot eivät vaikuta äänen lokalisointiin yhtä paljon kuin vaihe- tai aikaerot.

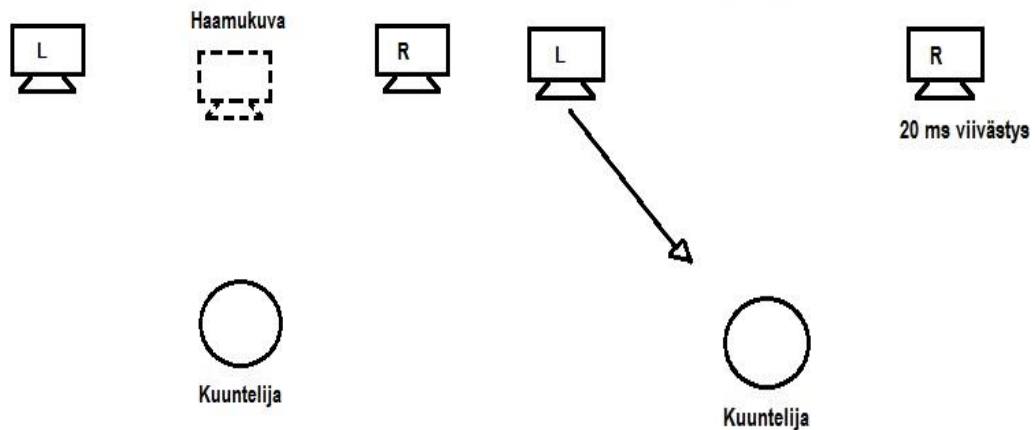
Äänen kulkuaikaerot ovat äänen tulosuunnan kannalta tärkein tapa paikallistaa ääntä. Äänen aikaerot havaitaan helpoiten äänistä, jotka alkavat ja loppuvat äkillisesti. Äänen aikaeroa on taas vaikea havaita jatkuvista äänistä sekä äänistä, jotka eivät ala äkillisesti. Aikaerot vaikuttavat varsinkin 1,6 kHz:n taajuuksien paikallistamiseen. (Aro 2006, 30.) Ihminen pystyy havaitsemaan 10 millisekunnin eron kahden äänilähteen välillä (AuditoryPerception 2012).

Ääni paikallistetaan sille puolelle äänilähdettä, johon ääni saapuu ensimmäisenä. 1 ms eroa ei ihmiskorva havaitse jos ääni jatkuu tasaisena. Sitä suuremmat viiveet saapuvat korvaan eri aikaan. Tässä tapauksessa äänivärähtely on eri korvissa paitsi eriaikaista myös erivaiheista. (Aro 2006, 31.) Vaihe-erot vaikuttavat eniten 200 Hz - 1,6 kHz:n taajuuksien paikallistamiseen. Alle 200 Hz:n taajuuksia on ihmisen korvan erittäin vaikea lokalisoida. (Hedwig 2005, 5.) Tästä syystä matalien taajuuksien kaiuttimien sijoittelulla ei ole yhtä suurta merkitystä, kuin fullrangekaiuttimien sijoittelulla on vaiheistuksen ja aikaerojen kanssa.

4.3.1 Haamukuva

Stereoäänentoistokentässä tasainen äänilähde kuulostaa tulevan kaiuttimien keskeltä. Illuusio rikkoutuu silloin kun toista kaiuttimista viivästetään. Äänilähde tuntuu tulevan viivästämättömästä kaiuttimesta. (Howard 1987, 362.) Äänikuva rikkoutuu myös silloin, kun toinen kaiutin soi kovempaa mitä toinen.

Jos toista kaiutinta soitetaan 10 dB lujempaa mitä toista, siirtyy äänikuva 22 astetta kovemman kaiuttimen suuntaan. (Holman 2008, 185.) Kuva 5 havainnoillistaa kaiuttimen viivästyksen vaikutuksen kuuntelijaan.



Kuva 5. Äänen lokalisoituminen kun äänikuva on ehjä ja silloin kun toista äänilähdettä viivästetään.

Kahden kaiuttimen välille ilmetynt viive tai vaiheistus vaikuttaa kuuntelijan havainnointikenttään. Kahden stereokaiuttimen välille syntyy stereokenttä, jossa ääni lokalisoituu sille akselille, jolle äänisuunnittelun elementit on laitettu. Rikkinainen stereokuva aiheuttaa äänen rikkonaisuutta ja vaikuttaa muihin mahdollisiin, samaan aikaan esitettäviin teoksiin.

4.3.2 Desibelin käsite ja äänen havainnointi

Termiä desibeli on helppo käyttää yhteydessä, jossa puhutaan äänenvoimakkuudesta. Äänenvoimakkuus on kuitenkin yksilöllinen käsite, jonka jokainen ihminen havaitsee omalla tavallaan, toiset herkemmin kuin toiset. Äänentasolle on kuitenkin virallinen termi, jota käytetään aina siinä yhteydessä, kun puhutaan äänentasosta tai voimakkuudesta.

Desibelin käsittellä voidaan määritellä tarkka lukuarvo äänenvoimakkuuden eroille. Käsite on siis kahden suureen välinen suhde. Äänen havainnointi itsessään on subjektiivinen käsite.

Jos kahdesta äänilähteestä toinen on kaksi kertaa voimakkaampi kuin toinen, lasketaan näiden välinen desibeliero alla olevalla tavalla:

$$10 \log (P_2/P_1) = 10 \log 2 = 3 \text{ dB.}$$

Tässä kaavassa P_1 on kaiutin, joka toistaa ääntä tietyllä äänenpaineella, kun taas P_2 toistaa samaa ääntä kaksi kertaa kovempaa(Wolfe 2012).

Samaa kaavaa voi käyttää, jos halutaan tietää kymmenkertaisen äänentason lisä:

$$10 \log (P_2/P_1) = 10 \log 10 = 10 \text{ dB.}$$

Mikä desibeli sitten on? Desibeli on määre, jota käytetään äänentason mittaamisessa sellaisessa tilanteessa, jossa äänentasolle on kaksi eri havaintoa (Qsl 2012), esimerkiksi 40 dB ja 50 dB, joiden välinen ero on 10 dB, jolloin ääni havaitaan 10 dB kovempana. 10 dB:n ero tarkoittaa kymmenkertaista vahvistintehoa edelliseen vahvistintehoon verrattuna. Täten voidaan sanoa äänenvoimakkuuden nousevan noin kymmenkertaiseksi. 3dB:n ero tarkoittaa vahvistintehon kaksinkertaistamista.(Howard 1987, 37.)

