

# Binauraalinen äänitekniikka:

Teoriaa, työkaluja ja käytännön tarkastelua  
kahden tilallisen nykymusiikkisävellyksen avulla

Tutkielma (Maisteri)

20.4.2021

Kaj Mäki-Ullakko

Musiikkiteknologian aineryhmä

Sibelius Akatemia

Taideyliopisto

<b>Tutkielman tai kirjallisen työn nimi</b>	<b>Sivumäärä</b>
Binauraalinen äänitekniikka: Teoriaa työkaluja ja käytännön tarkastelua kahden tilallisen nykymusiikkisävellyksen avulla.	84
<b>Tekijän nimi</b>	<b>Lukukausi</b>
Kaj Mäki-Ullakko	Kevät 2021
<b>Aineryhmän nimi</b>	
Musiikkiteknologia	
<p>Binauraalinen äänitekniikka, joka perustuu ihmisen suuntakuulon toimintaperiaatteisiin, kykenee parhaimmillaan luomaan vaikuttavia kolmiulotteisia kuuntelukokemuksia. Kun säveltäjä haluaa tuottaa elävälle yleisölle esitetystä tilallisesta musiikkiteoksesta ääniteversion, on binauraalinen äänite varteenotettava vaihtoehto. Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan kahta binauraalista äänitetuotantoa, joihin olen osallistunut äänittäjän ja miksaajan ominaisuudessa. Kuvailen työssäni sävellysten esitysversioiden muuntumista ääniteversioiksi ja siihen liittyvää suunnittelua ja tarvittavia työkaluja. Opinnäytetyöni tutkimuskysymys on: Millä tavoin akustisessa tilassa esitetyn tilallisen livemusiikkiteoksen voi rekonstruoida uudelleen binauraaliseksi kolmiulotteiseksi äänitteeksi yhdistellen erilaisia binauraalisia äänituotantotekniikoita?</p> <p>Käsittelen binauraalista äänitystä ja miksausta sekä yleisellä tasolla että ääniteprojektien kautta. Binauraalinen musiikkiäänite voidaan toteuttaa äänittämällä keinopäämikrofonilla tai soveltamalla binauraalista synteisiä monofoniselle signaalille tai yhdistämällä näitä kahta. Äänitettävän sävellyksen tilalliset ominaisuudet ohjaavat äänitetuotantoprosessia ja parhaiten soveltuvien binauraalisten äänituotantotekniikoiden valintaa. Esittelen ja perustelen soveltamiamme ratkaisuja binauraalisten äänitteiden tuottamiseksi esitysversioiden pohjalta. Tarjoan myös tekstin tueksi ääninäytteitä näistä ratkaisuista.</p> <p>Tarkastelen opinnäytetyössäni myös binauraalisuuteen liittyviä keskeisiä käsitteitä ja tutkimustuloksia. Binauraalisen musiikkiäänitteen tekoa varten ei ole vakiintuneita käytäntöjä tai äänitysoppaita. Koska tietoni binauraalisesta äänityksestä pohjautuu perinteisiin äänitys- ja miksausprojekteihin, käsittelen lyhyesti myös perinteiseen äänitykseen ja miksauskeinoihin liittyviä teorioita ja käytäntöjä.</p> <p>Opinnäytetyöni lopuksi pohdin binauraalisten äänitteiden onnistumista sekä teosten säveltäjien että omasta näkökulmastani. Pohdin myös binauraalisuuden realiteetteja ja mahdollisia parannuskeinoja tulevien binauraalisten äänitetuotantojen kohdalla. Toivon tekstini antavan tietoa ja käytännön toteutusvaihtoehtoja binauraalisen äänitteen tekoa suunnittelevalle.</p>	
<b>Hakusanat</b>	
binauraalinen ääni, spatiaalinen, tilallinen, äänitys, suuntakuulo, keinopää, HRTF	
<b>Tutkielma on tarkistettu plagiointitarkastusjärjestelmällä</b>	
25.3.2021 Sandra Mahlamäki	

# SISÄLLYSLUETTELO

## TIIVISTELMÄ SISÄLLYSLUETTELO SANASTO

<b>1 ALKULAUSE.....</b>	<b>1</b>
<b>2 JOHDANTO.....</b>	<b>2</b>
2.1 TAUSTA.....	2
2.2 MOTIVAATIO.....	2
2.3 TAVOITE.....	4
2.4 TUTKIMUSKYSYMYS.....	4
2.5 OPINNÄYTETYÖN RAKENNE.....	5
<b>3 KATSAUS BINAURAALISUUDEN KÄSITTEISIIN JA TUTKIMUKSIIN.....</b>	<b>6</b>
3.1 BINAURAALINEN KUULEMINEN.....	6
3.2 BINAURAALISET SUUNTAVIHJEET.....	8
3.3 BINAURAALISEEN KUULEMISEEN LIITTYVÄT EPÄTARKKUUDET.....	10
3.4 VASTEIDEN MITTAAMINEN (HRTF, HRIR & BRIR).....	11
3.5 BINAURAALINEN ÄÄNITYS.....	12
3.6 TOSIPÄÄ VS. KEINOPÄÄ.....	15
3.7 BINAURAALINEN SYNTEESI.....	16
3.8 BINAURAALINEN TOISTO.....	18
<b>4 ESITYSVERSIO ÄÄNITTEEKSI.....</b>	<b>19</b>
4.1 MUSIIKKIÄÄNITTEEN TUOTANTOPROSESSI.....	19
4.2 MUSIIKIN ÄÄNITYS.....	19
4.3 PERINTEINEN STEREOÄÄNITYS.....	21
4.4 KEINOPÄÄMIKROFONI JA PERINTEINEN STEREOÄÄNITYS.....	22
4.5 TUKIMIKROFONIT.....	24
4.6 PERINTEINEN MIKSAUS.....	25
4.7 BINAURAALINEN MIKSAUS.....	27
4.7.1 <i>Binauraalisen miksauksen lähtökohta.....</i>	<i>28</i>
4.7.2 SIGNAALIKETJU.....	29
4.7.3 <i>Tukimikrofonin sijoittaminen.....</i>	<i>30</i>
4.7.4 <i>Binauraalisen impulssivasteen käyttö tukimikrofonin kanssa.....</i>	<i>32</i>
4.8 BINAURAALISEN ÄÄNITTEEN ONGELMAT.....	33
4.8.1 <i>Tilallinen orkestrointi.....</i>	<i>33</i>
4.8.2 <i>Binauraalinen äänite marginaalissa.....</i>	<i>35</i>

<b>SÄVELLYKSET .....</b>	<b>37</b>
<b>5 UXO.....</b>	<b>38</b>
5.1 ESITYSVERSION ESITTELY.....	38
5.2 ÄÄNITYKSEN SUUNNITTELU .....	42
5.3 ISO ÄÄNITYSHUONE ÄÄNITYSTILANA.....	44
5.4 PERKUSSIOIDEN STUDIOÄÄNITYS .....	45
5.4.1 <i>Perkussioiden äänikuvan manipulaatio jälkityönä</i> .....	49
5.5 STUDIOÄÄNITYS JA BINAURAAALINEN SYNTEESI: LOPPUROTAATIO JA AKTUAATTORIT .....	50
5.6 VIRTUAALISEN LIIKKEEN AUTOMOINTI: KITKA JA KOHINA.....	56
5.7 AJATUKSIA ÄÄNITTEEN LOPPUTULOKSESTA .....	59
<b>6 METSÄNPEITTO 2 .....</b>	<b>60</b>
6.1 ESITYSVERSION ESITTELY.....	60
6.2 ÄÄNITYSTILANA KARJAAN KIRKKO .....	61
6.3 ÄÄNITYSKONSEPTI.....	62
6.4 ÄÄNITYSESIMERKKI: KÄKI .....	65
6.5 MIKSAUS .....	67
6.6 MIKSAUSESIMERKIT .....	69
6.6.1 <i>Esimerkki 1: Alku (VI)</i> .....	69
6.6.2 <i>Esimerkki 2: Rutinat (VI)</i> .....	69
6.6.3 <i>Esimerkki 3: Loppu (X)</i> .....	70
<b>7 LOPPUPÄÄTELMÄT .....</b>	<b>71</b>
7.1 SÄVELTÄJIEN POHDINTOJA BINAURAAALISISTA ÄÄNITTEISTÄ.....	71
7.2 OMIA POHDINTOJANI BINAURAAALISESTA ÄÄNITTEESTÄ .....	74
7.3 JATKOKEHITTELY .....	75
<b>LÄHTEET .....</b>	<b>78</b>
<b>LIITTEET .....</b>	<b>82</b>

# SANASTO

Amplitudi	Ääniaaltojen värähtelyn voimakkuus, ts. äänenvoimakkuus.
Aktuaattori	Kaiutin, joka saa halutun pinnan värähtelemään.
Azimuth	Horisontaalitasoon suunta asteina.
Binauraalinen	Kaksikorvaisuuteen perustuva suuntakuulo.
Binauraalinen balansointi	Äänilähteiden sijoittaminen äänitilassa halutun binauraalisen äänikuvan saavuttamiseksi keinopää-äänityksessä.
HRIR	<i>eng.</i> Head Related Impulse Response. Pään siirtofunktio aikatasossa.
HRTF	<i>eng.</i> Head Related Transfer Function. Pään siirtofunktio taajuustasossa.
Eksternalisaatio	Kuulokekuuntelussa syntyvä aistimus, jossa äänen havaitaan sijaitsevan kuuntelijan pään ulkopuolella.
Diffuusi äänikenttä	Äänikenttä, jossa äänienergia heijastuu tasaisesti kaikkiin suuntiin.
Fourier-muunnos	Rajatun ääninäytejonon matemaattinen muunnosfunktio, jolla aika-alueella oleva aaltoliike (ajassa etenevä värähtelyliike) voidaan muuntaa taajuusalueelle.
ILD	<i>eng.</i> Interaural Level Difference. Korvien väliset tasoerot.

Impulssivaste	Äänen kohdalla tarkoitetaan jonkin järjestelmän tai tilan reagointia ääni-impulssiin aikatasolla.
Interpolointi	Uusien arvojen laskeminen tunnettujen arvojen väliin.
ITD	<i>eng.</i> Interaural Time Difference. Korvien väliset aikaerot.
Keinopää	Ihmispään kokoinen mikrofonijärjestelmä binauraalisen signaalin äänitykseen.
Konvoluutio	Opinnäytetyöni kontekstissa konvoluutiolla tarkoitetaan kahden äänisignaalin spektrin keskinäistä suodattumista.
Konvoluutiokaiku	Impulssivasteen pohjalta toimiva kaikuprosessointi.
Liitännäinen	Audioliitännäinen, nk. plug-in englanniksi. Liitännäinen, jonka avulla voi prosessoida ääntä eri tavoin.
Lokalisointi	Äänen tulosuunnan havaitseminen.
Makro-parametri	Yksittäinen parametri, jonka avulla voidaan hallita useampaa parametriä samanaikaisesti.
Nauha	Elektroakustisessa musiikissa käytetty termi, jolla tarkoitetaan sävellyksessä käytettyä äänitiedostoa tai muuta ääntä toistavaa formaattia.
Siirtofunktio	Esitys signaalin lähdön ja tulon välisestä muutoksesta lineaarisessa systeemissä.

Staattinen binauraalinen miksaus	Kahden kanavan miksaus, jonka ominaisuuksiin ei kuulu kuuntelijan pään liikkeitä seuraavaa järjestelmää (head-tracking).
Tosipää	Mikrofonijärjestelmä, jossa ihmisen korviin asetetaan mikrofonit binauraalisen signaalin tallennusta varten.
Vapaa äänikenttä	Ympäristö, jossa ei ole heijastuksia, esim. kaiuton huone.
Ylikuuluminen	Kahden kanavan välistä osittaista sekoittumista.
Äänen spektri	Äänen taajuuksien jakauma. Äänisignaalin kunkin taajuuskomponentin amplitudi esitetään taajuuden funktiona.
Äänen ympäröityminen	Kuulokekuuntelussa syntyvä aistimus, jossa yksi tai useampi äänilähde tuntuu ympäröivän kuulijaa.

# 1 ALKULAUSE

Haluan ensisijaisesti kiittää säveltäjiä Meriheini Luotoa ja Walter Sallista siitä, että he pyysivät minua työskentelemään kiehtovien sävellystensä parissa sekä Sandra Mahlamäkeä asiantuntevista kommentteista opinnäytetyötäni ohjatessa.

Haluan myös erityisesti kiittää Teatterikorkeakoulun äänisuunnittelun professoria Jari Kauppista Neumann KU 100 keinopään lainasta, mikä hyvin pitkälti mahdollisti Metsänpeitto-levytysten binauraalisen äänimaailman.

Kiitos kuuluu myös Sibelius Akatemian musiikkiteknologian aineryhmän opettajille, erityisesti Alejandro Olartelle, jonka opetus ja ajatukset ovat inspiroineet ja antaneet työkaluja useiden teknisten ja esteettisten ratkaisujen kohdalla.



## 2 JOHDANTO

### 2.1 Tausta

Tämä opinnäytetyö on tulosta työskentelystäni äänittäjänä ja miksaajana kahden binauraalisen äänitteen, Metsänpeitto 2:n ja UXO:n parissa. Kokeellisen, kansanmusiikista ja nykymusiikista ammentavan Metsänpeitto 2:n on säveltänyt Meriheini Luoto ja nykymusiikkia ja äänitaidetta yhdistävän UXO:n on säveltänyt Walter Sallinen. Molemmat teokset sävellettiin ensisijaisesti elävälle yleisölle järjestettyä konserttia varten, mutta säveltäjät halusivat teosten julkaistavan myös konserttien jälkeen tuotettuina itsenäisinä äänitteinä.

Sekä Luoto että Sallinen lähestyivät minua toiveinaan toteuttaa teoksistaan äänitteet siten, että esitysversioissa luodut tilalliset ulottuvuudet olisivat toistettavissa myös äänitteellä. UXO:n ja Metsänpeitto 2:n konserteissa yleisö sijoittui keskelle ympäröiviä akustisia äänitapahtumia. Koimme kumpaakin äänitettä suunnitellessamme, että perinteinen stereofoninen äänite ei kykenisi rakentamaan halutun mukaista äänikuvaa. Koska minulla oli aikaisempaa kokemusta binauraalisen äänitteen äänityksestä ja miksausesta, päädyimme sekä Luodon että Sallisen sävellyksen kohdalla toteuttamaan teokset binauraalisina äänitteinä.

### 2.2 Motivaatio

Käsittelen binauraalista äänitystä ja miksausta sekä yleisellä tasolla että näiden kahden tilallisen nykymusiikkiteoksen ääniteprojektin kautta. Valitsin opinnäytetyöni aiheeksi molemmat äänitteet, koska niiden tekotavat erosivat

merkittävästi toisistaan sekä äänityksen suunnittelussa, äänityksessä että miksauksessa. Tämä ero, joka pohjautuu sävellysten luonteeseen ja niiden tilallisiin ominaisuuksiin, mahdollisti mielestäni monipuolisen tarkastelun binauraalisen äänityksen ja miksauksen ominaisiin toimintatapoihin.

Olen toiminut äänitetuotantojen parissa vuodesta 2012 lähtien. Jokainen äänitetuotanto on jossain määrin erilainen ja tuo mukanaan uusia haasteita ja ongelmia ratkaistavaksi. Tehtävänäni äänittäjänä ja miksaajana on aina ollut toteuttaa mahdollisimman hyvin säveltäjän visiota ja koostaa äänite, joka edustaisi parhaimmalla tavalla hänen musiikkiaan.

Koen että osaamiseni perinteisten stereofonisten äänitteiden kohdalla on peräisin tuhansien tuntien intensiivisestä musiikkiäänitteiden kuuntelusta sekä äänitys- ja miksaustekniikoiden opiskelusta ja niiden sovelluksesta käytännössä. Binauraalisen äänitteen tekoa varten ei ole vastaavissa määrin referenssimusiikkia, äänitysoppaita tai vakiintuneita käytäntöjä. Kattavaa tietoa aiheesta, etenkin suomen kielellä, on vaikeata löytää. Tämä on välillä luonut omalla kohdallani epävarmuutta äänitteen toteutuksen aikana mutta myös toisaalta kannustanut kehittämään luovia ratkaisuja sekä äänityksen että miksauksen osalta.

Binauraalinen tekniikka on kiehtonut minua siitä lähtien, kun siitä ensimmäistä kertaa kuulin. Työskennellessäni äänittäjänä ja miksaajana ensimmäisen binauraalisen äänitteeni, Meriheini Luodon säveltämän Metsänpeitto 1:n parissa, uskoin aluksi naiivisti keinopäämikrofonin olevan yksinkertaisesti täydellinen ratkaisu kolmiulotteisen tilallisen musiikin tallentamiseen. Viimeistään miksausvaiheessa tutustuin ensimmäistä kertaa binauraalisen äänitteen omintakeisiin haasteisiin, joita käsittelen tässä opinnäytetyössä.

Olen tähän mennessä työskennellyt kolmen binauraalisen äänitetuotannon parissa. Viimeisimmät äänitteet, Metsänpeitto 2 ja UXO, valmistuivat ennen kuin ryhdyin opinnäytetyöni varsinaiseen luku- ja kirjoitusprosessiin. Francis Rumseyn *Spatial Hearing* sekä Letowski & Letowskin *Auditory spatial perception: auditory localization* ovat lähdekirjallisuutena olleet korvaamattomia peilatessani binauraalisuuden perustutkimuksia tekemiini ratkaisuihin binauraalisten äänitetuotantojen parissa.

### 2.3 Tavoite

Tavoitteenani opinnäytetyössäni onkin ollut selkeyttää sekä itselleni että lukijalle binauraalisuuteen liittyviä käsitteitä sekä tarkastella tekemiäni äänitys- ja miksausratkaisuja suhteessa tilallisiin sävellyksiin. Toivonkin tekstini antavan tietoa ja käytännön toteutusvaihtoehtoja binauraalisen äänitteen tekoa suunnittelevalle.

### 2.4 Tutkimuskysymys

Tutkimuskysymykseni on:

*Millä tavoin akustisessa tilassa esitetyn tilallisen livemusiikkiteoksen voi rekonstruoida uudelleen binauraaliseksi kolmiulotteiseksi äänitteeksi yhdistellen erilaisia binauraalisia äänituotantotekniikoita?*

## 2.5 Opinnäytetyön rakenne

Opinnäytetyön aluksi tarkastelen binauraalisuuteen liittyviä käsitteitä ja tutkimusten tuloksia. Kerron suuntakuulon toimintaperiaatteista sekä vaihtoehtoisista tavoista tuottaa binauraalista signaalia.