Äänentasojen havainnointiin on tehty myös melulle voimakkuusastetaulukko, jossa on eritelty mitattuja desibelimääreitä tietyille äänilähteille. Kuulon kipukynnys on 125 dB. (Carol2007.)

5 Studiotyö

5.1 Studiotyön ennakosuunnittelu

Teos johon suunnittelin äänet sekä äänentoiston, oli opiskelijatoverini opinnäytetyö. Kyseessä oli videomapping-teos, joka oli tarkoitus projisoida Joensuun kaupunginmuseon takaseinään Joen Yö -nimisessä tapahtumassa.

Äänen ennakosuunnitteluvaiheessa päätin rakentaa esitystä varten monikanavaisen äänentoistojärjestelmän museon takapihalle. Ulkoilmassa toistettava monikanavainen äänentoisto oli itselleni täysin uusi asia toteuttaa. Tämä toi äänentoiston suunnitteluvaiheeseen sekä rakentamiseen omat haasteensa.

Ensimmäiset ongelmat olivat musiikin monikanavamiksaamisessa. Miten toistaa musiikki ulkoilmassa selkeästi ja kantavasti monikanavaisena? Millä tavalla voisin tuoda instrumenttien nyanssit esille parhaiten? Äänenlaatu kärsii paljon varsinaisessa toistotilanteessa PA-kaiuttimien äänenväritymien takia. Toinen ongelma syntyi varsinaisessa äänisuunnittelussa. Missä menee kuuntelijan kuulokynnys? Äänimaailma, joka sisältää paljon kuulonkynnyksen rajalla olevia ääniä sekä ambiensseja, voi hävitä kokonaan ulkoilmassa jo pelkän tuulen voimasta.

Suuri ongelma oli löytää ne työkalut, joilla äänisuunnittelu ja musiikki pysyisivät ehjänä, vaikka vallitseva säätila olisi pahin mahdollinen. Äänisuunnittelussa täytyisi olla osittain samat dramaturgiset lähtökohdat kuin museon seinään projisoitavassa mappingsesityksessä. Mitkä elementit, äänentaajuudet sekä tehosteet toimisivat parhaiten äärimäisessä säätilanteessa?

5.2 Erot perinteiseen surround-miksaamiseen

Vaikka käytän otsikossa sanaa perinteinen, ei surround-miksaamiseen ole mitään virallisia sääntöjä, ellei puhuta äänentason maksimitasosta. Hyvältä kuulostavan surround-miksauksen saa tehtyä ilman mitään varsinaista ohjenuoraa. Jokaiseen hyvään miksaustulokseen päästään erilaisten käytäntöjen kautta. Perusohjeet kuitenkin ovat olemassa.

Perinteisessä surround-miksaamisessa kaiuttimilla on omat tehtävänsä. Keskikaiuttimen pääasiallinen tarkoitus on toistaa dialogia, kun taas takakaiuttimien tehtävä on ympäröidä katsojansa äänellä ja mahdollisesti herpaannuttaa huomio kuvan keskipisteestä. (Holman 2008, 98.)

Dialogia lähetetään myös vasempaan ja oikeaan etukaiuttimeen kaiutettuna. Myös vasemman ja oikean etukaiuttimen signaalia lähetetään keskikaiuttimeen heikkona signaalina, jotta äänimaailma pysyy ehjänä. Tässä projektissa kaiuttimilla oli perinteistä poikkeava roolitus. Äänimaailman täytyi olla eheä ja kuuntelijaa ympäröivä, mutta samalla selkeä.

Äänisuunnittelussa poikettiin tavanomaisista toimintatavoista. Suurin osa poikkeuksista johtui ulkoilman vaikutusten kompensoimisesta. Ensiarvoisen tärkeää oli ennaltaehkäistä kaikin mahdollisin tavoin ulkoilman vaikutuksia äänisuunnittelussa.

Surround-miksaamisessa käytetään usein monikanavaisen panorointiin tarkoitettua plug-in-työkaluja. Näillä voidaan liikuttaa haluttua äänilähdettä halutulla tavalla viiden kaiuttimen muodostamassa äänikentässä. Kyseiseen plug-iniin voidaan asettaa myös automaatioita helpottamaan signaalin reititystä. (Thorton 2006.) Opinnäytetyöni projektissa en käyttänyt plug-in-työkaluja. Sen sijaan käytin useaa master-raitaa, joihin reititin muista kanavista signaalia suoraan päälähtöihin. Tällä tavoin pystyin saamaan monta .wav -tiedostoa toistotilannetta varten. Koin myös yllä olevan tavan toimivan paremmin installaatiossa esityspäivänä. Kuvankaappaus projektin master-raidoista on kuvassa 4.



Kuva 4. Projektin ääniulostulot. Etu sekä takakaiuttimet ovat stereokanavana. Keskikaiutin on mono.

5.3 Musiikki

Musiikilla oli suurin rooli äänisuunnittelussa. Videossa esiintyvät tanssijat toimivat esityksessä referenssikappaleen *Lady Marmelade* mukaan. Välttyäksemme tekijänoikeusongelmilta päädyimme säveltämään kappaleesta mukaelman esitystä varten.

Jotta koreografia osuu kohdilleen, oli itse sävelletyn kappaleen oltava täsmälleen samassa tempossakin referenssikappale. Referenssikappaleessa soittimina toimivat viulu, jouhikko, säkkipilli, rummut, basso, kitara ja huilu. Etsimme rumpalin kanssa oikean tempon tanssijoiden liikkeitä seuraten.

Sävellystyön päätyttyä aloitin monikanavamiksaamisen. Luovuin heti stereomiksaamisesta ja keskityin työhön monikanavaisena. Asetin instrumentit omiin kaiuttimiinsa. Pääinstrumentit, eli viulu ja kitara, lähetettiin vasempaan ja oikeaan -etukaiuttimeen. Rummut miksattiin paikoilleen etukaiuttimiin sekä hieman keskikaiuttimeen.

Rumpusetin bassorumpu reititettiin LFE-kanavaan antamaan musiikille tarpeellista tukevuutta, jota tarvitaan ulkona ääntä toistettaessa. Miksausajatuksena oli asetella soittajat ympärilleni puolikuun muotoon. Näin loin äänikentän, jossa itseolin sijoittuneena soittajien keskelle.

Nyrkkisääntönä on pidetty sitä, että musiikkia miksatessa ei käytetä ollenkaan LFE-kanavaa (Aro 2006, 155.) Tässä projektissa koin kuitenkin tarpeelliseksi LFE-kanavan ylimääräisen käytön musiikkia miksatessa. Päätelin tilanteen lähentelevän liveäänentoistotilannetta, jossa matalat taajuudet reititetään jakosuotimen läpi subwooferiin Basson sijoittelin täysin keskikaiuttimeen. Takakaiuttimien rooli monikanavaisen musiikin miksaamisessa oli toistaa kaiut etukaiuttimien lisäksi.