Kirjoitan myös musiikkiäänitteen tuotantoprosessista ja siihen liittyvästä työskentelystä. Koska binauraalinen äänitys pohjautuu omalla kohdallani osaamiseeni ja kokemuksiini perinteisistä äänitys- ja miksausprojekteista, käsittelen myös lyhyesti perinteiseen äänitykseen ja miksausukseen liittyviä teorioita ja käytäntöjä, jotka ovat vahvasti läsnä niissä binauraalisissa äänitetuotannoissa, joihin olen osallistunut äänittäjän ja miksaajan ominaisuudessa.

Kuvailen myös sävellysten esitysversioiden muuntumista ääniteversioiksi ja siihen liittyvää suunnittelua ja tarvittavia työkaluja. Tarjoan tekstin lomassa valikoituja ääninäytteitä kummastakin äänitteestä. Päätelmissä pohdin äänitteiden onnistumista, binauraalisuuden realiteetteja ja mahdollisia parannuskeinoja tulevien binauraalisten äänitetuotantojen kohdalla.

## 3 KATSAUS BINAURAAALISUUDEN KÄSITTEISIIN JA TUTKIMUKSIIN

Termi *binauraalinen* tarkoittaa sanatarkasti "kaksikorvaista kuulemista" (Maijala, 1996). Binauraalisella signaalilla tai binauraalisella tekniikalla viitataan yleensä tilanteeseen, jossa äänisignaalia on äänitetty tai prosessoitu vastaamaan ihmisen korvaparin tuottamia erityispiirteitä amplitudin ja aikaominaisuuksien osalta (Rumsey, 2001, 13). Yksinkertaisimmillaan äänitys voidaan toteuttaa joko tosipäällä tai keinopäällä. Tosipäällä äänittäessä asetetaan ihmisen kummankin korvan korvakäytävän aukolle pienet, suuntaamattomat mikrofonikapselit. Keinopää taas on aikuisen pään kokoinen mikrofonijärjestelmä, jolla pyritään toistamaan yksityiskohtaisesti kallon sekä ulkokorvan akustisia ominaisuuksia (Maijala, 1996). Binauraalista ääntä voidaan tuottaa myös keinotekoisesti. Käyttämällä suotimia, jotka sisältävät akustisen siirtofunktion halutusta pisteestä korvaan, voidaan simuloida äänilähteen sijainti binauraalisessa perspektiivissä. Tätä kutsutaan *binauraaliseksi synteeksiksi* (Pike, 2019, 69). Binauraalisen äänen kuuntelussa käytetään ensisijaisesti kuulokkeita.

### 3.1 Binauraalinen kuuleminen

Ihminen kokee ja hahmottaa maailmaa aistiensa kautta. Länsimaisessa kulttuurissa näköaistia on perinteisesti pidetty tärkeimpänä aistina, kuuloaistia toiseksi tärkeimpänä (Jokiniemi, 2007, 13-19). Näkö ja kuulo toimivat tiiviisti yhteistyössä; silmät keskittyvät edessä avautuvaan näkymään, kuulo taas mahdollisiin tapahtumiin pään yläpuolella tai sen takana (Rumsey, 2001, 1).

Koemme siis pitkälti korviemme ansiosta ympäristöämme jatkuvasti kolmiulotteisesti. Yksittäisten äänten tulosuunnan havaitseminen eli *lokalisointi* on ollut historiallisesti selviytymisemme kannalta kriittinen ominaisuus (Pulkki & Karjalainen, 2015, 219). Tämän mahdollistaa *suuntakuulo*, joka viittaa ominaisuuteen kuulla kaikista suunnista kolmiulotteisessa avaruudessa ja sen toiminta on suurelta osin riippuvainen vasempaan ja oikeaan tärykalvoon saapuvista eri äänenpaineista, jotka aiheuttavat korvien väliset erot äänen voimakkuudessa ja saapumisajassa (Rieder & Huopaniemi, 1997). Kyseisiä eroja kutsutaan yleisesti binauraalisiksi suuntavihjeiksi.

Korvalehden ja korvakäytävän kautta tärykalvoon saapuva äänenpaine muuntuu sisäkorvassa signaaliksi, joka lähtee hermoimpulssina kuulohermoja pitkin aivojen analysoitavaksi (Vierimaa & Laurila, 2011, 309-310). Ennen äänenpaineen päätymistä tärykalvolle, syntyy useita suunta- ja taajuusriippuvaisia akustisia ilmiöitä, joiden ansiosta jokaisella saapuvan äänen tulokulmalla on oma, yksilöllinen taajuusvasteensa (Ballou, 2009, 121).

Ihmisen pää sekä olkapäät voidaan akustisesta näkökulmasta sisällyttää osaksi ulkokorvaa (Pulkki & Karjalainen, 2015, 113). Olkapäät heijastavat ääniaaltoja kohti korvalehteä ja pää muodostaa akustisen varjoalueen kauempana äänilähteestä sijaitsevaan korvaan (Rieder & Huopaniemi, 1997). Pään aiheuttamalla varjostuksella on tärkeä vaikutus äänen lokalisointiin etenkin korkeilla taajuuksilla, n. 1 kHz lähtien (Cook, 2001, 2). Myös korvalehdellä on suuntariippuvainen, ääntä suodattava vaikutus, minkä lisäksi se toimii ääniaaltojen kerääjänä (Cook, 2001, 1).

## 3.2 Binauraaliset suuntavihjeet

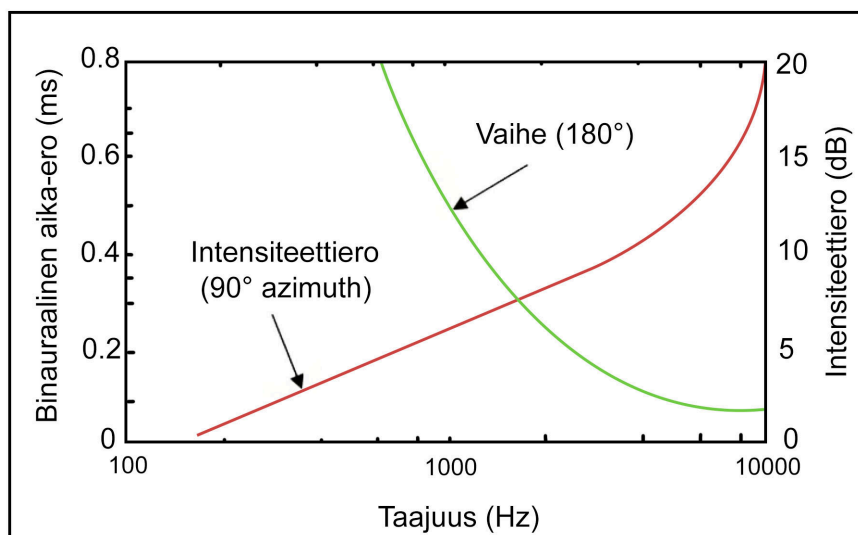
Tomasz R. Letowskin ja Szymon T. Letowskin *Auditory Spatial Perception: Auditory Localization (2012)* -tutkimusraportin mukaan edellä mainitut ihmiskehon akustiset ominaisuudet olivat ensimmäisten äänen lokalisaatiota tutkivien tutkimusten kohteita jo 1870-luvulla. Silloiset tutkijat havaitsivat, että ihmisen päällä ja sen akustisilla ominaisuuksilla oli äänen intensiteettiä laskeva vaikutus äänilähteestä kauempana olevaan korvaan, mikä mahdollisti äänen lokalisaation. Matalien taajuuksien kohdalla tämä selitys tosin ontui, sillä ääniaallot ovat huomattavasti päänä suurempia. Lord Rayleigh osoitti vuonna 1907 duplex-teoriallaan (*duplex theory of localization*), että ihminen havaitsee matalien taajuuksien tulokulman korviin saapuvien vaihe-erojen ansiosta. Nämä vaihe-erot eivät kuitenkaan auta lokalisaatiossa taajuuksilla, joiden aaltopituus on lyhyempi kuin korvien välinen etäisyys toisistaan (n. 1,2 kHz). Lord Rayleigh ehdottikin duplex-teoriassaan, että vaihe- ja intensiteetti-erot ovat toisiaan täydentäviä mekanismeja, jotka mahdollistavat suuntakuulon toiminnan sekä korkeilla että matalilla taajuuksilla. Nämä vaihe- ja intensiteetti-erot muodostavat yhdessä binauraaliset suuntavihjeet (Rieder & Huopaniemi, 1997; Letowski & Letowski, 2012, 8).

Lord Rayleighin osoittamia mekanismeja kutsutaan nykytutkimuksessa seuraavilla termeillä:

**Korvien väliset tasoerot:** *interaural intensity difference (IID)* tai *interaural level difference (ILD)*, joilla kuvataan korvien välille syntyneitä äänenvoimakkuus- ja taajuuseroja. Kummallakin termillä tarkoitetaan samaa ilmiötä.

**Korvien väliset aikaerot:** *interaural phase difference (IPD)* tai *interaural time difference (ITD)*, joilla kuvataan korvien välille syntyneitä vaihe- ja aika-eroja. Kumpikin termi viittaa samaan ilmiöön, tosin IPD:tä käytetään silloin, kun äänilähteenä on esimerkiksi jatkuvaa yksinkertaista jaksollista ääntä, jolla ei ole selkeätä ajallista referenssipistettä (Letowski & Letowski, 2012, 8).

Korvien väliset aika-erot (ITD) toimivat suuntakuulon ensisijaisina vihjeinä (Letowski & Letowski, 2012, 9). ITD suuntavihjeet ovat tehokkaimmillaan ~800 Hz alittavilla taajuuksilla, taso-erot (ILD) ~1600 Hz ylittävillä taajuuksilla. ITD ja ILD täydentävät toisiaan eritoten siirtymätaajuuksilla n. 800-1600 Hz (Letowski & Letowski, 2012, 12). Tarkemmat taajuusluvut ovat kuitenkin riippuvaisia yksilökohtaisesta yläruumiin anatomiasta.



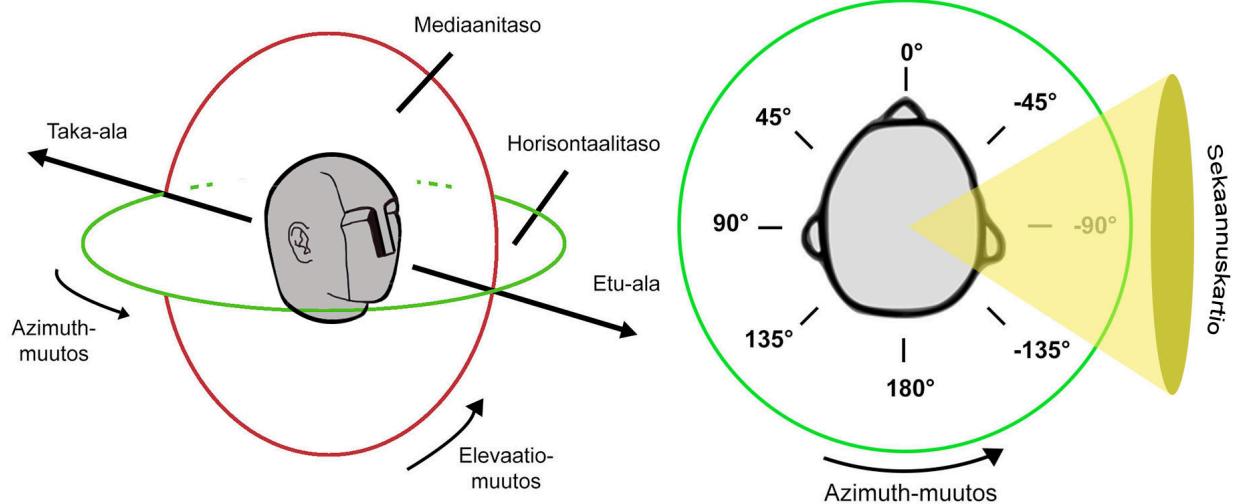
Kuva 1. Aika-eron (ITD, vihreä käyrä, vasen skaala) ja intensiteettieron (IID, punainen käyrä, oikea skaala) taajuusriippuvuus kuvattuna. Adaptoitu Letowski & Letowskilta (2012, 11)



### 3.3 Binauraaliseen kuulemiseen liittyvät epätarkkuudet

Äänen tulosuunta vaikuttaa suuresti suuntakuulon tarkkuuteen. Vaakakulman havaitseminen on yleisesti ottaen huomattavasti korkeuskulmaa tarkempaa. Pään etupuolelta saapuvan signaalin vaakakulma kyetään tutkimusten mukaan parhaimmillaan havaitsemaan  $n. \pm 3,5^\circ$  tarkkuudella. Liikkuvan äänilähteen suunnan muutokset havaitaan suoraan edessä parhaimmillaan  $1^\circ$  tarkkuudella (Merimaa, 2000, 4-5). Voidaan siis todeta, että liikkuva ääni lokalisoituu yleisesti staattista ääntä paremmin.

Ihmispään kuvitteellisesti keskeltä halkaisevalla mediaanitasolla (*kuva 2*) sijaitseva äänilähde ei juurikaan synnytä aika- tai tasoeroja korvien välille, minkä vuoksi ihminen sekoittaa suoraan edestä tai takaa tulevien äänten suunnan (Rieder & Huopaniemi, 1997). Vastaava ongelma syntyy, kun äänilähde sijaitsee nk. sekaannuskartion (*kuva 2*) alueella. Eero Aho tiivistää ilmiön hienosti Tilaääni-kirjassaan: "Ääniavaruudessa on kaksi pistettä, joista korvien välille syntyvät voimakkuus-, aika- ja vaihe-erot ovat samanlaiset. Näiden pisteiden joukko sijaitsee pinnalla, jota kutsutaan sekaannuskartioksi" (Aho, 2006, 32). Mikäli äänilähde sijaitsee sekaannuskartion alueella, ei kuulo pysty paikantamaan ääntä yksinään suuntavihjeiden avulla. Arkielämässä vaistonvaraisen pään kääntelyn yhteydessä tapahtuvat ILD- ja ITD-muutokset ratkaisevat edellä mainitut suuntakuulo-ongelmat (Merimaa, 2000, 5). Kuulokekuuntelussa tämä ei ole mahdollista ilman päänseurantajärjestelmää (*head tracking*), joka pyrkii sensorien avulla mallintamaan luonnollista pään liikettä.



Kuva 2. Horisontaali- ja mediaanitasot sekä sekaannuskartio.

### 3.4 Vasteiden mittaaminen (HRTF, HRIR & BRIR)

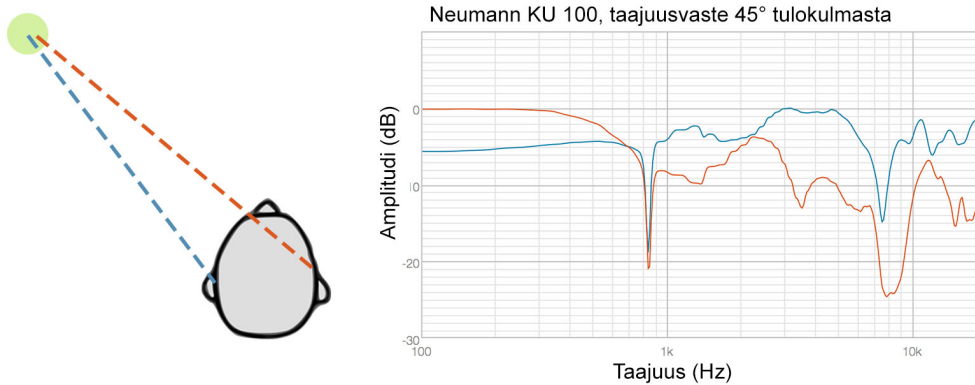
Äänen saapumista korviin eri tulokulmista voidaan mitata ja kuvata HRTF-vasteiden (*head-related transfer function*) avulla (Merimaa, 2000, 6).

Tyypillinen HRTF-mittaus toteutetaan seuraavasti:

- 1) tosipää tai keinopää sijoitetaan kaiuttoman tilan keskelle ja ympäröidään lukuisilla kaiuttimilla, jotka sijaitsevat ennalta määritellyissä tulokulmissa.
- 2) jokaisesta kaiuttimesta toistetaan vuorotellen laajakaistainen herätesignaali, joka äänitetään tosipään tai keinopään korvakäytävien juurella olevien suuntaamattomien mikrofoniin avulla. Äänityshetkellä mikrofoniin kalvoilla tapahtuu konvoluutio, kun herätesignaalin spektri suodattuu tulokulman, tilan ja pään synnyttämällä spektrillä.

- 3) lopuksi äänitetty signaali prosessoidaan herätesignaalista riippuvaisella dekonvoluutiosuotimella eli käänteissuotimella, jolloin herätesignaali kumoutuu.

Tuloksena on HRIR-impulssivaste (*head-related impulse response*), joka muunnettuna taajuusalueelle Fourier-muunnoksella on mittauksen HRTF-vaste tai HRTF-siirtofunktio. HRTF:n avulla voidaan tarkasti todentaa aika-erojen sekä taso-erojen syntyä äänen eri saapumissuunnista.



Kuva 3. Keinopäämikrofonin avulla mitattu HRTF-vaste, kun äänilähde sijaitsee 45° tulokulmassa.

Vastaava mittaustoimenpide voidaan toteuttaa myös tavanomaisessa huoneessa tai tilassa, jolloin saadusta impulssivasteesta käytetään nimitystä BRIR (*binaural room impulse response*). Impulssivasteeseen sisältyy tällöin tilan tuottamat heijastukset, nekin riippuen äänilähteen ja keino- tai tosipään sijainnista tilassa (Merimaa, 2000, 7).

### 3.5 Binauraalinen äänitys

Binauraalisen äänityksen ja toiston pyrkimyksenä on tallentaa "äänikenttä aistillisesti autenttisella tavalla" ja toistaa kuuloke-kuuntelussa "sama äänikenttä akustisesti erilaisissa tiloissa eri henkilöille" (Maijala, 1996). Pienet

painemikrofonit sijoitetaan yleensä tärykalvon sijaan korvakäytävän suulle, sillä tutkimusten mukaan äänen siirtyminen korvakäytävän suulta tärykalvolle on äänen tulosuunnasta riippumatonta ja korvakäytävän suulta tallennettuihin signaaleihin sisältyy vähiten subjektiivista säröä (Maijala, 1996). Äänitys voidaan toteuttaa elävän ihmisen päällä (*tosipää*) tai ihmisen pään muotoja mukailevan keinopään avulla. Tosipää on monessa mielessä ongelmallinen äänityksen suhteen, sillä ihminen voi huomaamattaankin liikuttaa päätään ja hengityksen sekä suun tuottamat äänet saattavat luoda ei-haluttuja häiriöääniä.