5.4 Äänisuunnittelu

Teoksen varsinainen äänisuunnittelu rakennettiin sävelletyn musiikin ympärille. Äänisuunnittelussa käytin hyvin paljon nopeasti alkavia ja loppuvia efektejä. Nopeat äänet on helpompi lokalisoida äänikentässä, ja ne ovat myös stabiileja ulkoilman vaikutuksille.

Kuvan mukana tapahtuva panorointi oli suuressa osa äänisuunnittelussa. Museon seinä oli kooltaan suuri ja siellä tapahtui paljon. Koin tarpeelliseksi tehdä selkeitä panoroiteja kuvan mukaisesti. Monikanavainen äänikenttä antoi siihen hyvät mahdollisuudet.

Tarkoituksena oli suunnitella äänimaailma kokonaan kovista ja äkillisistä äänistä kuvan mukaan. Tällä tavoin pystyttiin ennaltaehkäisemään ulkoilman vaikutukset parhaiten tarkkaamo-olosuhteissa. En miksanut ollenkaan samoja ääniraitoja useampaan kuin yhteen kaiutinryhmään. Tällä tarkoitan sitä, että takakaiuttimista kuului aivan erilaisia ääniä kuin etu tai keskikaiuttimista. Tällä tavoin pystyi välttämään mahdollisen kampasuodinilmiön esityksen aikana.

Äänisuunnittelussa oli paljon LFE-kanavaan ajettuja tehosteita. Nämä tehosteet toivat esitykseen elokuvamaisen tunnelman mataline jyrähdyksineen ja muhkeine räjähdyksineen. Lopullinen äänisuunnittelu alasmiksattiin kuutena erillisenä äänitiedostona.

6 Monikanavaisen äänentoiston testaaminen

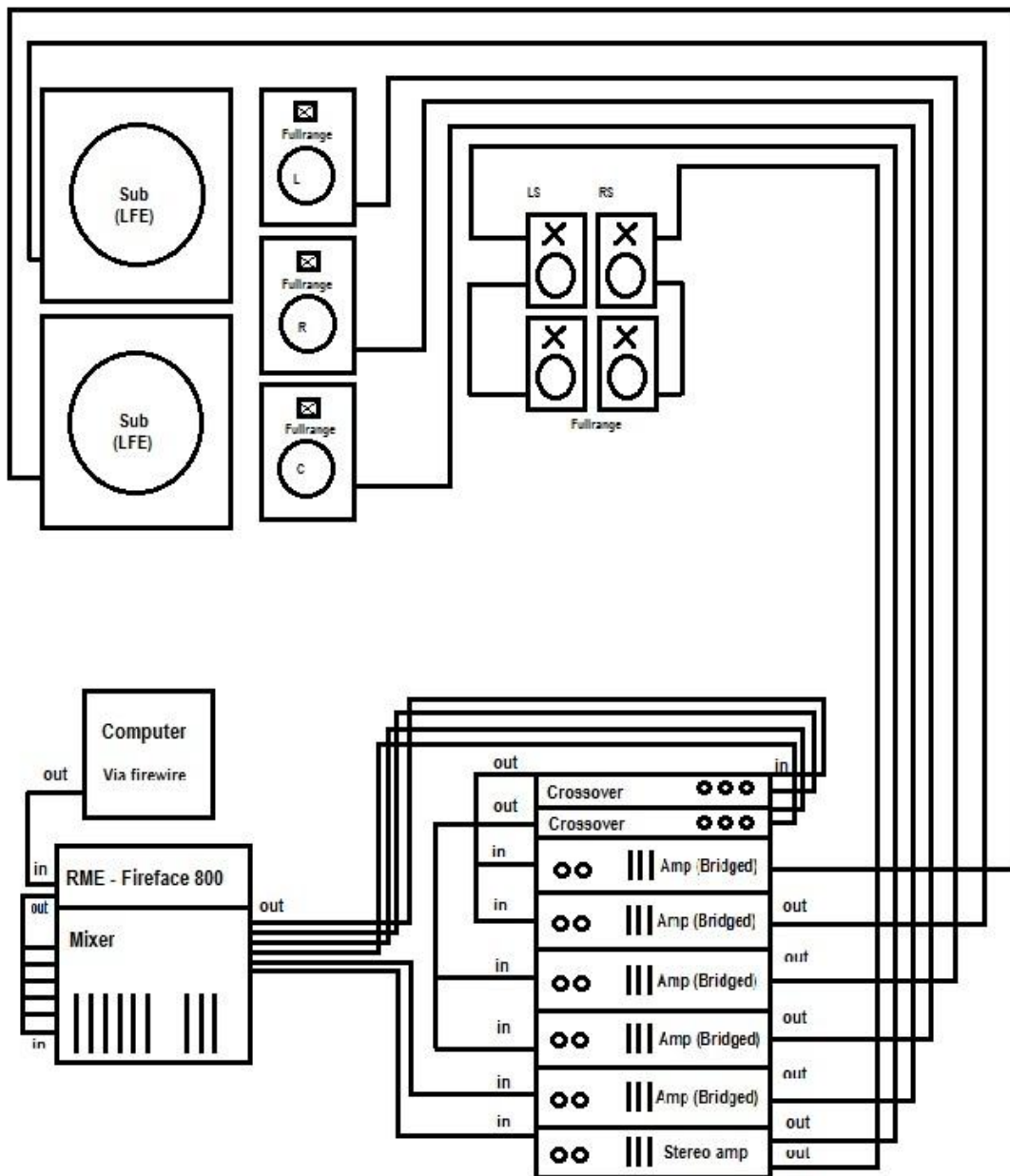
6.1 Sisätiloissa

Testaus tapahtui Joensuun Tiedepuistolla Cadimefin kuvatarkkaamossa. Tila oli tarpeeksi suuri, jotta sinne sai mahtumaan kahdeksan suurikokoista PA-kaiutinta ITU:n standardien mukaisesti. Testaustilanteessa oli mukana myös videotykit, joilla testattiin kuvaa samalla äänen kanssa.

Äänentoistoon kuului yhteensä kahdeksan kaiutinta: kaksi 15" kokoäänikaiutinta, jotka toimivat left- ja right- toistokanavina, neljä 12" kokoäänialue-monitorikaiutinta, jotka toimivat rearleft ja right kanavina sekä kaksi subwooferia toistamaan LFE-kanavien matalia taajuuksia. Kokoäänieluekaiuttimet pinottiin pareina klustereiksi, jotta toistettava äänikenttä leviäisi tarpeeksi laajalle.