*Kuva 4.*

*Neumann KU 100*

Musiikkiesitystä äänittäessä onkin helppo suosia keinopäätä tosipään sijaan, etenkin jos kyseessä ei ole konsertin liveäänitys, vaan monimutkaisempi levytysprosessi, joka sisältää useiden ottojen yhdistämistä jälkityönä. Tällöin binauraaliset äänitykset tehdään useimmiten keinopäällä, joka on aikuisen pään kokoinen ja muotoinen, ulkokorvat mukaan lukien (Maijala, 1996).

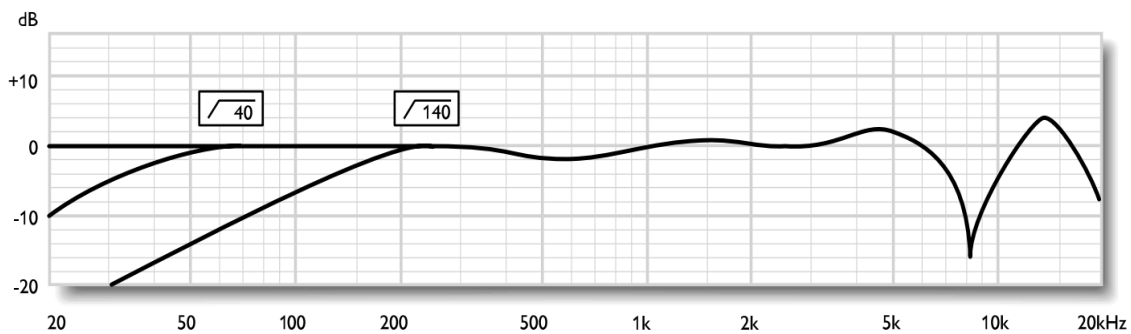
Useammalla keinopäällä kuten Neumannin valmistamalla KU 100:lla, Brüel & Kjaerin 4128-C:llä sekä G.R.A.S:n KEMAR:illa on myös nenän fyysinen ulkomuoto. KEMAR on esimerkki keinopäästä, joka pyrkii mallintamaan myös ihmisen yläruumiin akustisia vaikutuksia. Keinopään akustiset ominaisuudet suunnitellaan usein keskimääräisen ihmispään kaltaisiksi (Merimaa, 2000, 7). Tämä on tulosta tosipailla suoritetuista tutkimuksista, joiden avulla on tunnistettu HRTF-piirteitä, jotka esiintyvät enemmistöllä ihmisistä. Tavoitteena on hyvä, joskaan tuskin koskaan täydellinen, toisto mahdollisimman laajalle kuulijajoukolle (Rumsey, 2001, 67).

Keinopäitä valmistetaan eri käyttötarkoituksiin; osa soveltuu paremmin laboratoriomittauksiin, osa paremmin äänitystarkoituksiin (Rumsey, 2001, 70). KEMAR-keinopäähän voi vaihtaa erikokoisia ja muotoisia korvalehtiä ja pään kulmaa yläruumiiseen nähden voi muuttaa eikä siinä ole sisäänrakennettua ekvalisointia, jolla voisi kompensoida keinopään tuottamaa taajuusvastetta (Kemar, 2013). Tämän ansiosta se soveltuu hyvin mittaustarkoituksiin, sillä sen tuottamat HRTF:t vastaavat suoraan tosipään tuottamia HRTF:iä.

Musiikin äänitykseen kyseinen keinopää ei sovellu yhtä suoraviivaisesti: mikäli KEMAR:in kautta äänitettyä signaalia kuuntelee suoraan kuulokkeiden kautta, läpikäy signaali kaksi HRTF-siirtofunktiota - ensimmäisen keinopään korvien kautta ja toisen kuulijan korvien kautta (Ballou, 2009, 121). Neumannin KU 100-keinopäessä sen sijaan on sisäänrakennettu diffuusio kentän korjainsuodin, jonka ansiosta kyseisen keinopään taajuusvaste on mahdollisimman tasainen suoraan edestä, diffuusiossa äänikentässä mitattuna<sup>1</sup>. Koska suodin toteutetaan identtisenä molemmille kanaville, ei se vaikuta korvien välisiin taajuuseroihin. Tämä mahdollistaa luonnollisemman toiston sekä kuulokkeilla että kaiuttimilla toistettuna (Rumsey, 2001, 70). Vastaava diffuusio äänikentän ekvalisointi on ollut jo pitkään standardi studiomikrofonien suunnittelussa (Theile, 1984).

---

<sup>1</sup> Diffuusiossa äänikentässä "äänienergia osuu kentän jokaiseen pisteeseen kaikista mahdollisista suunnista yhtä suurella todennäköisyydellä" (Korhonen, 2013, 42). Diffuusio äänikentän korjainsuotimella pyritään saamaan tasainen taajuusvaste tällaisessa ympäristössä, jota kutsutaan myös kaiuntahuoneeksi (Maijala, 1996). Vapaa äänikenttä taas on ympäristö, jossa ei ole heijastuksia. Vapaan kentän korjainsuotimella pyritään saamaan tasainen taajuusvaste tällaisessa ympäristössä, ns. kaiuttomassa huoneessa.



Kuva 5. Neumann KU 100 -keinopään taajuusvaste (Neumann, 2000)

### 3.6 Tosipää vs. keinopää

Tosipään avulla äänitettyjen signaalien lokalisaatio on tutkimusten mukaan usein keinopäätä tarkempaa (Borwick, 2001, 664). Tosipäiden ja keinopäiden eroja voidaan kuitenkin tutkia myös muiden ominaisuuksien osalta, mikä saattaa olla tärkeää binauraalisten musiikkiäänitteiden osalta. Armstrong et al. tutkivat lokalisaation sijaan koekuuntelijoiden yleistä mieltymystä eri tosipäiden ja eri keinopäiden välillä. Tosipäiden HRTF-mittaukset toteutettiin kuulijoiden omista päistä, keinopäiden mittaukset äänitettiin Neumann KU100- sekä KEMAR-keinopäillä. Arviointiperusteina olivat binauraalisesti syntetisoidun musiikin kirkkaus, täyteläisyys (*richness*), eksternalisaatio (*externalisation*) sekä mieltymys (*preference*). Tulosten mukaan keinopäät KU100 sekä KEMAR koettiin yleisesti miellyttävimmiksi, eikä yksikään kuulija arviointu omaa yksilöllistä HRTF:äänsä miellyttävimmäksi vaihtoehdoksi (Armstrong et al., 2018). Tutkimuksessa ehdotetaan, että esimerkiksi peliympäristössä voitaisiin käyttää lokalisaatiota paremmin tarjoavia tosipään HRTF:iä, kun taas esimerkiksi musiikki- ja elokuvaympäristössä voitaisiin käyttää äänenlaatua paremmin säilyttäviä, laadukkaiden keinopäiden HRTF:iä.

### 3.7 Binauraalinen synteesi

Monofonisesta signaalista voidaan digitaalisen signaalikäsittelyn avulla luoda keinotekoisesti kaksikanavaista, binauraalista signaalia (Rumsey, 2001, 65). Tätä kutsutaan binauraaliseksi synteeksiksi. Lähdesignaalia suodatetaan kahdella digitaalisella suotimella, joiden avulla mallinnetaan vasemman ja oikean korvan luomia akustisia siirtofunktioita (HRTF) halutusta sijainnista (Merimaa, 2000, 9; Pike, 2018, 69). Vapaan kentän binauraalinen synteesi toteutetaan yleensä käyttämällä kaiuttomassa huoneessa (*anechoic chamber*) äänitettyjä binauraalisia HRIR-impulssivasteita. HRIR:iä voidaan luoda myös kolmiulotteisten korvamallinnusten pohjalta (Ghorbal & Segquier, 2020). Mikäli binauraalinen impulssivaste (BRIR) on äänitetty kaikuisassa ympäristössä, voidaan impulssivasteen avulla simuloida äänen tulokulman lisäksi ensiheijastuksia ja jälkikaiuntaa.

Binauraalisessa synteessissä on käyttäjällä mahdollisuus sijoittaa monofoninen äänilähde virtuaalisesti eri tulokulmiin. Koska jokainen tulokulma tuottaa erilaisen HRTF:n, täytyisi teoriassa jokaista tulokulmaa varten olla oma impulssivasteensa. Vasteiden mittaaminen kaikista tarvittavista suunnista on kuitenkin käytännössä mahdotonta, joten osa vasteista joudutaan laskemaan interpoloimalla lähimpiä käytettävissä olevia vasteita (Merimaa, 2000, 13). Sekä HRIR- että BRIR-impulssivasteita on nykypäivänä vapaasti ladattavissa internetissä eri tietokannoissa, joiden impulssivasteita on toteutettu erilaisten keinopäiden ja tosipäiden sekä matemaattisten mallinnusten avulla.

Eri tahoilta ladattujen HRIR/HRTF-vasteiden käytössä oli laajalti yhteensopivuusongelmia ennen vuotta 2013, kun Majdak et al. ehdottivat standardisoidun formaatin, SOFA:n luomista (Majdak et al., 2013). SOFA

(*Spatially Oriented Format for Acoustics*) on tiedostomuoto, joka sisältää eri tulokulmista mitatut impulssivasteet binauraalisen synteessin toteuttamiseen. Binauraaliseen synteesiin tarvittava prosessointi mahdollistuu eri valmistajien kaupallisilla tai ilmaisilla tietokonesovelluksilla tai audiotyöasemassa toimivilla liitännäisillä, kuten Dear Realityn tarjoamalla dearVR PRO:lla<sup>2</sup> tai Leo McCormackin ja Archontis Politiksen kehittämällä SPARTA Binauraliser:illa<sup>3</sup>. Näistä kahdesta Binauraliser osaa lukea SOFA-formaattia.

SPARTA on sarja Aalto-yliopiston akustiikan laboratoriossa kehitettyjä, reaaliaikaiseen spatialisaatioon keskittyviä liitännäisiä (McCormack & Politis, 2019). Binauraalisen synteessin lisäksi SPARTA tarjoaa työkaluja Ambisonic-ympäristöön sekä monikaiutinjärjestelmiin.

SPARTA Binauraliserilla voi parhaimmillaan muuntaa 64 monofonista signaalia binauraaliseksi signaaliksi. Binauraliser analysoi ensin aika-erot eli ITD:t jokaisesta mitatusta HRIR-impulssivasteesta, jotka SOFA-tiedostoon on tallennettu. Seuraavaksi Binauraliser luo interpolaatiota varten taulukon, jonka avulla lasketaan mitattujen tulokulmien väliset HRTF:t (McCormack & Politis, 2019). Yhtä tai useampaa signaalia voi tämän jälkeen sijoittaa ja liikuttaa reaaliaikaisesti virtuaalisessa kolmiulotteisessa tilassa. Liitännäinen mahdollistaa tulokulmien muutokset rotaation avulla. Tällä toiminnolla voidaan simuloida pään kääntämistä (*yaw*) sekä kallistamista eteen, taakse (*pitch*) ja molemmille sivuille (*roll*). Rotaatio-ominaisuuden käyttö on myös käytännöllistä mikäli halutaan automoida symmetristä jatkuvaa liikettä, kuten äänilähteen pyörimistä kuuntelijan ympärillä horisontaali-akselilla. Kerron tämän ominaisuuden käytöstä omissa projekteissani osiossa 5.6.

---

<sup>2</sup> <https://www.dearvr.com/products/dearvr-pro>

<sup>3</sup> [http://research.spa.aalto.fi/projects/sparta\\_vsts/](http://research.spa.aalto.fi/projects/sparta_vsts/)



### 3.8 Binauraalinen toisto

Olennainen osa binauraalista tekniikkaa ovat kuulokkeet, jotka rakentavat kuulijalle kolmiulotteisen kuuntelukokemuksen toistamalla tallennettua tai syntetisoitua binauraalista signaalia. Kuulokkeiden ominaisuudet vaikuttavat merkittävästi binauraaliseen toistoon. Borwick kirjoittaa, että kuulokkeiden taajuusvaste tulisi teoriassa olla täysin tasainen ja Pike mainitsee, että ammattimaiseen kriittiseen kuunteluun käytettävien kuulokkeiden tulisi olla ekvalisoidut tasaiseksi diffuusissa äänikentässä (Borwick, 2001, 664; Pike, 2019, 102). Avoimet kuulokkeet soveltuvat yleisesti ottaen suljettuja kuulokkeita paremmin binauraaliseen toistoon, sillä suljetut kuulokkeet korostavat tyypillisesti rakenteestaan johtuen häiritsevästi matalia taajuuksia (Borwick, 2001, 664; Pike, 2019, 103). Myös korvakäytävään asetettavia ns. in-ear-kuulokkeita pidetään ongelmallisena binauraalisessa toistossa, sillä korvakäytävän tukkiminen muuttaa käytävän resonanssiominaisuuksia (Albrecht et al., 2011). Toisaalta Hiipakka et al. (2012) osoittivat, että soveltamalla oikeanlaista korjainsuodinta in-ear-kuulokkeisiin binauraalisessa toistossa, on niiden käyttö verrattavissa korkealaatuisiin avoimiin kuulokkeisiin.

Olen binauraalisten äänitteiden parissa työskennellessäni pääasiassa käyttänyt Sennheiserin valmistamia, diffuusissa äänikentässä ekvalisoituja HD600-kuulokkeita. Binauraalisen äänitteen tuotannossa on mielestäni tärkeää, että työryhmän päätöksiä tekeville jäsenille olisi aina tarjolla samanlaiset tai samankaltaiset, korkealaatuiset ja binauraaliseen toistoon hyvin soveltuvat kuulokkeet.

## 4 ESITYSVERSIO ÄÄNITTEEKSI

Ensimmäisessä osassa esittelin binauraalisuuteen liittyviä fysiologisia, akustisia ja psykoakustisia käsitteitä sekä binauraalisuuteen liittyvää tekniikkaa. Seuraavaksi käsittelen tämän tiedon ja tekniikan soveltamista käytännössä, äänittäjän ja miksaajan näkökulmasta. Tulen myös esittelemään kaksi tilallista sävellystä, joiden muuttaminen esitysversiosta äänitteeksi vaatii tietoa, taitoa, työkaluja ja ennen kaikkea luovaa ajattelua ja kokeiluja.

### 4.1 Musiikkiäänitteen tuotantoprosessi

Musiikkiäänitettä luotaessa on tavoitteena yhden tai useamman akustisen, sähköisen tai digitaalisen äänilähteen tallennus ja uudelleentoisto niin, että äänilähteet soivat halutussa suhteessa toisiinsa - säveltäjän, artistin tai tuottajan näkemyksen mukaisesti (Douglas, 2010, 140).

Musiikkiäänitteen tuotantoprosessi on monivaiheinen vyyhti täynnä ongelmanratkaisua parhaimman lopputuloksen saavuttamiseksi. Ongelmia ratkotaan ensin suunnitteluvaiheessa, sitten äänityksessä sekä miksausessa ja lopulta masteroinnissa, ennen kuin äänite on valmis kanssaihmissen kuultavaksi.

### 4.2 Musiikin äänitys

Musiikkiäänitykset voi äänityssijaintinsa puolesta jakaa kahteen eri kategoriaan, lokaatioäänityksiin ja studioäänityksiin. Sinfoniaorkesterin äänitys Sibeliustalon konserttisalissa on tyypillinen esimerkki ensimmäisestä,

rock-yhtyeen äänitys Finnvox-studiolla jälkimmäisestä. Lokaatioäänityksen ja studioäänityksen suurin ero on useimmiten äänitystilän akustiikka.

Klassista musiikkia on perinteisesti esitetty *konserttisaleissa*, joiden akustiset ominaisuudet, kuten ensiheijastukset ja jälkikaiunta, ovat erottamaton osa yleisön kuulemaa esitystä (Lokki et al., 2013). Klassisen musiikin äänitteen pyrkimys on usein tämän konserttielämyksen tallentaminen mahdollisimman kokonaisvaltaisena, eli äänitteen kuulija ikäänkuin istutetaan salin yleisöön. Mikäli konserttisalin tai muun vastaavan äänityslokaation, kuten kirkon välineistöön ei kuulu äänityskalustoa, tuodaan liikutettava, äänityksen mahdollistava kalusto paikan päälle.

*Äänitysstudioiden* akustiikka poikkeaa usein merkittävästi konserttisalin akustiikasta. Studioiden soittotilat ovat yleensä huomattavasti konserttisaleja pienempiä ja omaavat siitä johtuen hyvin erilaiset akustiset ominaisuudet, eritoten jälkikaiunnan kohdalla. Soittotilojen sointi pyritään saamaan sopivan neutraaliksi. Tämä mahdollistaa jälkikaikujen lisäämisen miksausvaiheessa. Äänitysstudioissa on useimmiten useampia, erikokoisia soittotiloja, jotka ovat toisistaan akustisesti eristettyjä. Äänityksen sujuvuutta arvioidaan tarkkaamosta, äänen tarkkailuun suunnitellusta huoneesta, joka on varustettu toistoa varten korkealaatuisilla kaiuttimilla.

Tässä opinnäytteessä ääniteversio Meriheini Luodon sävellyksestä *Metsänpeitto 2* toteutettiin lokaatioäänityksenä Karjaan kirkossa, kun taas Walter Sallisen sävellyks *UXO* toteutettiin studioäänityksenä Musiikkitalon studiossa. Myös äänitystekniikat seurasivat vastaavanlaista jaottelua, eli *Metsänpeitossa* lähestyttiin äänitystä klassisen musiikin äänitystekniikoita hyväksikäyttäen, *UXO:ssa* sovellettiin studiotyöskentelystä tuttuja tekniikoita.

### 4.3 Perinteinen stereoäänitys

Stereofoninen äänitys tai stereoäänitys pohjautuu äänikentän tallentamiseen kaksikanavaista kaiutintoistoa varten (Eargle, 2005, 166). Stereofoninen kaiutintoisto taas perustuu Alan Blumleinin vuonna 1931 rekisteröityyn patenttiin, joka hyödyntää binauraalista suuntakuuloamme. Blumlein osoitti, että kaiutinparin väliset voimakkuuserot luovat vaihe-eroja kuuntelijan korvien välille, joka mahdollistaa mikrofoniparin avulla äänitettyjen äänilähteiden paikallistamisen kaiuttimien toistamassa äänikentässä (Rumsey, 2001, 53-55). Äänilähteistä, jotka paikallistuvat kaiuttimien välille, käytetään nimitystä "*phantom images*", sillä niiden havaitussa tulosuunnassa ei ole fyysistä kaiutinta (Eargle, 2005, 166).

Klassisen musiikin äänityksessä käytettävät perinteiset stereomikrofoni-asetelmat voidaan jakaa kolmeen eri kategoriaan:

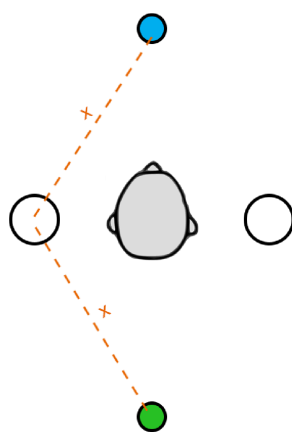
**Koherentti stereopari** (*coincident pair*) koostuu kahdesta suuntaavasta mikrofonista, joiden kapselit sijoitetaan mahdollisimman lähelle toisiaan ja joiden suuntakuviot osoittavat eri puolille kohti tallennettavaa äänikenttää. Havaittu stereovaikutelma syntyy suuntavien mikrofonien välisestä voimakkuuserosta.

**Lähes koherentti stereopari** (*near-coincident pair*) koostuu kahdesta suuntaavasta mikrofonista joiden etäisyys toisistaan on muutamia kymmeniä senttimetrejä. Havaittu stereovaikutelma syntyy sekä voimakkuuseroista että aikaeroista.

**Hajautettu stereopari** kostuu perinteisesti kahdesta pallokuvioisesta mikrofonista, joiden etäisyys toisistaan on yli puoli metriä (Eargle, 2005, 174-179). Eargle toteaa kirjassaan *The Microphone Handbook*, että vaikka lokaalisaatiotarkkuus ei pallokuvioisilla mikrofoneilla ole yhtä tarkkaa kuin koherentilla stereoparilla, on äänikentän eräänlainen "sumentuminen" usein ääniteknikoiden ja muusikoiden mieleen.

#### 4.4 Keinopäämikrofoni ja perinteinen stereoäänitys

Keinopäällä suoritettu äänitys eroaa edellä mainituista, perinteisistä stereoäänityksistä muutamasta syystä. Perinteinen mikrofonipari tähtää kaiutintoistoon, keinopää taas kuuloketoistoon. Koska keinopää mallintaa ihmisen pään muotoja ulkokorvia myöten, on edestä ja takaa saapuvalla äänellä erilaiset taajuusvasteet, joka mahdollistaa kolmiulotteisen äänikentän tallentamisen ja toiston kuulokkeiden avulla, joskin etu-takasekaannusta



Kuva 6.

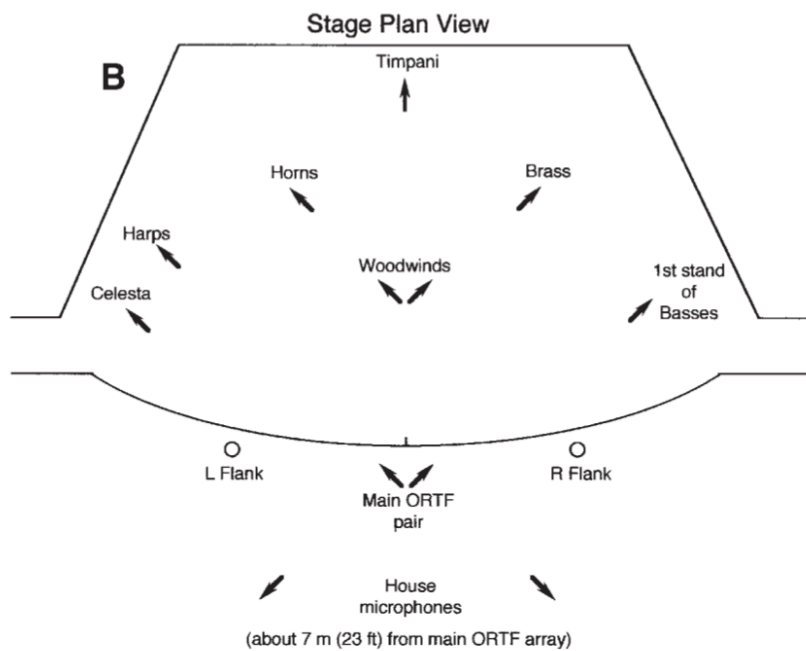
todistetusti syntyy. Hajautettu stereopari ei kuitenkaan käytännössä tallenna eroa symmetrisesti edessä ja takana olevista äänilähteistä (kuva 6). Tämä ero konkretisoituu varsinkin, jos äänilähde liikkuu taka-alalta etualalle. Toisekseen, keinopään pallokuvioisten mikrofonien välinen etäisyys on vain noin 10 cm (Neumann KU 100), joka ei mahdollista samanlaisten aikaerojen syntyä kuin hajautetulla stereoparilla, mikä johtaa kaventuneeseen äänikuvaan matalilla

taajuuksilla, erityisesti kaiutintoistossa (Rumsey, 2001, 73).

Keinopään avulla suoritetun äänityksen kaiutintoiston laatua on usein kyseenalaistettu. Kun binauraalista signaalia toistetaan kaiuttimilla, syntyy kanavien välistä ylikuulumista (*crosstalk*), joka ei toteudu kuulokekuuntelussa. Silloin alkuperäisen äänilähteen ja kuulijan välillä toteutuu kaksi akustista siirtofunktiota: keinopään HRTF ja kaiuttimia kuuntelevan kuulijan HRTF (Rumsey, 2001, 73). Rumsey kirjoittaa kuitenkin Günther Theilen vastaargumentoivan, että aivot ovat kykeneväisiä assosioimaan keinopään tuottamat voimakkuus- ja aikaerot, mikäli keinopään kuulemaa signaalia ekvalisoidaan diffuusin kentän korjainsuotimella luonnollisemmaksi, kuten on tehty Neumann KU 100 -keinopäämikrofonin kohdalla (Rumsey, 2001, 73).

Vastavuoroisesti, perinteisten stereopari-mikrofonien toisto kuulokkeilla on todettu ongelmalliseksi. Stereofonisessa kaiutintoistossa kaksi signaalia summautuu matkalla kuulijan korviin, mutta koska kuuloketoistossa nämä kaksi signaalia päätyvät korviin toisistaan eristettynä, syntyy korostunutta voimakkuus- ja aikaeroa korvien välille. Tämä johtaa luonnottomaan stereokuvaan ja ääni saattaa tuntua paikallistuvan pään sisälle (Rumsey, 2001, 59).

## 4.5 Tukimikrofonit



**FIGURE 13-13**  
Dallas Symphony  
Orchestra, recording  
Holst's *The Planets*: Side  
view (A); plan view (B).

Kuva 7. John Eargle: *The Microphone Handbook*issa esitetty esimerkki tyypillisestä orkesteriäänityksestä, jossa käytetään stereomikrofonipareja sekä tukimikrofoneja (Eargle, 2005, 208).

Orkesteriäänityksessä valitaan usein jokin aikaisemmin mainituista stereomikrofonipareista toimimaan äänityksen keskeisinä mikrofoneina, päämikrofoneina (*main microphones*). Päämikrofonien lisäksi käytetään usein leveästi sijoitettua, pallokuvioista sivumikrofoniparia (*flank*). Sivumikrofonien avulla voidaan sujuvasti hienosäätää kuulijaperspektiiviä läheisemmän pääparin ja hieman etäisemmältä tuntuvan sivuparin välillä (Eargle, 2005, 181). Stereoparien lisäksi äänityksissä käytetään useimmiten tukimikrofoneja (*accent microphone, spot microphone*). Tukimikrofonien tehtävänä on vahvistaa yksittäisten soittimien läsnäoloa kokonaisuudessa, mikäli sellaista kaivataan (Eargle, 2005, 204). Tukimikrofoni on yleensä suuntakuvioltaan kardioidi eli herttakuvio, jolloin mikrofoniin etupuoli poimii ääntä huomattavasti takapuolta paremmin. Tukimikrofonin suuntakuviolla ja

asettelulla pyritäänkin minimoimaan yksittäisen soittimen ympäriltä tulevaa vuotoa, eli muiden soittajien tuottamaa ääntä. Tukimikrofoneja voidaan sähköisesti tai digitaalisesti viivästä, jotta ne ovat aikakoherentteja päämikrofoniparin kanssa (Eargle, 2005, 205). Viiveellä kompensoidaan siis päämikrofoniparin ja tukimikrofonin välistä fyysistä etäisyyseroa toisistaan; mikäli fyysinen etäisyys on esimerkiksi 10 m, tarkoittaa se 10/343 sekunnin eli noin 29 ms aikaeroa stereoparin ja tukimikrofonin välillä. Viivästyksen tarve riippuu pääparin ja tukimikrofonin välisestä voimakkuussuhteesta miksausessa.

#### 4.6 Perinteinen miksaus

Miksaus on määritelmällisesti äänen koostamista (Videosanasto TSK 10, 1988), eli useiden äänikanavien yhteensovittamista. Nämä äänikanavat voivat olla esimerkiksi useita mikrofoneja, joilla poimitaan yhtä äänilähdettä tai erikseen äänitettyjä soittimia yhdellä tai useammalla mikrofoniilla. Äänitettä miksatessa on päämääränä yhteensovittaa musiikilliset elementit niin, että lopputulos on äänitteestä vastuussa olevien henkilöiden (säveltäjä, artisti, tuottaja, tai niiden yhdistelmä) näkemyksen mukainen.

Vaikkakin useimmat miksaajat luottavat intuitioonsa miksatessaan, on tiettyjä miksausprosesseja, joita he tietoisesti tai tiedostamattaan seuraavat (Owsinski, 2017, 55).



Bobby Owsinski luettelee miksauksen kuusi elementtiä kirjassaan *The Mixing Engineer's Handbook*:

<b>Äänenvoimakkuus</b>	Äänielementtien välinen äänentasollinen suhde
<b>Panoraama</b>	Äänielementtien sijoittaminen äänikenttään panoroimalla
<b>Syvyys</b>	Äänielementin sijoittuminen haluttuun tilaan, halutulle etäisyydelle, käyttäen hyväksi tilakaikua ja heijastuksia
<b>Taajuusalue</b>	Kuultavat taajuudet asianmukaisesti edustettuna
<b>Dynamiikka</b>	Yksittäisten raitojen tai koko miksauksen dynamiikan hallinta
<b>Mielenkiinto</b>	Mielenkiintoisen ja erityisen miksauksen luominen

(Owsinski, 2017, 58)

Äänenvoimakkuus, panoraama ja syvyys määrittävät äänielementin havaitun voimakkuuden ja sijainnin äänikentässä. Äänekäs ja kaiuton ääni havaitaan olevan lähempänä kuin hiljainen ja heijastuksia sisältävä ääni. Kaksikanavaisessa kaiutinkuuntelussa, äänielementtiä toistettaessa samalla äänenvoimakkuudella molemmista kaiuttimista, havaitaan äänen tulevan keskeltä, kaiuttimien välistä (*phantom image*). Panorointi tapahtuu amplitudipohjaisesti; laskemalla äänielementin äänenvoimakkuutta jommastakummasta kaiuttimesta, havaitaan äänen kallistuvan jommallekummalle sivulle.

Miksauksen mielenkiintoisuus tai sen saavuttaminen ei ole yksiselitteisesti määriteltävissä. Varsin usein kyse on kappaleen tärkeimmän elementin

löytämisestä ja sen painotuksesta ja korostamisesta (Owsinski, 2017, 56). Miksausta voisi verrata korttitaloon, jonka korkeimmat kortit ovat tärkeimpiä äänielementtejä ja sitä alemmat arvotetaan vähemmän tärkeiksi. Korttitalon perusta pitää olla tukeva ja kantava, jotta korkeimman kerroksen kortit voidaan asettaa niiden päälle, muuten rakennelma romahtaa. Vastaavaan tapaan täytyy miksaus kaikkien elementtien olla kohdillaan, jotta kappaleen tärkein elementti voi loistaa. Toisinaan kappaleen luonne on sellainen, missä ei ole selkeää solistia tai tärkeintä elementtiä, vaan tavoitteena on sulattaa kaikki elementit yhteen mahdollisimman vaikuttavan äänimaailman luomiseksi. Miksaus on aina sekoitus teknistä osaamista ja luovaa taidetta - illuusion luomista.

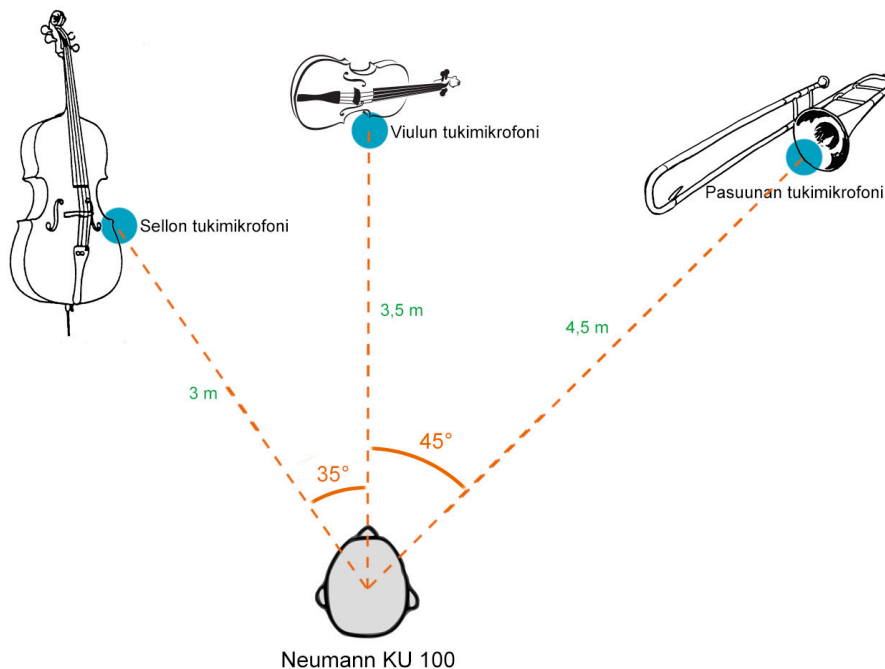
#### 4.7 Binauraalinen miksaus

Stereofonisessa miksausessa äänielementtejä yhteensovitetaan kahdelle, edessä olevalle kaiuttimelle. Myös kuulokkeille tehtävässä binauraalisessa miksausessa voi hyödyntää stereofonisen äänitteen perinteisiä miksausmenetelmiä. Suurin ero syntyy siitä, että binauraalinen äänikenttä ei nojaa amplitudipohjaiseen stereosijoitteluun, vaan HRTF-pohjaisiin ratkaisuihin. Tällöin monofonisen äänen panorointia ei toteuteta amplitudipohjaisella panoroinnilla, vaan käyttämällä binauraalista synteesiä, jonka toimintaperiaatetta käsittelemme aiemmassa luvussa.

On huomionarvoista, että käsittelemme tässä tekstissä nk. staattista binauraalista miksausta, missä kuulijan perspektiivi ei muutu päätä kääntämällä headtrackingin avulla. Tämä nk. dynaaminen binauraalinen miksaus vaatii oman työskentely-ympäristönsä ja jää tämän opinnäytetyön tarkastelun ulkopuolelle.

#### 4.7.1 Binauraalisen miksauksen lähtökohta

Tyypillinen binauraalisen miksauksen lähtökohta on keinopäämikrofonilla äänitetyn signaalin yhteensovittaminen monofonisten tukimikrofonien kanssa. Alla esimerkkitalanne binauraalisesta äänitystilanteesta:



Kuva 8. Esimerkki binauraalisesta äänitystilanteesta.

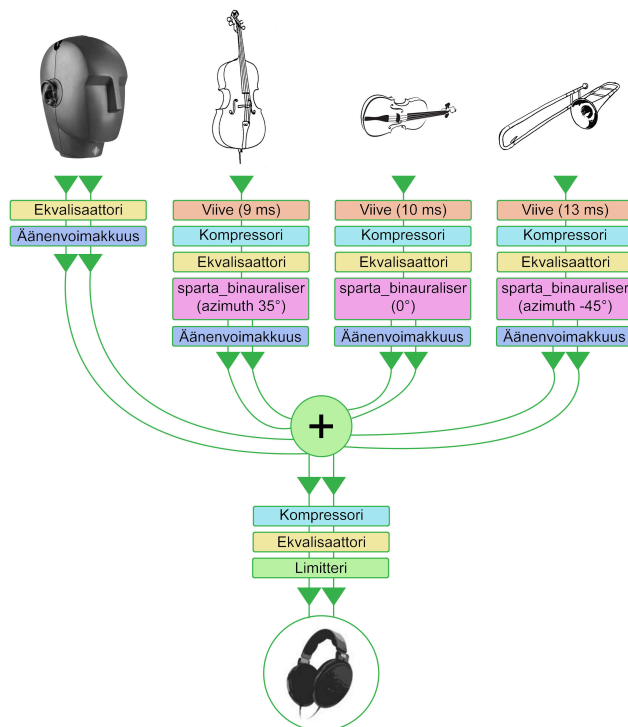
Kuvasta nähdään, kuinka sello, viulu ja pasuuna on aseteltu keinopäämikrofonin eteen. Sello on sijoitettu hiljaisimpana äänilähteenä lähimmäksi, vasemmalle 35° kulmaan. Viulu on solistina sijoitettu suoraan eteen ja pasuuna kovimpana äänilähteenä kauimmaksi, 45° kulmaan. Etäisyydet ja kulmat ovat tässä esimerkissä suuntaa antavia mutta todellisessa keinopäääänityksessä on keinopään sekä sen ympärillä olevien soittimien sijoittelu tärkeä päätös, joka tulee tehdä kuulokekuuntelun avustamana. Kuulokekuuntelu voidaan suorittaa äänitystilasta erillään olevassa tarkkaamossa tai vastaavassa tilassa tai vaihtoehtoisesti suljetuilla kuulokkeilla

keinopään lähetyksillä, jolloin kommunikaatio sekä soittajien siirtely on tehokkaampaa. Käsittelen jälkimmäistä tapaa Metsänpeitto 2 -äänitteen teosta kertovassa osiossa.

Keinopään lisäksi on jokaisen soittimen lähelle sijoitettu tukimikrofoni. Vaikka keinopään avulla saa luotua realistisen, ympäröityvän äänikentän, saattaa se yksinään jäädä etäiseksi (Sennheiser, 2018). Tukimikrofonien avulla voi poimia soittimien läsnäoloa ja mahdollistaa binauraalisen synteessin kautta soitinten äänenvoimakkuuksien hienosäätöä miksausvaiheessa.

#### 4.7.2 Signaaliketju

Kyseisen äänitystilanteen signaaliketju voisi miksausvaiheessa olla seuraavanlainen:



Kuva 9. Esimerkki binauraalisen miksausuksen signaaliketjusta.