Vahvistimia oli käytössä kuusi kappaletta. Vahvistimista sillattuina toimivat LFE sekä oikeaan ja vasempaan kanavien vahvistimet. Tällä tavoin saatiin päätehostekaiuttimista enemmän tehoa käyttöön. Signaali kulki subwoofereihin sekä oikean ja vasemman kokoäänialueen kaiuttimen jakosuotimien kautta.

Jakosuotimen äänien jakotaajuudeksi oli esitystä varten laitettu 200 Hz. Tällöin subwooferit toistavat vain niille tarkoitettuja matalia taajuuksia ja muut kaiuttimet korkeita taajuuksia. Kuvassa 5 on esitetty esityksessä käytetyn järjestelmän lohkokaaavio.



Kuva 5. Liitäntäkaavio opinnäytetyössä käytetystä monikanavaäänetoistojärjestelmästä.

Äänitiedostot ajettiin suoraan kannettavalta tietokoneelta Logic Pro 8-ohjelmankautta. Jokainen erillinen äänitiedosto asetettiin omalle ääniraidalleen. Lopullisessa toistossa ääniraitoja oli kuusi. Jokainen ääniraita ajettiin eri ulostuloon, jotta saisin äänentoiston ulos monikanavaisena.

Äänikorttina toimi RME Fireface 800. Äänikortissa on tarpeeksi ulostuloja, joiden kautta signaalit pystyi lähettämään vahvistimille ja siitä edelleen kaiuttimiin. Lisäsin LFE-kanavaan +10 dB digitaalista gainia, jotta saisin tarpeeksi tarkan kuvan alkuperäisestä äänisuunnittelusta.

Äänentoistoa ensimmäistä kertaa testatessa huomasin takasektorissa olevan huomattavia katvealueita. Kaiuttimien suuntaavuus oli niin tarkka, että korkeat äänet eivät jakautuneet tasaisesti yleisölle. Ratkaisuksi otin keskiklusterin pois ja siirsin lisäparin takakaiuttimiin siten, että takakaiuttimet toimivat klustereina. Toimenpiteet tehtyänä takakaiuttimet jakoivat ääntä tasaisemminkuin ennen klusteriparia.

Poistettu keskikaiutin toimi haamukuvana erinomaisesti kahden etukaiuttimen väliin panoroituna. Tärkeänä huomio oli se, että varsinaisesta monikanavamiksauksesta ei poistettu yhtään raitaa vaikka kaiutinta ei olisikaan setissä mukana. Tällä tavoin keskikaiuttimeen suunnitellut äänet tulivat yhtä tarkasti kahdesta etukaiuttimesta äänikentän keskellekuin keskikaiuttimen ollessa paikallaan.

6.2 Ulkotiloissa

Sisätiloissa suoritettujen testausten jälkeen kalusto siirrettiin ulkotiloihin testattavaksi ja viritettäväksi. Veimme kaluston suoraan Joensuun kaupunginmuseon takapihalle, jossa varsinainen esitys toteutettaisiin. Äänentoiston kanssa rakennettiin samaan aikaan videoprojisoinnille rakennustelineet. Telineiden sijainti vaikutti alunperin suunniteltuun kaiutinsijoitteluun ja kompromisseja täytyi tehdä.

Kun äänentoistojärjestelmä oli rakennettu, se täytyi testata. Ulkoilma oli lämmin, pilvetön ja tyyni. Tämä oli mainio ilma äänentoistoa rakentaessa ja testatessa. Ensimmäisenä tarkastin keskikaiuttimen, eli miten äänikentässä toimiva keskiääni toimii ilman keskikaiutinta stereoparin kanssa. Vaikutelma ei toiminut yhtä tarkasti kuin sisätiloissa, joten lisäsin Logic Pron kautta keskikanavaan enemmän tehoa, jotta saisimme haamukuvan toimimaan. Lisäteho auttoi keskikanavan havainnointiin huomattavasti. Panoroin keskikaiuttimen kanavaa vasemmalle ja oikealle. Huomasin selvän eron keskikaiuttimen sijainnilla äänikentässä.

Kun kalusto oli testattu käyttökunnossa, aloitin kaiuttimien virittämisen korvakuulolla. Koska kyseessä oli oma äänisuunnittelu, oli helppoa etsiä ja kuunnella vaimeaksi jääviä tai liian korostuvia taajuuksia. Kaiuttimet korostivat liikaa korkeita taajuuksia, noin 2 - 4 kHz:n kohdilla. Tein näiden taajuuksien väliin 3 dB:n leikkauksen.

Tarkkaamossa ja studiossa testatessa kaiuttimien etäisyys kuuntelijasta oli suurinpiirtein saman verran. Ulkona testatessa etäisyys kuuntelijaan oli kaksinkertainen ja miksauskoppiin nelinkertainen tarkkaamo-olosuhteisiin verrattuna. Mitattu äänenpaine miksauskopista toistotilanteessa oli 95 dB, joten esityksen katsoja oli kaksikertaa lähempänä kaiuttimiakuin miksauskoppi.

Tässä tilanteessa palaamme takaisin vapaan kentän sääntöön: jos kuuntelija siirtyy äänilähteestä kaksi kertaa kauemmaksi, laskee äänen taso 6 dB alkuperäisestä kuuntelupisteestä. 6 dB:n ero kuulostaa hieman yli puolet kovemmalta tai hiljaisemmalta äänentasolta kuin aikaisemmin havaittu äänentaso. (Davis & Jones 1990, 25).

Mitattu äänentaso miksauspisteestä oli 95 dB, joten kuuntelija joka sijaitsee miksauspisteestä kaksikertaa kauempana kuulee äänenpaineen 101 dB:nä. Tästä syystä laskin äänentaso 89 dB:iin miksauspisteestä mitattuna.

7 Yhteistyö

7.1 Synkronointi

Kuvan ja äänen synkronointiin on olemassamonia eri keinoja. Useimmiten ääni liitetään samaan tiedostoon kuvan kanssa. Tällöin kuva ja ääni ovat yhteydessä samassa tiedostossa. Tämä tapa on yleisin AV-töissä kuten elokuvissa, animaatioissa ja televisiosarjoissa. Monikanavaisen äänen liittäminen kuvaan AC3-tiedostona oli ensimmäinen keino, jolla yritimme saada kuvan ja äänen yhteen ja synkronoinnin helpommaksi niin videolle, kuin äänelle.

Tässä tilanteessa monikanavainen ääni olisi kiinteänä kuvatiedostossa. Ongelmaksi nousi oikeanlaisen ääniliitännän sekä ohjelmiston puutteet. Projisoinnissa käytettyyn koneeseen ei saanut asentaa oikeanlaista ohjelmistoa, jolla olisimme voineet saada monikanavaista ääntä äänentoistojärjestelmään. Tästä syystä jouduimme käymään läpi useampia vaihtoehtoja kuvan ja äänen synkronoinnissa.

7.1.1 Midi-komento

MTC:llä tai Midi Time Codella tarkoitetaan signaalia, joka lähetetään SMPTE aikakoodi toistolaitteesta toiseen midi-kaapelin välityksellä. Signaalin kulkua ohjaa MMC-prosessori, joka kertoo, mitä signaalia lähetetään eteenpäin. (Tweakheadz 2010.)

Tällä tavoin voidaan synkronoida useita laitteita ja ohjelmistoja toisiinsa yhden napinpainalluksen taakse. Ongelmaksi midi-komennon käyttöönotossa tuli yhteensopivuus käytettyjen laitteiden kanssa. Vaikka videoon oli upotettu SMPTE koodi, ei videotuistossa käytetystä koneesta löytynyt midikomentoihin käytettävää midi-porttia eikä koneeseen saanut asentaa ylimääräisiä ajureita prosessorille.

7.1.2 Manuaalisynkronointi

Yksi suurin syymanuaalisynkronoinnin valintaan varsinaisessa esityksessä oli ajan ja toimivan automaattisen synkronoinnin puute. Manuaalisynkronoinnilla tarkoitetaan äänen ja kuvan yhtäaikaista ajoa yhteisestä komennosta. Yksinkertaisesti sanottuna laskimme kanssaopiskelijan kanssa yhdessä kolmeen ja laukaisimme äänen ja kuvan omilta koneiltamme yhtä aikaa.

Ensimmäisten kokeilujen jälkeen huomasimme manuaalisynkronoinnin toimivan todella hyvin. Tällä tavoin vähensimme mahdollisia kalusto-ongelmia, joita voi syntyä aikakoodia tai midi-komentoa käyttäessä. Mitä vähemmän kalustoa oli kuva ja äänipisteen välillä, sitä parempi oli toimivuus. Myös mahdollisten teknisten ongelmien määrä vähenisi. Lopulta päädyimme käyttämään käsisyntetisointia varsinaisessa esityksessä.

7.2 Joensuun kaupunginmuseo

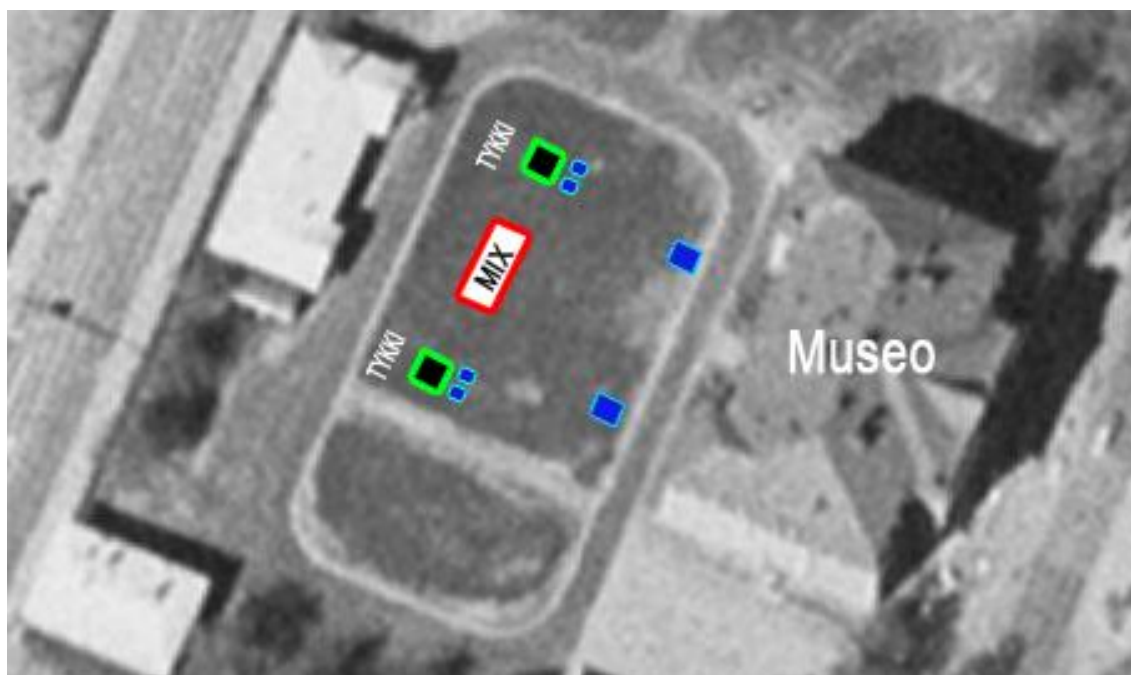
Kaupunginmuseon takapihan mitat olivat pyöristettyinä 40 metriä leveä ja 23 metriä pitkä. Takapiha oli suurimmaksi osaksi vapaa ääntä heijastavista pinnoista. Ainoat heijastavat pinnat löytyivät noin 45 metrin säteellä museosta. Näihin kuului taidekeskus Ahjo sekä suoraan miksauspisteen takana noin viiden metrin päässä oleva varastotalo. Museo sijaitsee lähellä vilkasta tietä. Tien aiheuttama liikenteen ääni ei kuitenkaan ollut liian voimakasta, koska kyseessä on taajama-alue.



Kuva 6. Joensuun kaupunginmuseon takapiha. Esityspaikka. (Kuva: Lasse Niemi.)

Katsomoalue sijaitsi pääkaiuttimien ja miksauskopin välissä. Kuuntelijan kannalta parhaaseen katselu- ja kuuntelupisteeseen mahtui noin 50 ihmistä. Loput katsojista joutuivat olemaan tämän alueen sivussa tai sen takana. Museon ikkunat peitettiin verhoilla ennen esitystä, ettei videotykkien valo heijastu niistä. Kaiuttimet sijaitsivat museon takaseinästä noin 7 metrin päässä.

Takaseinän heijastuksia en kuullut esityksen aikana. Kuvassa 6 on ilmakehän museon takapihan kaiutinsijoittelusta.