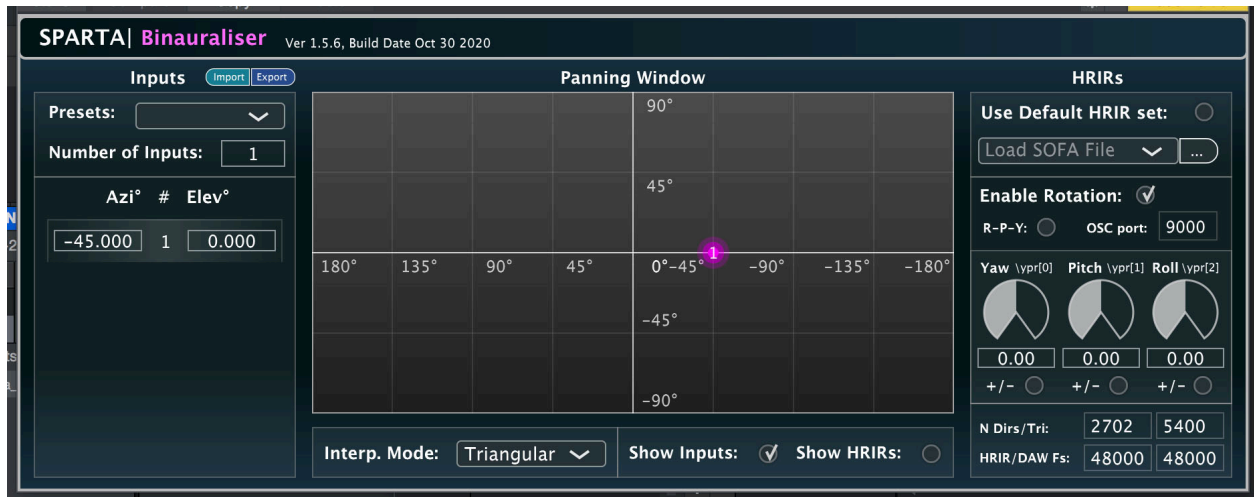
Miksauksen lähtökohdaksi voi ottaa realistisen äänikuvan toteuttamisen keinopään ja tukimikrofonien signaaleja yhdistämällä. Tämä tapahtuu ensisijaisesti viivästämällä tukimikrofoneja ja soveltamalla niihin binauraalista synteesiä.

Keinopään ja tukimikrofonin summaaminen saattaa synnyttää häiritsevästi kuuluvaa kampasuodatusta, johon tukimikrofonin viivästys voi auttaa. Jokainen tukimikrofoni tulisi lähtökohtaisesti viivästää äänilähteen ja keinopään fyysisen etäisyyden synnyttämän aikaviiveen mukaisesti (Sennheiser, 2018). Tämän voi tehdä joko äänittämällä herätteen jokaisesta tukimikrofonin sijainnista ja mittaamalla aikajanalta viive DAW:issa tai mittaamalla fyysinen etäisyys lasermittarilla tai mittanauhalla. Viiveen voi tuolloin laskea kaavalla  $\text{etäisyys (mm)} / 343$  (äänen nopeus lämpötilan ollessa 20°C), jolloin tuloksena saadaan viive millisekunneissa. DAW:eissa on usein integroituna viivettä toteuttava työkalu. Vaihtoehtoisesti voi käyttää kolmannen osapuolen viive-liitännäistä, joita löytyy useita ilmaiseksi ladattavina.

#### 4.7.3 Tukimikrofonin sijoittaminen

Tukimikrofonin sijoittaminen oikeaan sijaintiin tapahtuu binauraalista synteesiä toteuttavan liitännäisen kautta. Aiemmin mainittu SPARTA binauraliser tarjoaa tähän yksinkertaisen käyttöliittymän sekä mahdollisuuden vaihtoehtoisille HRTF-suotimille. Lähtökohtaisesti on hyvä käyttää HRTF:iä, jotka on mitattu samanmallisen keinopään avulla, kuin miksattavan teoksen äänityksissä käytetty keinopää. SPARTA binauraliser käyttää oletuksena KEMAR-keinopään avulla mittattuja HRTF:iä. [Sofaconventions.org](http://Sofaconventions.org)-sivustolta voi kuitenkin löytää ja ladata useita, eri tahojen toteuttamia HRTF-

mittauksia Neumann KU 100-keinopäästä SOFA-formaatissa. Sparta\_binauraliser osaa lukea SOFA-tiedostoja ja täten soveltaa halutun mallisia HRTF:iä. Vaihtoehtoisesti voisi käyttää Dear Realityn dearVR MICRO-liitännäistä, jossa voi valita KU 100-keinopään HRTF:n.

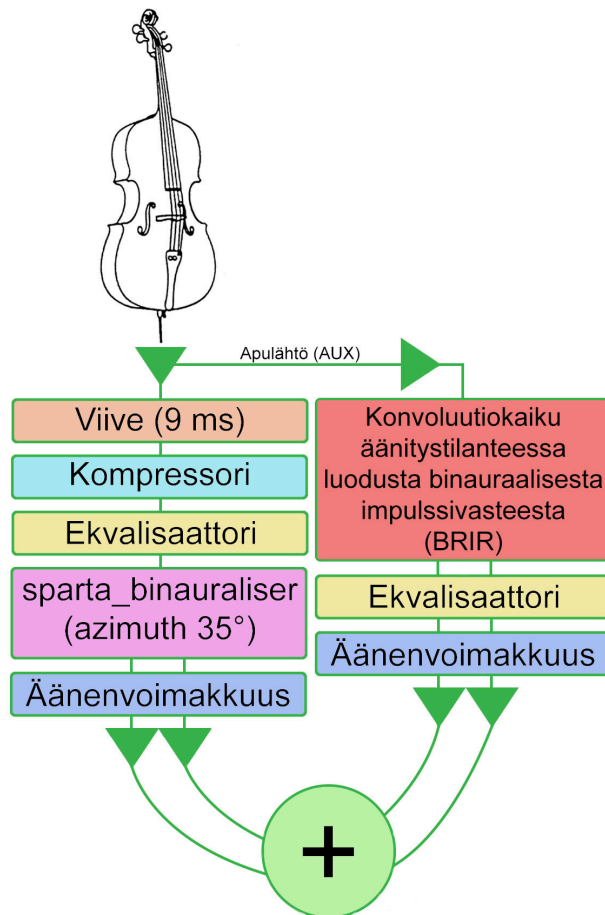


Kuva 10. Binauraalisen synteesin toteutus SPARTA Binauraliser-liitännäisellä.

Soittimen tukimikrofoni sijoitetaan binauraalisesti samaan sijaintiin, kuin mistä soitin havaitaan tulevan keinopään stereoraidasta. Vaikka tarkka kulma olisi mitattu ja tiedossa, on sijoitus hyvä toteuttaa korvakuulolta (Sennheiser, 2018). Vaihtelemalla tukimikrofonien äänenvoimakkuutta voidaan etsiä haluttua balanssia keinopään ja jokaisen tukimikrofonin signaalien välille. Tukimikrofonin binauraalinen syntetisointi ei kuitenkaan aina ole välttämätöntä. Keskellä sijaitseva, miksauksessa fokuksen keskipisteenä oleva soitin tai lähinnä matalista taajuuksista koostuva soitin saattaa palvella haluttua kokonaisuutta paremmin monofonisenä signaalina (Sennheiser, 2018). Monofoninen äänilähde binauraalisten signaalien seassa saattaa myös luoda toivottua kontrastia.

#### 4.7.4 Binauraalisen impulssivasteen käyttö tukimikrofonin kanssa

Hiljaisimmat soittimet saattavat joskus vaatia runsasta tukimikrofonin äänenvoimakkuuden nostoa. Mikäli äänitys on suoritettu kaikusissa tilassa, voi tukimikrofonin nosto häiritä keinopään kautta välittyvää soittimen tilavaikutelmaa, ts. suoran äänen ja heijastusten välistä suhdetta. Tällöin voi olla suotavaa lisätä keinotekoista kaikua apulähdön (*aux*) välityksellä. Mikäli äänitysvaiheessa on äänitetty keinopään tallentamana impulssivaste (BRIR) eri soittajien sijainnista, voidaan niiden avulla rekonstruoida realistisia, soittajien sijainteihin paikallistuvia konvoluutiokaikuja. Keinotekoista tilakaikua voi myös lisätä perinteisessä miksauksessa käytetyin keinoin, mikä voi tilanteesta riippuen kuulostaa paremmalta ilman binauraalista synteesiä (Sennheiser, 2018).



Kuva 11. Esimerkki binauraalisen impulssivasteen käytöstä tukimikrofonin kanssa.

## 4.8 Binauraalisen äänitteen ongelmat

Binauraalista signaalia tuottavia tuotteita - mikrofoneja tai ohjelmistoja - markkinoidaan usein todellisuutta autenttisesti mallintavina, kolmiulotteisuutta tarjoavina elämyksinä, joskus jopa tajunnanräjäyttävinä kokemuksina. Binauraalisen äänitteen tuottamiseen liittyy kuitenkin paljon tunnistettuja ongelmia, joista osa liittyy suuntakuulomme toimintatapoihin, osa yleisön kuuntelutottumuksiin.

### 4.8.1 Tilallinen orkestrointi

Staattinen binauraalinen miksaus ei reagoi kuuntelijan pään liikkeisiin, jolloin useat äänen eri tulokulmat kolmiulotteisessa ulottuvuudessa ovat kuulijalle haastavia lokalisoitavia. Binauraalisen äänitteen teossa on hyvä olla tietoinen ongelmallisista tulokulmista ja hyödyntää yleisesti hyvin lokalisoituvia tulokulmia. Cheng & Wakefield kutsuvat näitä optimaalisia tulokulmia termillä "*spatial sweet spots*", joita tilallinen orkestroija ("*spatial orchestrator*") osaa eri tekniikoin hyödyntää (Cheng & Wakefield, 2001).



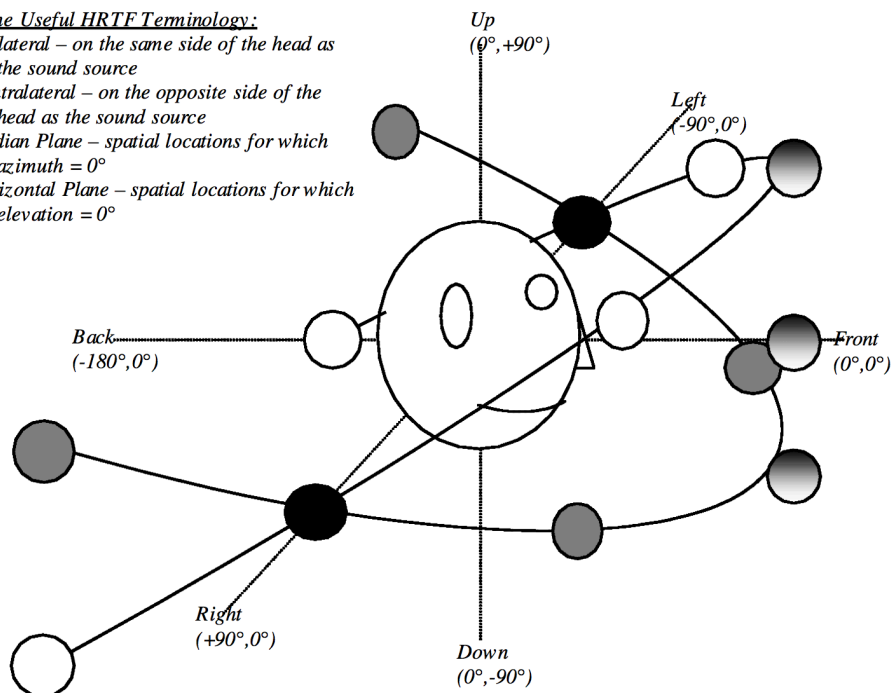
Some Useful HRTF Terminology:

*Ipsilateral* – on the same side of the head as the sound source

*Contralateral* – on the opposite side of the head as the sound source

*Median Plane* – spatial locations for which azimuth = 0°

*Horizontal Plane* – spatial locations for which elevation = 0°



●	Excellent externalization; excellent spatialization	◐	Fair externalization, but spatialization can be confused with ○
○	Good externalization; good spatialization	◑	Poor externalization; sound collapses into head

Kuva 12. Esitys eri tulokulmien lokalisointivaihtelevasta laadusta (Cheng & Wakefield, 2001).

Cheng & Wakefield korostavat myös äänilähteen spektrin merkitystä binauraalisessa synteesissä, etenkin liikettä luodessa. Laajakaistaisen kohinan liike binauraalisessa äänikentässä on yleisesti ottaen vakuuttavampaa kuin kapeakaistaisen signaalin. Koska ihmisääni on äänilähteenä suhteellisen kapeakaistainen, ehdottavat he kohinan kaltaisen ilmaisun kokeilemista, esimerkiksi kuiskaamalla tai "s"-äänteitä korostamalla (Cheng & Wakefield, 2001).

#### 4.8.2 Binauraalinen äänite marginaalissa

Populaarimusiikissa on toistaiseksi vain harvoin käytetty hyväksi binauraalista tekniikkaa äänitteen teossa. Toisin kuin perinteisen äänityksen ja miksauksen kohdalla, on vaikeata löytää kattavaa kirjallisuutta binauraaliseen musiikin äänitykseen ja miksaukseen liittyen (Simon & Luck, 2018). Binauraalisen äänitteen tuottamisen esteenä saattavat olla tekniset epäkäytännöllisyydet; tukimikrofonien sijoittaminen äänikenttään binauraalisen synteesin avulla on perinteisen miksauksen panorointiin verrattaessa merkittävästi epäkäytännöllisempää. Myös binauraalisen musiikin ongelmallinen toisto kaiuttimilla nostetaan esiin mahdolliseksi ongelmaksi (Farina & Grenier, 2002).

Kuuntelijatutkimusten tulokset viimeisten vuosikymmenten aikana vaikuttavat olevan hieman ristiriitaisia binauraalisen miksausten hyödyistä suhteessa stereofoniseen miksaukseen. Farina & Grenier tutkivat vuonna 2002 kuuntelijoiden havaintoja näiden kahden miksaustavan välillä. Tulosten mukaan binauraalinen miksaus voittaa tilallisuudessa mutta häviää äänensävyllisessä arvioinnissa. Vaikka äänenlaadusta välittävät kuulijat havaitsivat eroa tilallisuudessa ja äänen ympäröivyydessä, ei se vaikuta olevan tarpeeksi suuri syy suosia binauraalista äänitettä stereoäänitteen sijasta (Farina & Grenier, 2002). Tutkijat ehdottavat ratkaisuksi hybridimallia, missä sovellettaisiin pääasiassa stereofonisia miksaustekniikoita ja vain pienissä määrin binauraalisia tekniikoita. Tuorempi tutkimus vuodelta 2018 tosin toteaa kuuntelijoiden suosineen merkittävästi binauraalista miksausta stereofonisen sijaan (Simon & Luck, 2018).

Miksi musiikkiäänite tulisi sitten toteuttaa binauraalisena? Tämä on hyvä kysymys. Hieman helpompaa siihen on vastata, mikäli äänitettävä sävellys on alun perin esitetty tilallisena kokemuksena, kuuntelijaa ympäröivillä muusikoilla, kuten tässä opinnäytteessä käsiteltävien sävellysten kohdalla. Kun tavoitellaan äänitteen avulla esitysversiota vastaavaa kuulijakokemusta, on perusteltua pyrkiä kolmiulotteiseen, kuulokkeiden avulla havaittavaan äänikenttään, edessä sijaitsevien stereokaiuttimien sijaan.

## SÄVELLYKSET

Sekä Luodon että Sallisen sävellykset olivat molemmat jo esitettyjä, tilallisia sävellyksiä, joiden ääniteversioita lähdettiin toteuttamaan esitysversioiden pohjalta. Suunnitteluvaihe oli molempien kohdalla erityisen tärkeä: binauraalisen äänitteen tekoa varten ei ole läheskään yhtä kattavasti tietoa tai vakiintuneita käytäntöjä kuin perinteisen populaarimusiikin tai klassisen musiikin kohdalla. Tämä tarjosi itselleni uusia haasteita, joita käsittelen yksityiskohtaisesti seuraavissa kappaleissa.

## 5 UXO



*Kuva 13. UXO:n katsomo, valoa läpäisemättömän teltan sisällä. (Kuva: Susanna Kuoppala)*

### 5.1 Esitysversion esittely

Walter Sallisen säveltämä teos UXO (*eng.lyh. unexploded ordnance*) viittaa nimellään räjähteisiin, jotka eivät ole suunnitellusti räjähtäneet laukaisun jälkeen ja ovat aiheuttavat tästä syystä jatkuvaa räjähdysvaaraa. Sallinen tutkii sävellyksellään jatkuvan kiihtyvyyden kokemusta apunaan mm. Shepardin asteikko; ilmiötä, jossa havaittu sävel vaikuttaa nousevan loputtomasti (Cook, 2001, 67).