Kuva 7. Ilmakehän Joensuun kaupunginmuseon takapihasta. Kuvaan merkitty videotykkien, komentokeskuksen sekä kaiuttimien sijainnit. Kaiuttimet ovat merkittömät objektit kuvassa. (Fonecta)

7.3 Videomapping-teos

Joensuun Yö -tapahtumassa esitetyn videomapping-teoksen suunnitteli ja pääosin rakensi Tiia Pulkkinen. Esityksen nimi oli *nauratko sä mulle?* Tiia oli saanut videon pääpiirteittäin valmiiksi huomattavasti ennen äänisuunnittelun tekemistä. Äänisuunnittelu rakennettiin suoraan valmiin työn päälle.

Videon tekemiseen tarvittiin useita tanssijoita ja monta kuvauspäivää. Tiian täytyi mallintaa teosta varten museon takaseinää ja myöhemmin lisätä tanssijat ja muut tapahtumat tämän rungon päälle. Videossa tapahtui paljon tasonmuunnoksia. Esimerkiksi seinän räjähtäminen, joka paljasti museon alta uuden tason näytelmälle. Teoksen pituus oli hieman alle neljä minuuttia.

7.4 Esitys

Äänentoistokalusto oli asennettu, testattu ja optimoitu päivää ennen esitystä. Esitystä varten täytyi odottaa pimeyden laskeutumista. Kaikki äänentoistoon liittyvät kaapeloinnit oli piilotettu sekä varmistettu vedonpoistoilla siten, ettei yleisöstä kukaan vahingossa potkaise johtoa ja kompastu siihen ennen esitystä tai esityksen aikaan ja aiheuta teknisiä ongelmia kaapeliongelmina.

Asensimme esityskaluston samaan aikaan videotiimin kanssa. Äänentoistojärjestelmän rakentamiseen en tarvinnut apua muussa kuin tavaroiden siirtämisessä museon takana. Rakentamisen, testaamisen ja äänen optimoimisen suoritin täysin itsenäisesti.

Tornien sijainti muutti hieman omia suunnitelmiani äänentoistoa rakentaessa. koska tornit sijaitsivat täsmälleen niillä kohdin, mihin olin alunperin suunnitellut laittavani takakaiuttimet. Tästä syystä jouduin tekemään viimehetken muutoksia äänentoiston sijoitteluun. Takakaiuttimien suuntakulma kuuntelijaa kohden ei ollut enää 100° – 120° , vaan kulmiksi tuli 60° – 80° kuuntelijaa kohti. Takaklusterin ansiosta ääni kuitenkin jakaantui tasaisemmin takakaiuttimista mikä auttoi sijoitteluongelmaan.

Sähköliitännät aiheuttivat myöhemmin ongelmia. Videotyöryhmä oli ottanut sähköt samasta lähdöstä kuin ääni. Tämä vaikutti videotykkien kuvanlaatuun huomattavasti. Kuva joko lepatti tai ei toiminut ollenkaan. Ongelma selvisi laittamalla videotykkien sähkösyöttö eri ryhmäänkuinääni. Ongelmien takia emme ehtineet testata tapahtumapaikalla kuvan ja äänen käsisynkronointia emmekä videokuvan toimivuutta museon seinää vasten. Tämä osoittautui katastrofaaliseksi: vaikka kuva ja ääni laukaistiin samalla komennolla täsmälleen samaan aikaan, lähtivät ne pyörimään eri aikaan.

Kylmä ulkoilma oli hidastanut videosignaalin vahvistinta huomattavasti. Tietokoneen ja videosignaalin välille oli ilmestynyt viive, jota emme pystyneet mitenkään arvioimaan. Loppunäytöksen kuva ja ääni eivät olleet keskenään synkronoituina. Videokuvan ohjauksessa käytettävästä ohjelmistosta löytyi kuvan sulavaan nopeuttamiseen käytettävä työkalu, jolla pystyimme kuromaan äänen ja kuvan välistä viivettä. Pitkät RGB-johtovedot vaikuttivat kuitenkin ratkaisevasti kuvan hidastumiseen, emmekä saaneet kurottua komentopisteestä kuvaa ja ääntä mitenkään yhteen.

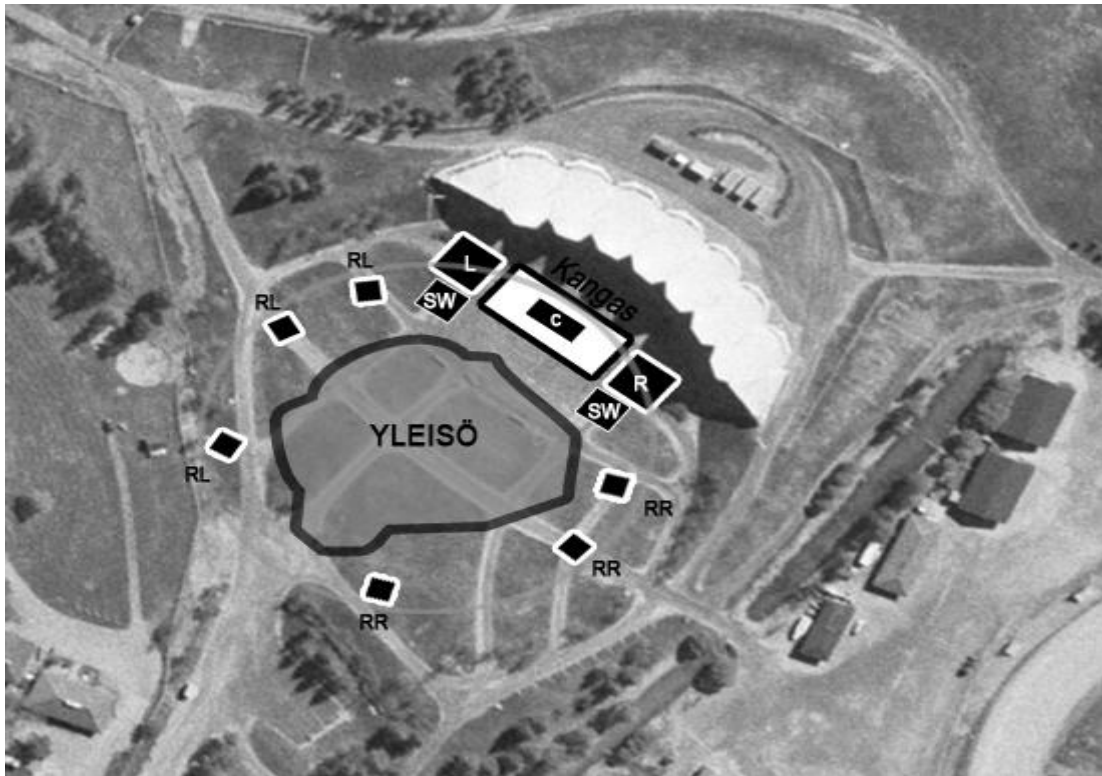
Toisen esityksen aikaan ilma oli ehtinyt kylmetä huomattavasti. Esityksen alkaessa huomasin, että ääni ei kuulunut yhtä hyvin kuin ensimmäisessä esityksessä, vaikka ihmisiä oli vähemmän paikalla kuluttamassa akustista energiaa. Lisäsin jokaiseen kanavaan 3 dB lisävolyymiä.