UXO esitettiin kesällä 2019 Helsingissä, Suvilahden Kattilahallissa. Yleisö koki teoksen - tai kuten Sallinen kuvailee: "*esityksellisen äänirituaalin*" -

täydellisessä pimeydessä, valoa läpäisemättömän teltan sisällä. Noin tunnin mittaisen esityksen aikana yleisöä ympäröi seuraavat esiintyjät ja äänilähteet:

**4 lyömäsoittajaa**, jotka soittavat klassisten lyömäsoitinten kuten patarumpujen ja bassorumpujen lisäksi mm. kimbleä, kumikanaa, saksia ja mattopiiskaa. Teoksen alussa kuorolaiset työntävät lastauskärryjä teltan ympäri ja kyydissä olevat lyömäsoittajat laahaavat eri materiaaleja (mm. styrokso, kantoliina) perässään ääntä luodakseen, kitkan avulla. Muuten lyömäsoittajat tuottavat ääntä staattisilla sijainneillaan (*kuva 14: P1-P4*)

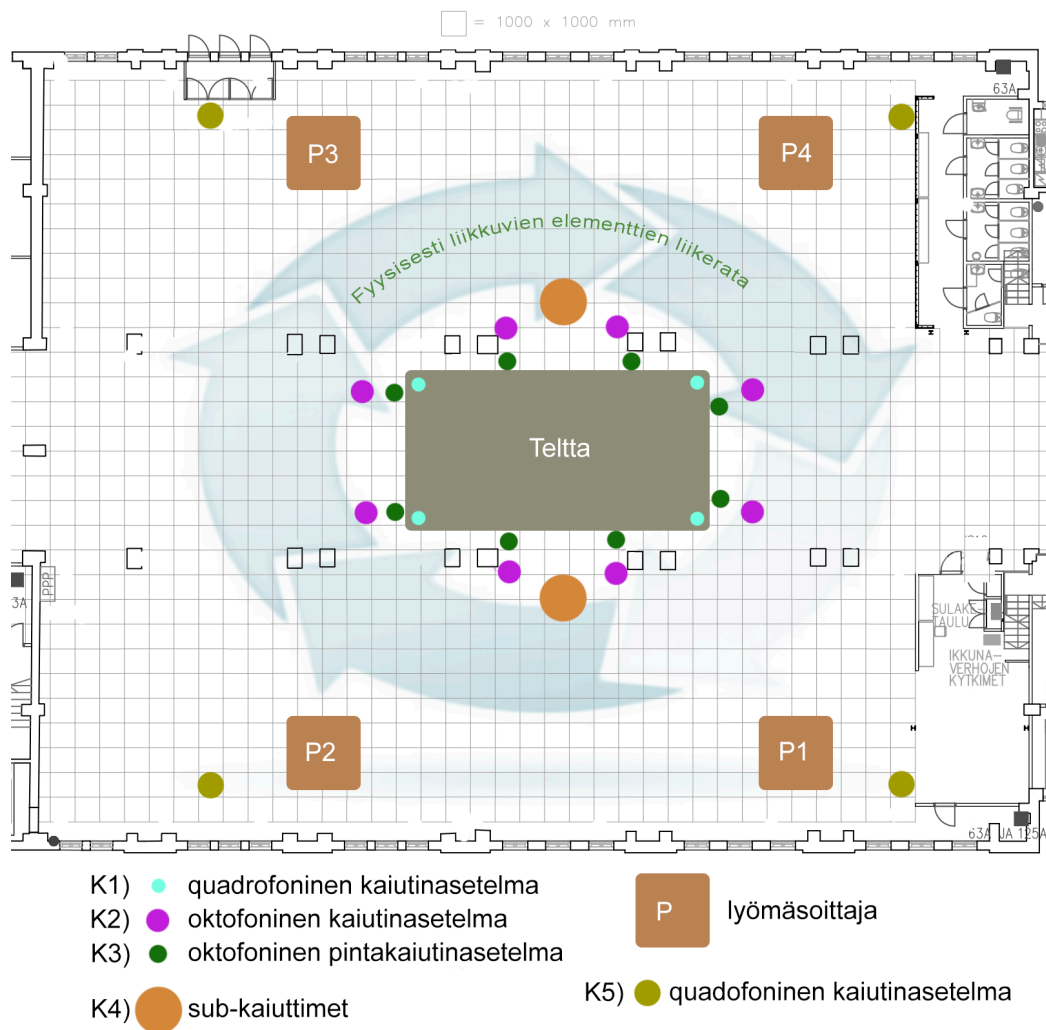
**12 kuorolaista**, joiden tuottama äänimateriaali muuntuu hiljaisesta ja hauraasta äänimassasta kovaääniseksi ja aggressiiviseksi julistamiseksi teoksen aikana. Kuorolaiset liikkuvat hallissa teoksen aikana laajalla liikeradalla ja ääntä tuottaen, mikä on tarkkaan nuotinettu Sallisen toimesta.

**26 kaiutinta**, jotka jakautuivat 5 kaiutinryhmään:

- K1) Teltan sisällä sijaitseva quadrofoninen kaiutinasetelmä, joka toisti lähinnä vain kohinaa. Ei liikettä simuloivia tapahtumia.
- K2) Teltan ulkopuolella sijaitseva oktofoninen kaiutinasetelmä, joka ympäröi telttaa. Näillä kaiuttimilla luotiin liikettä simuloivaa ääntä teoksen loppupuolella.
- K3) Teltan ulkopuolella sijaitseva oktofoninen pintakaiutinasetelmä, värähtelevänä pintana käytettiin marssirumpuja. Tärkeä rooli muutamassa kohdassa teosta.

K4) Sub-kaiutinpari teltan ulkopuolella. Tehosteääni-tyyppinen rooli muutamassa kohdassa teosta sekä elektronisten osuuksien bassotaajuuksien toistosta.

K5) Hallin laidoilla sijaitseva quadrofoninen kaiutinasetelma. Toimi teoksessa kauimpana äänilähteenä ja käytettiin lähinnä tehostamaan tilan kokoa, täyteläisyyttä ja etäisyysvaikutelmaa.



Kuva 14. Kuvaus UXO:n esitysversiona kultujen äänilähteiden sijainneista.

Esityspaikkana toimiva Kattilahalli on aikaisemmin toiminut höyryvoimalana Suvilahden energiantuotantoalueen ja on alueen suurin tila. Rakennusmateriaalina on käytetty teräsbetonia. Halliosan pinta-ala on 1150 m<sup>2</sup>, korkeus lähes 10 m (Suvilahti, 17.1.2021; Helen Oy, 17.1.2021) ja jälkikaiunta-aika (RT60) n. 2 sekuntia.

Esitystä edelsi tekijäryhmän useat tutustumiskäynnit, joissa pohdittiin lavasteratkaisuja sekä tutustuttiin hallin akustiikkaan. Sallinen kertoo haastattelussa, että Kattilahallin varmistuttua esityspaikaksi ja käytyään tutustumassa tilaan, ymmärsi hän tilan kapasiteetin tarjoamat käyttömahdollisuudet - varsinkin liikkeen osalta - sävellyksessään. Koko työryhmä harjoitteli ja rakensi esitystä Kattilahallissa neljän päivän ajan ennen ensi-iltaa. Tämän aikana Sallinen kuunteli harjoituksia ensi-sijaisesti hallin keskellä sijaitsevan teltan sisällä, saadakseen yleisön kokeman kuuloperspektiivin ja pimeysvaikutelman.

Sallinen kertoo, että pimeys oli alusta alkaen osa teoksen tematiikkaa. Hän kuvailee, kuinka hänelle miellelyhtymä räjähtämättömästä pommista on hyvin jännitteinen tila, jota voisi ilmaista jatkuvalla kiihtyvyydellä. Tätä seurasi ajatus, että pimeydessä kiihtyminen voisi olla ruumiillisempi kokemus; että *"pimeydellä saisi vahvistettua tunnetta kiihtyvyydestä"* koska yleisö ei näe esiintyjä. Myös päätös yleisöä horisontaalisesti ympäröivästä äänestä syntyi pimeyden inspiroimana ja ajatuksesta että pimeys ja tilallisuus täydentäisivät toisiaan. Idea esiintyjien tuottamasta liikkeestä taas syntyi, kun hän havahtui teltan ympärillä olevan tilan määrään. Hän painottaa myös elektroakustisen



musiikin opiskelun ja akusmaattisten konserttikokemusten vaikuttaneen päätökseensä säveltää liikkuvaa ääntä, niin esiintyjille kuin myös kaiuttimille<sup>4</sup>.

**SCORE**

0 **INTRO**      1 **JAKSO 1**

□ = ca 16 sec accel.-----

Percussion 1 & 1  
Percussion 2 & 2  
Percussion 3 & 3  
Percussion 4 & 4

The score shows four percussion parts (1 & 1, 2 & 2, 3 & 3, 4 & 4) with rhythmic notation. Annotations include 'dolly object 1' and 'dolly object 2' with arrows indicating movement. 'strap 1' and 'dol' are also noted.

A central black rectangle labeled 'TENT' is surrounded by 12 directional markers: NW, N, NE, E, SE, S, SW, W, and three unlabeled markers at the top and bottom. A box at the bottom right contains the text 'VISUAL INSTRUCTIONS FOR CHOREOGRAPHY'.

Kuva 15. Näyte Walter Sallisen nuotinnusjärjestelmästä.

Sallinen kehitti UXO:n esitysversiona varten oman nuotinnusjärjestelmänsä, jonka turvin lyömäsoittajat ja kuorolaiset liikkuvat Kattilahallissa. Kahdeksalla eri ilmansuunnalla on oma paikkansa nuottiviivastolla (kuva 15).

## 5.2 Äänityksen suunnittelu

UXO:n äänitystä suunniteltiin kolmihenkisessä työryhmässä, johon kuuluivat itseni lisäksi äänitteen taiteellinen tuottaja Taavi Oramo ja teoksen säveltäjä Walter Sallinen. Äänitystilaksi harkittiin aluksi esityspaikkana toiminutta Kattilahallia, mutta hallin vieressä olevalta autotieltä kantautuvat häiriöäänet koettiin ongelmallisiksi. Päätimme lopulta toteuttaa äänitykset studioympäristössä, koska Sallinen ei kokenut Kattilahallin tapaisen, suuren

<sup>4</sup> Kaiuttimien liikkuva ääni ei viittaa fyysisesti liikkuvaan kaiuttimeen, vaan amplitudipohjaiseen panorointiin (*equal power* tai *constant power*) monikanavajärjestelmässä.

tilakaiun olevan ensisijaisen tärkeää vaan halusi päinvastoin mahdollisuuden joustavaan jälkityöskentelyyn.

Äänitystä suunniteltiin sävellyksen osa kerrallaan, miettien kuinka jokaisen osan sisältämä tilallinen materiaali kannattaisi aika- ja budjettiraamien sisällä äänittää. Kun Musiikkitalon studion ison äänityshuoneen ja keinopäämikrofoni Neumann KU100:n varaus varmistui, ohjasivat työkalujen ja tilan asettamat mahdollisuudet ja rajoitukset suunnittelun suuntaa.

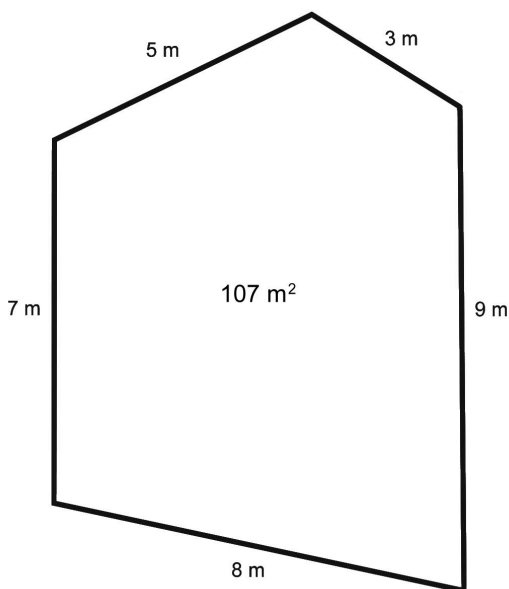
Päätimme toteuttaa perkussio-osuudet keinopää- ja tukimikrofonien avulla. Kuoron osuus taas toteutettaisiin lähimikrofonien ja jälkeempään toteutettavan binauraalisen synteesin kautta.

Syitä tähän oli muutamia. Yksi niistä oli se, että esitysversion 12 kuorolaisen sijaan studioäänityksissä oli budjettisyistä vain 6 kuorolaista, 3 mies- ja 3 naislaulajaa. Kun esitysversiossa kuorolaiset olivat jaettuna neljään kolmihenkiseen ryhmään, oli äänitysversiossa tarkoitus tehdä päällekkäisäänitysten avulla neljä kuusihenkistä ryhmää, ja saada enemmän "massaa". Laulajien materiaalin dynamiikkasisältö vaihteli myös huomattavasti, kuiskauksesta rajuun huutoon. Halusimme äänittää laulajien kuiskaukset lähimikrofonilla. Mikäli kuorolaiset olisi äänitetty keinopäällä, olisi laulajien välistä balanssia ollut mahdotonta hienosäätää jälkikäteen. Sävellyksen alkupuolen kuorolaisten liike olisi myös ollut varsin monimutkaista toteuttaa keinopään avulla tarkasti; yhdenkin kuorolaisen virhe mitätöisi muiden suorituksen, koska keinopään kaksikanavaisesta signaalista ei olisi ollut mahdollista vaimentaa virheen tekijää. Myös koronapandemialla oli vaikutuksensa, joka helpotti päätöstä - erillisillä lähimikrofoneilla mahdollistimme asianmukaisten turvavälien noudattamisen.

Teoksen alussa kuullaan myös eri objektien kuten styroksin ja maton liikkeen aiheuttamaa kitkaa. Objektit päätettiin äänittää haulikkomikrofonilla mikroskooppisen detaljin saavuttamiseksi.

Myös esitysversiossa toteutetut oktofoniset elektroakustiset osuudet päätettiin äänittää Musiikkitalon studion isossa äänityshuoneessa. Ideana oli kohdella äänilähteinä toimivia kaiuttimia soittimien tavoin; kaiuttimien keskelle sijoitetun keinopään lisäksi jokaiselle kaiuttimelle sijoitettaisiin tukimikrofoni. Miksausvaiheessa keinopään ja binauraalisesti syntetisoitujen tukimikrofonien signaalit yhdistettäisiin niin, että kuulovaikutelma olisi sekä tilallinen että läsnäoleva.

### 5.3 Iso äänityshuone äänitystilana



*Kuva 16. Ison Äänityshuoneen mittasuhteet*

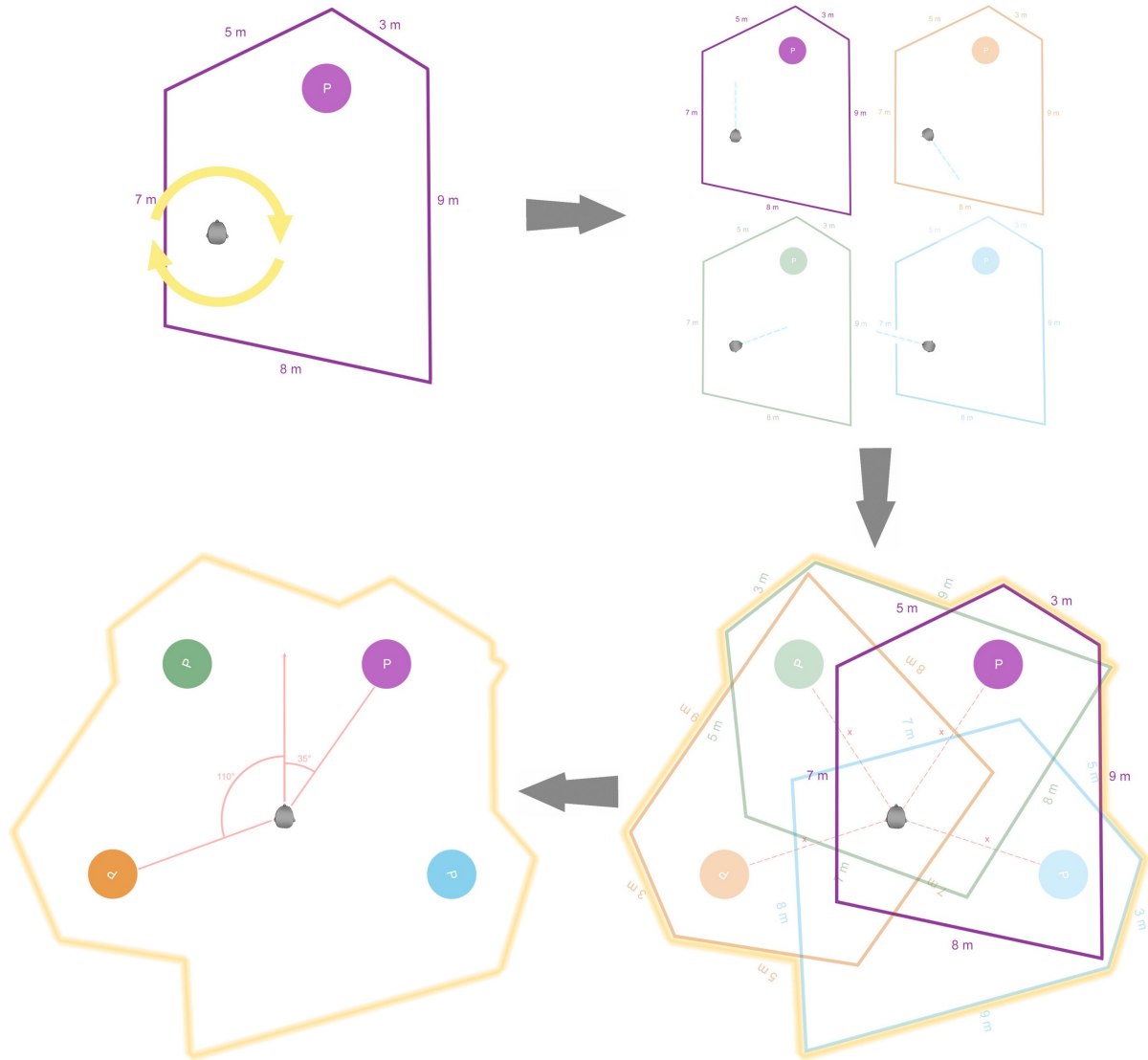
Yleisradio tilasi UXO:sta radioversion jo kesällä 2019 mutta äänitykselle sopivan tilan löytäminen tuotti pitkään ongelmia. Tavoitteena oli löytää äänitystila, joka olisi tarpeeksi suuri patarumpujen ja muiden perkussoiden tilallista äänitystä ajatellen. Karsittuamme vaihtoehtoja päädyimme lopulta Musiikkitalon isoon äänityshuoneeseen: äänitystila ja laitteet olivat itselleni hyvin tuttuja ja Neumann KU100 -keinopää oli paikan päällä vuokrattavissa. Ison äänityshuoneen akustiikka on sopivan hallittu mutta luonnollinen.

## 5.4 Perkussioiden studioäänitys

Esitysversiona perkussiosoitajien soittopisteet sijaitsivat yli 25 metrin päässä toisistaan. Ison äänityshuoneen pisimmän seinän pituus taas on n. 9 metriä. Oli siis selvää, ettei vastaavaa etäisyysvaikutelmaa saisi sijoittamalla keinopäätä keskelle huonetta ja soittopisteitä huoneen nurkkiin, tasaetäisyyksille, esitysversion tyyliin. Tällöin keinopään etäisyys soittopisteisiin olisi korkeintaan muutamien metrien luokkaa. Tämä tuottaisi liian läheisen etäisyysvaikutelmaa, sillä kuoron laulaman tekstin selkeys oli teoksen kannalta tärkeää ja liian lähellä olevat perkussio-osuudet saattaisivat vaikeuttaa tekstin kuulemista ja ymmärtämistä. Oli siis keksittävä toinen ratkaisu. Päädyimme kokeilemaan seuraavanlaista toteutusta:

- 1) Perkussio-osuudet äänitetään erikseen, yhden soittajan stemma kerrallaan.
- 2) Soittopiste pystytetään huoneen toiseen päähän, keinopää toiseen. Jokaisen stemman jälkeen keinopäätä käännetään niin, että perkussioista saapuvan äänen tulokulma keinopään korvina toimiviin mikrofoneihin nähden muuttuu. Pälletäisäänitysten avulla syntyy vaikutelma neljästä eri kulmissa olevasta perkussiosoittopisteestä, jotka ovat teoksen kokonaisuutta ajatellen riittävän etäällä keinopäästä (*kuva 17*).
- 3) Esitysversiona perkussiot sijaitsivat symmetrisesti  $\pm 45^\circ$  ja  $\pm 135^\circ$  kulmissa. Äänitysvaiheessa oli huolta siitä, että kyseisten tulokulmien käyttö saattaisi johtaa vasemman ja oikean puolen

liialliseen eriytymiseen ja että etuala jäisi liian "tyhjäksi".  
Päädyimme kaventamaan kulmia asteisiin  $\pm 35^\circ$  ja  $\pm 110^\circ$ .