8 Esimerkkitapaus

8.1 Monikanavainen äänentoisto Joensuun Linnunlahdessa

Varsinainen videomapping-esitys tapahtui Joensuun kaupunginmuseon takapihalla. Kyseisessä tilassa ihmiset pystyivät olemaan lähellä äänentoistoa, joten äänenvääristymät ja aikaerot tulivat vain pienelle murto-osalle kuuntelijoita. Tilanne olisi hyvin erilainen, jos monikanavainen äänentoisto olisi rakennettu Linnunlahden ulkoilmalavalle.

Oletetaan että videomapping-teos esitettäisiin Linnunlahden Laululavalla. Tällöin tila, jossa yleisö sijaitsee olisi huomattavasti suurempi kuin museon takapihalla. Esitysalue on rajattu 100 m x 100 m alueelle lavan eteen. Yleisö kattaa tästä alueesta 50 m x 50 m kokoisen hajanaisen alueen. Äänentoistojärjestelmä on erilainen verrattuna museon takapihalla esitettyyn näytökseen. Järjestelmässä on kanavia yhtä paljon, mutta kaiuttimia enemmän. Jotta saisimme äänentoiston leviämään suurelle yleisölle ulkona, tarvitsemme linearray -kaiuttimia. Subwoofereita on kahden sijasta kuusi. Kuva 8 esittää ilmakuvaan Linnunlahden Laululavasta, yleisön oletetusta sijainnista sekä kaiuttimien sijoittelusta.



Kuva 8. Monikanavainen kaiutinsijoittelu Linnunlahden Laululavalle. (Fonecta 2012.)

Näin suurella esitysalueella keskikaiutin ei toimi haamukuvana. Tarvitsemme mukaan fyysisen keskikaiuttimen toistamaan keskikanavan äänisignaalia. Tärkeää on saada kaiuttimet kohti samalle linjalle. Kuvassa 8 näkyvä ympyrä kaiuttimien reunoilla antaa rajat kaiuttimien sijoittelulle toisiaan kohti.

Line array -kaiutinpinon alakaiuttimen pitäisi olla ainakin kolmen metrin korkeudella yleisöstä jotta ääni kuuluisi tasaisesti myös kankaan edustalla. Keskikaiuttimen on oltava täysin samassa linjassa etukaiuttimien kanssa. Koska yleisö jakaantuu katsomoalueelle hajanaisesti, voidaan olettaa osan yleisöstä kuulevan äänen epätasaisesti. Mahdolliset aika-erot, kampanfilterit sekä vaihevirheet voimme kuitenkin korjata pienellä kaiuttimien viivästämällä.

30 cm:n ero kuuntelupaikan ja äänilähteen välillä vaatii noin 1 ms:n äänisignaalin viivästämisen. Tarkan luvun viivästettävälle signaalille voi laskea kaavalla:

$$t_{\text{viive}} = (d_{\text{max}} - d_{\text{mon}}) / c$$

jossa:

t_{viive} = aikaviiveen arvo, joka varmistaa äänen saapumisen kuuntelupaikkaan samanaikaisesti muiden äänilähteiden kanssa.

d_{max} = minkä tahansa monikanavakentässä sijaitsevan kaiuttimen etäisyys kuuntelupaikkaan.

d_{mon} = lähimmän kaiuttimen etäisyys kuuntelupaikkaan

c = äänen nopeus ilmassa 20°C lämpötilassa meren pinnan tasolla, joka on 344m/s. (Genelec 2012.)

Esitysaikaan ulkona oli 2°C lämmintä ja tuulen nopeus 10 m/s, joten kyseessä oli navakka tuuli.

Kova tuuli siirtää äänimassaa sivulle tarkoitetusta äänilähteestä. Tuuli vaikuttaa varsinkin etu ja keskikaiuttimien sijainnin havaitsemiseen. Äänilähde siirtyy taaemmas suunnitellusta sijainnistaan. Kylmä ilma puskee äänimassaa ylemmäs tuulen samalla siirtäessä sitä taaemmas. Etukaiuttimien ääni on siirtynyt tuulen mukana 50 cm taaemmaksi kuin suunnitellussa ITU:n standardinmukaisessa kaiutinjärjestelmässä. Esityksen äänisuunnittelu on tehty siten, että jokaisesta kaiuttimesta kuuluu osittain samaa signaalia. Tämä johtaa kampsuodinilmiöön.

Ensin lasketaan tarpeellinen viivästysaika kaiuttimille. Takakaiuttimia viivästetään, jotta voidaan kompensoida etukaiuttimien aiheuttama kampsuodinilmiö. Keskimääräinen kuunteluetaisyys on 50 m keskikaiuttimesta. Lähin kuuntelupaikka sijaitsee 10 metrin päässä. Oletettu kuuntelupiste sijaitsee yleisöalueen keskellä. Koska ilman lämpötila on matalampi kuin 20°C, on äänen nopeutta muutettava laskukaavassa.

Äänen nopeus erilämpöisessä ilmassa lasketaan kaavalla:

$$331.4 + 0.6T_c \text{ m/s}$$

jossa T_c = lämpötila celciuksina (Nave 2010.)

2°C:n lämpötilassa ääni kulkee 332.62 m/s. Tällöin viive lasketaan kaavalla:

$$t_{viive} = (50 - 10) / 332.62 = 0,120... = 120 \text{ ms}$$

Viivästämme siis keskikaiutinta 120 ms.

9 Johtopäätökset ja yhteenveto

Pystyin todentamaan joitakin ilmiöitä monikanavaista äänentoistojärjestelmää suunnitellessa sekä rakentaessa. Yksi tulevia projekteja ajatellen tärkeä huomio oli haamukuvan toimivuus monikanavaisessa äänikentässä. Rajoitetun kaluston takia jouduin poistamaan keskikaiuttimen äänikentästä. En kuitenkaan poistanut äänikanavaa toistettavasta projektista. Panoroin keskikanavan stereoparin keskelle. Äänikuva tuntui eheältä: oli kuin keskikaiutinta ei olisi poistettu ollenkaan. Tämäntapainen äänentoistojärjestelmä voi toimia erinomaisesti jos keskikanavaan ei reititetä paljon dialogia. Kaiuttimen poisjätto säästi yhden vahvistimen sekä kaiuttimen hinnan. Työaika lyheni järjestelmän kasaamisessa pitkien johtovetojen ja vahvistimien kantamisen takia.

Hyvin toteutettu äänisuunnittelu vaikutti paljon varsinaisen esityksen toimivuuteen. Ulkona toistettavan äänen täytyi olla selkeä ja tarpeeksi vahvaa kuuluakseen yleisölle hyvin. Erillisen LFE-kanavan runsas käyttö antoi äänisuunnittelulle sen tarvitsemaatukevuutta. Äännet eivät peittyneet liikenteen meluna tai yleisön puheen alle, vaan kaikki toistui puhtaasti ja voimakkaasti. 10 dB:n lisäys subwoofereille digitaalisesti tietokoneen kautta lisäsi LFE-kanavan toistovoimakkuutta.

Kuvan ja äänen synkrointi olisi pitänyt tehdä vähintään midi-komennolla. Tällä tavalla olisisäästyty synkronointiongelmilta. Kaluston testaaminen esityspaikalla ennen esitystä olisi pitänyt saada tehtyä ajoissa. Ikävä kyllä videotykkieihin liittyvä tekninen ongelma viivästytti testaamista. Tästä syystä emme olleet varautuneita videokuvan hidastumiseen. Huomasin että ulkona suoritettavassa äänentoistossa audiosignaali ei hidastu tai viivästy kalustolla jota käytin, vaikka ilma viileni iltaa kohti.

Toisen esityksen aikana huomasin äänentason laskeneen. Ilma oli kylmennyt huomattavasti ensimmäisen esityksen jälkeen. Nostin äänentasoja +3 dB edelliseen äänentasaan verrattuna. Ilmanvaihtelu nosti ääniaallot ylemmäs ja laski äänentasoja kuuntelijan korkeudelta. Tätä sain kompensoitua hieman nostamalla äänentasoja. Äänentason lisänostaminen ei ollut mahdollista, koska silloin signaali olisi mennyt digitaalisesti rikki ja kuulostanut ikävältä.

Muut ulkoilman vaikutukset ääneen jäivät äänentoistoa tehdessä vähäisiksi. Ulkoilman vaikutusten pitäisi olla hyvin voimakkaita, jotta ne vaikuttaisi äänen näin pienellä alueella. Esimerkiksi kova myrskytuuli voi nostaa tai laskea ääniaalltoa huomattavasti. Erot voivat olla jopa 20 dB:n suuruisia. (Truax 1999.)

Lähteet

- Afterdawn. 2012. Afterdawn sanasto, tiedostopäätteet.
fin.afterdawn.com/sanasto/tiedostopaate.cfm/ac3
- Aikio, R. 2003. PA-Teoria
<http://koti.utanet.fi/~mikaa/rami/tietoboxi/pa.html>
- Aro, E. 2006. Tilaääni. Helsinki. Riffi-Julkaisut.
- Auditory Perception, 2012.
<http://web.archive.org/web/20100410235208/http://www.cs.ucc.ie/~ianp/CS2511/HAP.html>
- Bohn, D. 2011. Pro Audio Reference.
<http://www.rane.com/digi-dic.html>
- Carol, G. 2007. Decibel (Loudness) Comparison Chart
<http://www.gcaudio.com/resources/howtos/loudness.html>
- Davis, D. & Davis C. 1987. Sound System Engineering. USA. Sams& Co.
- Davis, G, Jones R, 1990. Sound Reinforcement Handbook. Milwaukee.
 Hal • Leonard Corporation.
- Dolby Laboratoriesinc. 2000.5.1 - Channel Production Guidelines. USA.
- Eargle, J. 1999. JBL Sound System Design Reference Manual.
www.jblpro.com/pub/manuals/pssdm_1.pdf
- Everest, A. 1975. Handbook of Multichannel Recording. TAB BOOKS inc.
- Fonecta, 2012. Karttahu.
<http://www.fonecta.fi/karttahu.html>
- Genelec, 2012. Mihin sijoitan kaiuttimeni monikanavaisissa sovelluksissa?
<http://www.genelec.fi/faq/monikanava-aani/kaiuttimen-sijoitus/>
- Gibbs, K. 2010. The refraction of sound in hot and cold air.
http://www.schoolphysics.co.uk/age11-14/Sound/text/Refraction_of_sound/index.html
- Hedwig, 2005. Sound Localization
web.pdx.edu/~zelickr/.../sound-localization.pdf
- Honka, J. 2006. Ääni Elokuvasa.
<http://sound.werk23.org/kanavatjakaiuttimet.html>
- Mediacollege, 2012. How to Position a Microphone.
<http://www.mediacollege.com/audio/microphones/placement.html>
- Meyer Sound, 2012. A Line Array Theory Q&A
http://www.meyersound.com/products/mseries/m3d/line_array_theory.htm
- Moscal, T. 1994. Sound Check. The Basics of Sound and Sound Systems. Milwaukee. Hal • Leonard Corporation.
- Nave, C. 2010. Hyperphysics. Speed of Sound in Air.
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/sound/souspe.html#c1>
- Qsl, 2012. dB, dBW, dBm, Logarithm, ...
<http://www.qsl.net/f6flv/db.html>
- Rees, P. 1997-2001, Synchronisation and SMPTE timecode (time code)
<http://www.philrees.co.uk/articles/timecode.htm>
- Roadrunner, 2012. Midi Machine Control.
<http://home.roadrunner.com/~jgglatt/tech/mmc.htm>
- Russell, D. 2004-2011. Refraction of Sound Waves
<http://www.acs.psu.edu/drussell/Demos/refract/refract.html>

- Thornton, M. 2006. Surround Sound In Pro Tools TDM & LE.
http://www.soundonsound.com/sos/apr06/articles/ptworkshop_0406.htm
- Tomlinson, H. 2008. Surround Sound Up And Running. Iso-Britannia.
Elsevier Inc.
- Truax, B. 1999. Handbook of Acoustic Ecology.
<http://www.sfu.ca/sonic-studio/handbook/index.html>
- TweakHeadz, 2010. MIDI Clock Sync, SMPTE, MTC and MMC
http://www.tweakheadz.com/sync_mmc_mtc_smpte.htm
- Wolfe, J. 2012. dB: What is a decibel?
<http://www.animations.physics.unsw.edu.au/jw/dB.htm>