Kuva 17. Konseptuaalinen kuvaus äänitystekniikasta, missä kääntämällä keinopäätä, ts. muuttamalla äänen tulokulmaa, ja päällekkäisäänittämällä saadaan samoilla tilallisilla etäisyyksillä luotua ympäröivä kuulokokemus. Konseptuaalisena tuloksena saadaan todellisen äänitystilan mitat ylittävä, kuvitteellinen äänityshuone; vaikka todellisen tilan ensiheijastukset eivät mihinkään katoa, luo äänitystekniikka halutun etäisyys- ja suuntavaikutelman neljästä äänilähteestä.

Äänitysten aikana olimme tyytyväisiä edellä kuvatun tekniikan tuloksiin. Tämä äänitystapa mahdollisti kaikissa stemmoissa osittain samoja soittimia käyttäneen perkussioasetelman paikallaanpitämisen ja etäisyyden säilyttämisen tulokulmien muutoksista huolimatta. Koska äänitimme perkussiot yksi stemma kerrallaan, kuuntelimme myös yhtä stemmaa kerrallaan. Tällöin havaitsimme stemmojen paikallistuvan haluttuihin tulokulmiin. Halutut kulmat olivat  $35^\circ$ ,  $-35^\circ$ ,  $110^\circ$  ja  $-110^\circ$  azimuth- akselilla. Päädyimme näihin tulokulmiin työryhmän keskustelun tuloksena; pelkona oli, että äänikuvan suora etuala ( $0^\circ$ ) jää häiritsevän tyhjän kuuloiseksi. Taka-alalla taas pyrimme siihen, etteivät tulokulmat olisi liian takana, vaan enemmänkin sivuilla. Nyt jälkikäteen ajateltuna uskon, että näköyhteytemme äänityshuoneeseen on hieman vahvistanut vaikutelmaa äänilähteiden hyvästä lokalisaatiosta halutuista tulosuunnista. Miksausvaiheessa oli usein ongelmallista tunnistaa stemmoja toisistaan. Tämä ilmeni etu-taka-sekaannuksena, jolloin esimerkiksi vasemmalla edessä oleva stemma sekoittui vasemmalla takana olevaan stemmaan. Tämä korostui etenkin rumpusoittimilla, jossa oli selkeä sävel.

**L**

**P.1** D.W. T *simile* **Chicken toy** x 4

**P.2** D.W. ST **Tom** x 4

**P.3** WH **Death whistle** (death whistle) x 4

**P.4** D.W. T

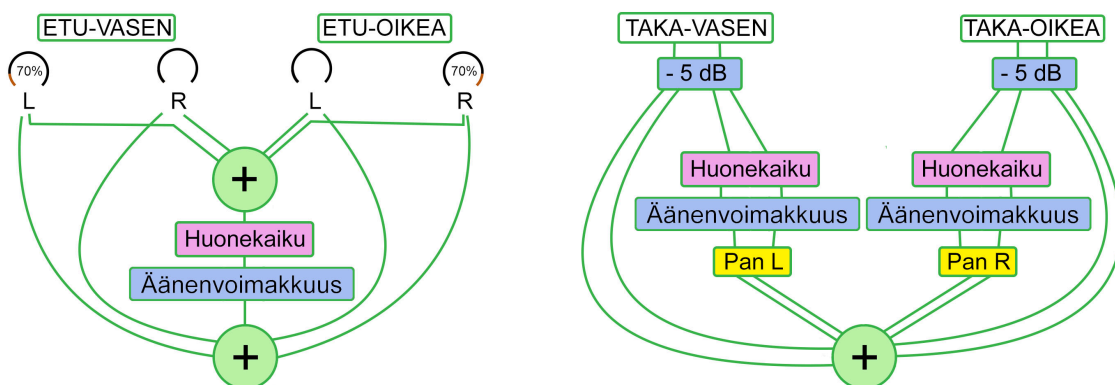
*Kuva 18. Katkelmaan liittyvää perkussiostemmojen nuotinnusta. P.1 eli perkussiostemma 1 sijaitsee oikealla edessä, P.2 vasemmalla takana, P.3 oikealla takana ja P.4 vasemmalla edessä.*

Äänitiedosto UXO\_PERC\_1 (liite 1) on katkelma neljän perkussiostemman summauksesta edellä mainitulla äänitustekniikalla. Äänitiedosto UXO\_PERC\_2 (liite 2) on vastaava katkelma, mutta Ylälle lähetetystä lopullisesta miksauksesta, josta kuulee myös muita sävellyksessä tässä kohtaa esiintyviä äänielementtejä, kuten kuoroa ja kumikanaa. Äänitiedosto UXO\_PERC\_3 (liite 3) on tätä tutkielmaa varten toteutettu uusi versio samasta katkelmasta. Pyrkimyksenäni oli kokeilla, voisiko etu-taka-sekaannusta vähentää keinoilla, joita en ollut äänitettä miksatta soveltanut.

Äänitiedostot UXO\_PATA\_1 (liite 4), UXO\_PATA\_2 (liite 5) sekä UXO\_PATA\_3 (liite 6) ovat katkelmia patarumpu-osuudesta, joka toteutettiin samoilla äänitysmetodeilla, kuin edellä mainitut perkussiostemmat.

#### 5.4.1 Perkussioiden äänikuvan manipulaatio jälkityönä

Äänitiedostossa UXO\_PERC\_3 ja UXO\_PATA\_3 olen käyttänyt seuraavanlaista prosessointia, minkä tavoitteena on vähentää etu-taka-sekaannusta sekä täyttää suoraan edestä havaittua "reikää".



Kuva 19. UXO\_PERC\_3 toteutetun prosessoinnin signaalikaavio.



Etualalla sijaitsevien stemmojen stereolevitystä on manipuloitu amplitudipanoroinilla niin, että ääni paikallistuu hieman kapeammin, vähemmän sivuille. Tämän lisäksi molemmat stemmat lähettävät apulähdön avulla signaalia monofoniselle huonekaiulle, joka jää monofoniseksi signaaliksi ja joka mielestäni suoraan ääneen yhdistettynä paikallistuu suoraan eteen. Kokeilin myös monokaiun sijoittamista keskelle binauraalisen synteessin avulla, mutta mielestäni ääni värityy tällöin liikaa, eikä lokalisaation suhteen tästä ole mielestäni kokonaisuudessa hyötyä. Monokaiun äänenvoimakkuuden olen säätänyt niin, että keskellä havaittu "reikä" täyttyy, mutta monokaiku ei nouse esiin yksittäisenä elementtinä.

Takalalla sijaitsevia stemmoja hiljensin hieman suhteessa etualalla oleviin. Tämä tuntui jo vähentävän hieman etu-taka-sekaannusta; tuntui luonnolliselta ja ehkä jonkinlaiseen ennakko-oletukseen perustuvalta, että edestä tuleva ääni on voimakkaampaa kuin takaa tuleva ääni. Tämän lisäksi lähetin kumpaakin taka-stemmaa omiin huonekaikuihinsa, jotka panoroin täysin omille laidoilleen, vahvistamaan vaikutelmaa leveästi saapuvasta äänilähteestä.

Havaitsen kokeiluni auttavan hieman etu-taka-sekaannuksen suhteen ja keskellä olevan "reiän" täyttyvän riittävästi. Eksternalisaatio kärsii mielestäni prosessissa hieman, joten on huomattavaa, että kyseessä on kompromissi, joka tulee toteuttaa vain, mikäli hyöty koetaan haittaa suuremmaksi.

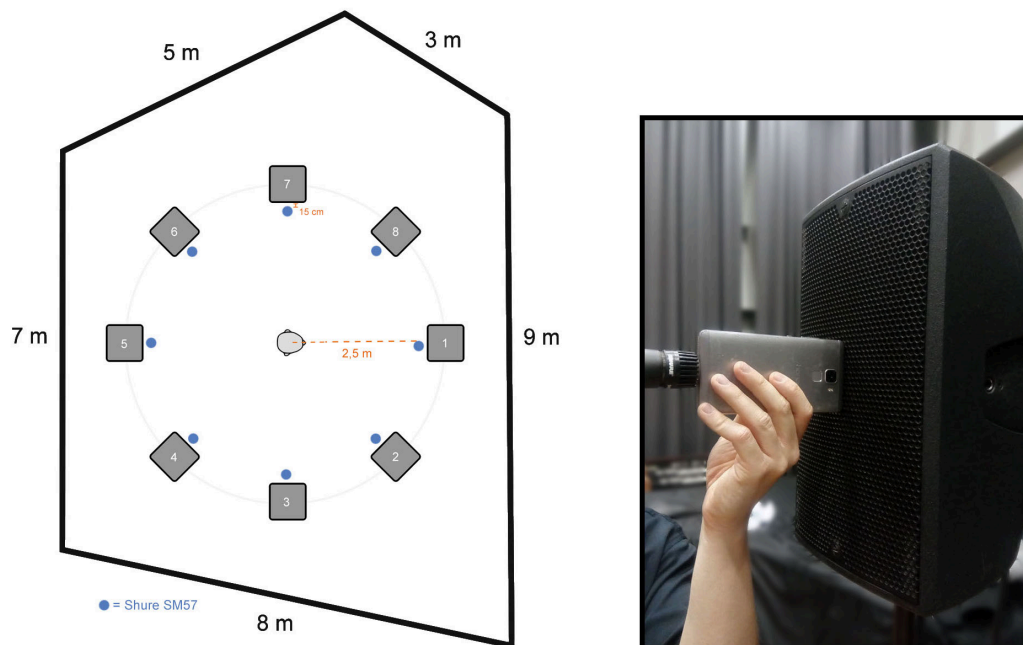
## 5.5 Studioäänitys ja binauraalinen synteesi: loppurotaatio ja aktuaattorit

Esitysversiossa yleisötelttä ympäröivät kaksi oktofonista kaiutinasetelmaa, toinen koostuen kahdeksasta d&b:n E8 kaiuttimesta kuuntelijan pään korkeudella, toinen kahdeksasta aktuaattorista eli pintakaiuttimesta, joiden

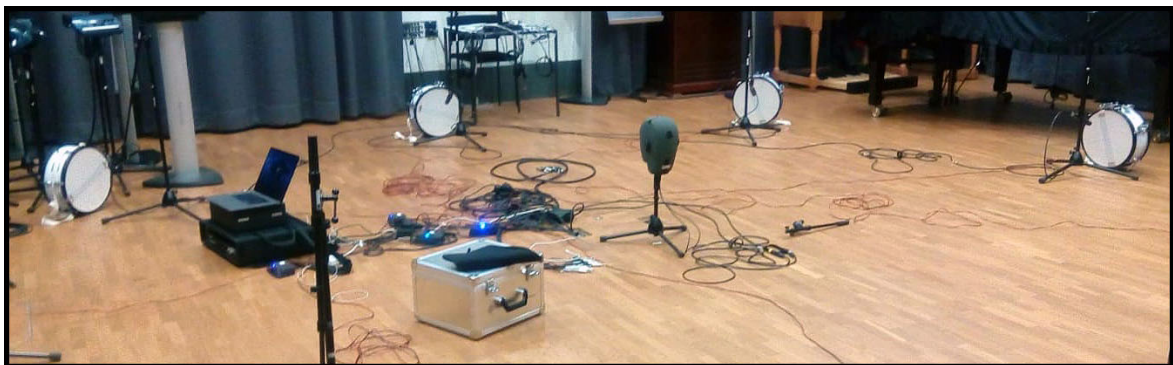
värähtely lattialle sijoiteltuihin marssirumpuihin kiinnitettynä tuotti särisevää ja kohisevaa akustista ääntä. Kummankin asetelman tuottama äänimateriaali oli vaikutelmaltaan ympäröivää; kaiuttimista kuultiin etukäteen tuotettu, "loppurotaatio"-nimellä kutsumamme nauha, joka tutki kiihtyvyyttä kuuntelijan ympärillä havaitun pyörivän liikkeen kautta. Lattialla olevat aktuaattorit taas tuottivat pistemäisesti ympärillä syntyviä aaltomaisia äänitapahtumia herättämällä marssirumpujen mattojen värähtelyä siniaallon avulla.

Kaiuttimien etäisyys keskellä sijaitsevasta keinopäästä maksimoitiin huoneen koon mukaisesti. Keinopään korkeus säädettiin äänilähteiden korkeuden mukaisesti; d&b:n kaiuttimien signaalia äänittäessä noin puolentoista metrin korkeudelle, aktuaattoreita äänittäessä 30 cm:n korkeudelle.

Neumann KU100-keinopään lisäksi sijoitin 8 kpl dynaamisia Shure SM57 tukimikrofoneja, jokaisen äänilähteen eteen, 15 cm:n päähän lähteestä. Mikrofonivalinta perustui siihen, että kyseistä mikrofonimallia oli helposti saatavilla 8 kappaletta sekä siihen, että kitaravahvistimen edessä usein käytettävä SM57 voisi tuoda haluttua korostettua läsnäoloa ja mielenkiintoa kokonaisuuteen.



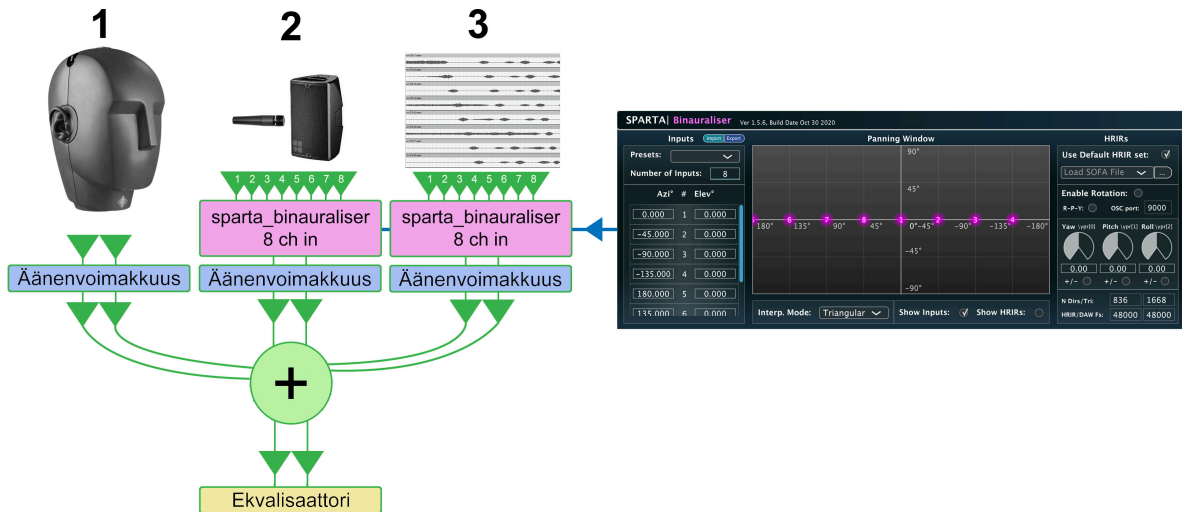
*Kuva 20. Loppurotaatiota varten toteutettu kaiutinasetelma sekä tukimikrofonin sijainti ja etäisyys kaiuttimesta.*



*Kuva 21. Marssirumpuihin kiinnitettyjen aktuaattoreiden asettelu. Keinopään korkeutta säädettiin lähemmäs aktuaattoreiden korkeutta.*

Muunsin kummankin oktofonisen kaiutinasetelman monosignaalit miksausvaiheessa binauraaliseksi signaaleiksi binauraliser-liitännäisen avulla. Loppurotaation lähdemateriaalina toimi kahdeksan monofonista äänitiedostoa, joista jokaista toistettiin omalla kaiuttimellaan. Sijoitin kaiuttimien edessä olevat tukimikrofonit virtuaalisesti keinopään mukaisiin tulokulmiin. Tällöin binauraliser luo yhteensä kahdeksan kappaletta suuntariippuvaista

binauraalista signaaliparia, jotka summautuvat kaksikanavaiseksi signaaliksi (kuva 22, vaihtoehto 2). Tämän lisäksi toteutin vastaavilla asetuksilla binauraalisen synteysin suoraan lähdetiedoille, jolloin sain kolmanneksi vaihtoehdoksi virtuaalisilla kaiuttimilla toteutetun binauraalisen representaation pään ympärillä pyörivästä liikkeestä (kuva 22, vaihtoehto 3).



Kuva 22. Signaaliakaavio eri tavoin toteutetuista binauraalisista signaaleista loppurotaation kohdalla.

Näiden kolmen eri tavoin toteutettujen binauraalisten signaalien ominaisuuksia voisin kuvailla omin sanoin seuraavasti:

### 1) Neumann KU 100 - keinopää (kuva 22, vaihtoehto 1)

Äänitiedosto: UXO\_ROT\_1 (liite 7)

Luonnollinen ja selkeä. Tunnen olevani kaiuttimien keskellä huoneessa. Välillä tuntuu siltä, kuin kuuntelisi jatkuvan liikkeen sijaan ympäröivää äänimassaa; liike jää ehkä hieman etäiseksi ja vaikuttaa välillä sumentuvan. Huone tuntuu korostavan alakeskitaajuuksia, joka tuo sellaista tilan tuntua, joka ei toteudu muissa vaihtoehdoissa.

Etu-taka-sekaannus on vähäistä ja liike kuulostaa yksisuuntaiselta, kuten on tarkoituskin.

**2) 8 x SM57 -> Binauraliser** (kuva 22, vaihtoehto 2)

*Äänitiedosto: UXO\_ROT\_2 (liite 8)*

Kaiuttimen edessä olleet dynaamiset mikrofonit toimivat keinopäähän verrattuna kuin suurennuslaseina äänimateriaaliin ja liikkeeseen. Äänen sijainti kussakin kaiuttimessa korostuu: koska dynaamiset mikrofonit ovat niin lähellä omia kaiuttimiaan, ei liike toistu luonnollisesti sinä hetkenä kun se on "kaiuttimien välissä". Tämä ei kuitenkaan haittaa yhdistettäessä keinopään signaaliin; yhdistelmä säilyttää molempien signaaliparien parhaat puolet ja piilottaa huonot puolet. SM57 taajuusvasteen korostumat luovat mielenkiintoista särmää liikkeeseen.

**3) 8 x .wav -> Binauraliser** (kuva 22, vaihtoehto 3)

*Äänitiedosto: UXO\_ROT\_3 (liite 9)*

Suoraan tiedostoista virtuaalisesti toteutettu binauraalinen signaali on tilallisesti keinopäätä selvästi kaksiulotteisempi mutta antaa taajuusvasteeltaan kiinteämmän ja neutraalimman äänivaikutelman. Vähemmän eloisa kuin aikaisemmin mainitut. Liike tuntuu hektiseltä ja poukkoilevalta, muistuttaen välillä amplitudipanorointia liikkeen ollessa nopeata. Tietyt tulokulmat (esim.  $\pm 90^\circ$ ) tuntuvat uskottavilta mutta etu-taka-sekaannusta syntyy.

Nämä kolme eri binauraalista signaalia täydentävät toisiaan summatessa yllättävän hyvin ja mikäli miksausvaiheessa kokeili yhden signaaliparin

totaalista hiljentämistä, tuntui tilalle syntyvän "aukko" tai "reikä". Lopullisessa miksauksessa käytettyä summausta kolmen binauraalisen signaaliparin summauksesta voi kuunnella äänitiedostosta UXO\_ROT\_TOT (*liite 10*).

Kolmen binauraalisen signaalin, miksauksessa käytettyä summausta voi kuunnella äänitiedostosta UXO\_ROT\_TOT. Äänitteellä ei ole muita äänielementtejä samanaikaisesti loppurotaation aikana.

Aktuaattorit äänitettiin ja miksattiin samalla periaatteella, tosin ilman muunnosta kahdeksasta äänitiedostosta binauraaliseksi signaaliksi sillä aktuaattoreiden äänilähteinä olivat siniaallot, jotka herättivät marssirumpujen matot värähtelemään. Mattojen synnyttämä laajakaistainen, kohinamainen ääni lokalisoitui erittäin hyvin ja äänivaikutelma oli hyvin ympäröivä. Kuten loppurotaation kanssa, oli keinopään ja tukimikrofonien yhdistelmä vaikuttava, keinopään tarjotessa vaikutelman ympäröivistä äänilähteistä huoneessa ja tukimikrofonien tuodessa läsnäoloa, hyperrealismia ja mielenkiintoa.

Aktuaattoreiden ääninäytteitä voi kuunnella äänitiedostoista:

UXO\_ACT\_1 (*liite 11*) - Keinopäämikrofoni

UXO\_ACT\_2 (*liite 12*) - 8 x SM57

UXO\_ACT\_TOT (*liite 13*) - Miksauksessa käytetty summaus edellisistä.

Aktuaattoreiden käyttöä äänitteellä muiden äänielementtien lomassa voi kuulla äänitiedostossa UXO\_PATA\_2 (*liite 5*).

## 5.6 Virtuaalisen liikkeen automointi: kitka ja kohina

UXO:n esitysversion alkupuoliskolla yleisö kuuli hitaasti telttaa myötöpäivään kiertäviä, kohinan kaltaisia staattisia ääniä, joita synnyttivät lyömäsoittajien eri objektein tuotettu kitka lattiaa vasten sekä kuorolaisten tasainen hönkäily ja ääntely. Kiertävä staattinen äänimassa kehittyy myöhemmin siten, että telttaa ympäröivä kierto päättyy, mutta kuorolaiset liikkuvat vuorokkain lähemmäs ja kauemmas, synnyttäen vaihtelevaa etäisyysvaikutelmaa.

Kattilahalli soveltui tähän esityksessä hyvin, sillä tilaa liikkumiselle oli paljon ja hallin kivilattia mahdollisti villasukkien avulla verrattain häiriöttömän liikkumisen; säveltäjä Sallinen halusi minimoida raajojen liikkeistä syntyvät äänet. Musiikkitalon isossa äänityshuoneessa vastaavan liikkeen luominen oli ongelmallista. Ensinnäkin arvioimme, että tila olisi liian pieni luodakseen haluttua etäisyysvaikutelmaa jos liikkeen keskellä sijaitsisi keinopäämikrofoni. Toisekseen, liikkeen koreografointi oli jo Kattilahallissa haastavaa, vaatien runsaasti sellaista harjoitusaikaa, jota ei äänityksessä budjettisyistä ollut. Sallinen innostuikin ajatuksesta, että liike toteutettaisiin vasta jälkikäteen, jolloin hänen sävellykseensä kirjoittama tarkka liikenopeus toteutuisi täsmällisesti.

Äänitimme ääniobjektit monofonisesti yhdessä Oramon ja Sallisen kanssa. Käytössä oli ennalta valikoituja vaihtoehtoja kuten styrox-paloja sekä lastausliinoja. Käytimme Schoepsin CMIT-5U-haulikkomikrofonia, jonka suuntaavuus mahdollisti mielenkiintoisimpien detaljien etsimisen objektia liikuteltaessa.

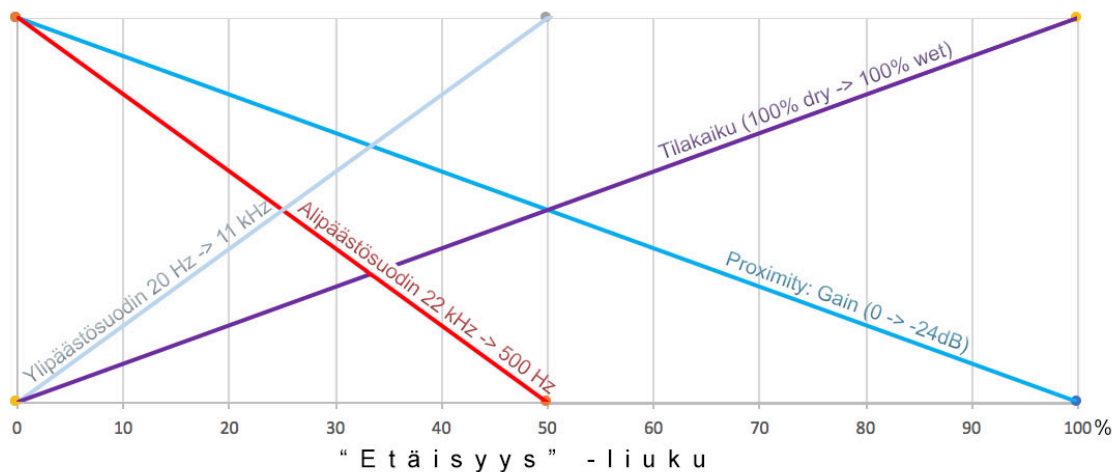
Kuorolaisten suulla tuottamia ääniä tallennettiin erillisenä päivänä, muiden kuoro-osuuksien lomassa. Jokainen kuorolainen (6 hlö) tuotti ääntä oman laajakalvomikrofonin välittömässä läheisyydessä.

Sekä objektien että kuorolaisten äänityksistä valikoitiin parhaiten sävellystä tukevat kohdat, joita luupattiin katkeamattomalta vaikuttavan äänen aikaansaamiseksi. Tämä oli Sallisen sävellyksen alkuperäinenkin tavoite: äänimaisema joka kuulostaisi orgaanisesti tuotetulta ääneltä mutta tuntuisi epäluonnollisen pitkään soivalta.

Toteutimme binauraalisen synteessin avulla virtuaalisen, myötöpäivään kiertävän liikkeen automoimalla binauraliser-liitännäistä. Kitkäänille toteutettiin täyden 360° kierros noin 90 sekunnissa, kun taas kuorolaisten liike on aluksi huomattavasti hitaampaa, vain 45° noin 4 minuutissa mutta kiihtyen kitkäänten kanssa samaan nopeuteen.

Äänten havaittua etäisyyttä voitiin hallita ns. makro-parametrilla. Makro-parametrilla tarkoitan tässä yhteydessä yhtä parametria, jonka arvo on 0 - 100 % välillä, ja jonka avulla voidaan hallita useamman eri liitännäisen yksittäisiä parametreja samanaikaisesti. Tämä mahdollistaa useiden eri parametrien samanaikaisen muutoksen yhdellä automaattioraidalla, mikä helpottaa työskentelyä huomattavasti.





Kuva 23. Etäisyys-liuku.

Kutsun käyttämämme makro-parametria etäisyys-liukuksi. Etäisyys-liuku hallitsi seuraavia liitännäisiä ja niiden parametreja:

**Proximity** on Tokyo Dawn Labsin kehittämä liitännäinen, joka mallintaa etäisyyttä äänenvoimakkuus-, aika- ja spektritasolla. Äänenvoimakkuuden muutoksen lisäksi liitännäinen soveltaa äänen taajuusvasteen luonnollista käyttäytymistä etäisyyden lisääntyessä, vaimentamalla ylätaajuuksia. Taajuusvasteen muutos ei tosin luonut mielestämme riittävän tehokasta illuusiota äänen etääntymisestä, joten käytimme myös erillistä, suotimia sisältävää liitännäistä nimeltään **bx\_cleansweep**. Brainworx:in kehittämä bx\_cleansweep toteutti sekä ali- että ylipäästösuodatusta etäisyysliu'un lähestyessä 100 prosenttia. Etäisyysvaikutelmaan vaikutti myös merkittävästi käyttämämme konvoluutiokaiku (**Audio Ease: Altiverb**), jonka dry/wet-parametria etäisyys-liuku myös hallitsi. Kun etäisyys-liu'un arvo oli 0 %, ei alkuperäiseen signaaliin yhdistynyt yhtään tilakaikua, kun taas sen lähestyessä 100%, lisääntyi tilakaiun osuus suhteessa alkuperäiseen signaaliin.

Äänitiedosto UXO\_ALKU\_1 (*liite 14*) on näyte äänten pyörimisestä kuulijan ympärillä staattisella etäisyydellä. Äänitiedosto UXO\_ALKU\_2 (*liite 15*) on näyte kuorolaisten ääntelystä horisontaalisesti paikallaan pysyvistä sijainneista mutta etäisyysliu'un jatkuvasta muutoksesta.

## 5.7 Ajatuksia äänitteen lopputuloksesta

UXO:n eri elementit (kohinat, kuoro, perkussiot, elektroninen materiaali) miksattiin lopulta yhdeksi kokonaisuudeksi. UXO oli ääniteprojektina varsin mittava ja koostui yhteensä lähes 200 raidasta päällekkäisäänityksiä ja eri tukimikrofonivaihtoehtoja. Äänitysvaiheen päätyttyä alkoikin hahmottua jälkityön suuri määrä ja myös sen myötä aikataulullinen paine: YLE:n määrittelemänä palautuspäivänä oli äänitteen oltava valmis. Miksausvaihe sisälsikin rajallisen ajan sanelemia kompromisseja, jotka johtivat toisaalta epätäydelliseen lopputulokseen kohtalaisen onnistuneeseen versiointiin Sallisen sävellyksestä. Koen, että löysimme yleisesti oivia keinoja sävellyksen tilallisten ulottuvuuksien toteuttamiseksi. Koska työryhmämme oli kuitenkin verrattain kokematon tämänkaltaisten ratkaisujen äärellä, ei niitä mielestäni kyetty aivan perusteellisesti hyödyntämään.

Esimerkiksi lokalisaatioon liittyviä ongelmia on kuitenkin tarkoitus vielä ratkoa myöhemmin, sillä YLE:llä esitetyn version lisäksi on suunnitelmana julkaista paranneltu ääniteversio vuoden 2021 aikana.

## 6 METSÄNPEITTO 2

### 6.1 Esitysversion esittely

Meriheini Luodon sävellyksessä Metsänpeitto 2 on suomalaisesta uskomusperinteestä ammentavan sävellyssarjan toinen osa. Luodon musiikkia voisi kuvailla kokeelliseksi improvisatoriseksi kansanmusiikiksi. Luodon mukaan Metsänpeitto käsitteenä kuvaa ilmiötä, jossa metsä ihmisen ympärillä yhtäkkiä muuttuu tuntemattomaksi ja mystiseksi, toispuoleiseksi maailmaksi (Luoto, 29.1.2021). Luoto kertoo, että halusi sävellyksillään kertoa Metsänpeitto-ilmiön tarinaa ja luoda metsänkaltaista äänimaisemaa, joka ympäröi kuulijan. Luoto sävelsikin osan kappaleistaan metsässä soittaen, jolloin hän altistui ympärilleen tapahtuville, metsän ja sen eläinten tuottamille äänitapahtumille.

Metsänpeiton ensimmäinen osa esitettiin Musiikkitalon Organo-salissa 2015. Esityksessä oli vahvasti läsnä tilallinen ulottuvuus: Luodon soittaessa viulua yleisön edessä, olivat konsertin muut muusikot yleisön takana, yläpuolella ja sivuilla. Luoto kertoo pyrkineensä herkistämään *"kuulijoita aistimaan musiikin tilassa"* ja selittää sijoittelun *"liittyvän metsässä olemisen kokemukseen - suurta osaa metsän äänistä ei pysty tarkasti paikantamaan eikä myöskään näkemään, mikä ne synnyttää"* (Metsänpeitto. Lautakuntateksti).

Ensimmäinen osa toteutettiin äänitteenä vuonna 2017, jolloin olin vastuussa sen äänityksestä ja miksauksesta. Äänitteen tavoitteena oli toisintaa konsertissa kuultua kolmiulotteisuutta, jonka johdosta toteutimme musiikin äänityksen ja miksauksen binauraalisesti. Äänityksissä päädyimme kokeilemaan erilaisia liikeratoja yhdistettynä soittoon, esimerkiksi tilassa liikkuvaa pizzicato-soittoa viululla. Luoto kertoo, että nämä onnistuneet kokeilut vaikuttivat merkittävästi

toisen osan sävellystyöhön ja sitä seuranneihin äänityksiin siten, että liike nousi paikoitellen merkittäväksi sävellykselliseksi elementiksi (Luoto, 29.1.2021).

Luodon mukaan Metsänpeitto-sävellysten versioinnit muuttuvat jatkuvasti soittajien määrän ja soittotilan ominaisuuksien mukaisesti. Osioita sävellyksistä jäi siksi toisinaan kokonaan toteuttamatta eri esityksissä. Metsänpeitto 2 -sävellyksen esitysversio esitettiin ensimmäisen kerran Organo-salissa kesällä 2017 Luodon ja neljän muun soittajan voimin. Luoto esiintyi yleisön edessä, kun taas muut muusikot loivat kolmiulotteisuutta laulamalla ja soittamalla yläparvella - yleisön takana ja sivuilla - viuluja, huiluja ja lyömäsoittimia.

Luoto kertoo, että hänen alkuperäisenä toiveenaan oli toteuttaa toisen osan ääniteversio samaisessa salissa, Organossa. Tämä ei kuitenkaan ollut budjettisyistä johtuen mahdollista. Korvaavaksi äänityslokaatioksi muodostui Karjaan Pyhän Katariinan kirkko.

## 6.2 Äänitystilana Karjaan kirkko

Metsänpeitto 2 -levyn äänityspaikkaa etsittiin hyvissä ajoin, noin puoli vuotta ennen äänitysten alkua. Tavoitteena oli löytää tila, jossa on miellyttävä akustinen sointi, mahdollisuus liikkua sujuvasti laajalla alueella sekä häiriötön ääniympäristö.

Luoto muistelee, että kirkko äänitystilana toi uudenlaista "*klangia*" sävellykseensä ja "*jotenkin pyhemmän filiksen*". Noin vuonna 1470 valmistuneen kirkon salin pinta-ala on noin 390 m<sup>2</sup> ja katon tähtiholvit yltävät parhaimmillaan yli 20 metrin korkeuteen (Mielikäinen, 2007, 12).

## 6.3 Äänityskonsepti

Taavi Oramo toimi Metsänpeitto 2 levyn taiteellisena tuottajana sekä myös kanssani äänittäjän, miksaajan ja masteroijan ominaisuudessa. Kun päätimme, että keinopään avulla äänitetty balanssi (sekä äänenvoimakkuus että äänilähteen tulokulma) tulisi aina olla tarkkaan harkittua ja jo lopulliseen äänikuvaan tähtäävää, sai Oramo idean tehokkaasta toteutustavasta: hän käyttäisi suljettuja kuulokkeita lähietäisyydellä keinopäästä, ja kuuntelisi sen tuottamaa suoraa signaalia, ohjaten samalla muusikoita ja heidän sijaintejaan halutun äänikuvan mukaisesti. Kuuntelin itse syrjemmällä, tarkkaamoksi muutetussa sakastissa samalla binauraalisen äänikuvan kehittymistä ja puutuin tarvittaessa soittajien sijainteihin.



*Kuva 24. Tilannekuva Taavi Oramon suorittamasta binauraalisesta balansoinnista.*

Balansoimme sävellyksen eri osiot erikseen. Aloitimme balansoinnin aina levyn tärkeimmästä muusikosta, säveltäjä-viulisti Luodosta. Luodon sijainti Metsänpeitto-sävellysten esitysversioissa on aina ollut lavan keskellä, yleisön näkökulmasta suoraan edessä. Tämä toimi lähtökohtana myös äänityksissä, vaikka tutkimusten mukaan suoraan edessä on yksi huonoiten lokalisoituvista

sijainneista. Vaihtoehtoista sijaintia ei kuitenkaan kokeiltu. Yksi syy tälle on se, että minä tai muut työryhmän jäsenet emme olleet vielä tässä vaiheessa tietoisia 0°-kulman lokalisaation epätarkkuudesta, emmekä testiäänityksiä kuunnellamme kokenut sijaintia epätarkkana. Toisekseen tuntui olevan ilmiselvää, että Luoto sijaitsisi solistina edessä ja keskellä, vallitsevien esityskonventioiden mukaisesti. Rakentuihan sävellyskin pitkälti sen varaan, että Luoto on vakaasti keskellä, muiden äänitapahtumien ilmaantuessa kuulijan ympäriltä.

Keskityimme sen sijaan huomattavasti enemmän Luodon ja keinopään väliseen etäisyyteen. Huomasimme etäisyyden määrittelyn olevan ratkaisevaa, sillä kirkon arkkitehtuuri ja sen tuottamat akustiset heijastukset tuottivat yllättävän suuria muutoksia jo muutamalla askeleella. Luodon sijainti muuttui sävellyksen aikana, joten määritimme jokaiseen eri osioon erilliset sijainnit.

Teoksissa kuullaan parhaimmillaan seitsemää muusikkoa Luodon lisäksi. Tuottaja Oramo sijoitti ennakkosuunnittelun ja kirkossa kuulokkeilla koetun kuulokuvan perusteella muusikkoja keinopään ympärille. Usein kyse oli symmetrisistä sijainneista, esimerkiksi kahdesta viulistista keinopään molemmilla sivuilla. Tällöin viulistit sijoitettiin aluksi silmämääräisesti yhtä etäälle keinopäästä, jonka jälkeen lopullinen sijainti määritettiin kuulokkeiden toistaman kuulokuvan perusteella. Perimmäisenä tavoitteena oli saavuttaa mahdollisimman kolmiulotteinen, binauraalinen kuulokuva ja välttää sitä, että äänilähteet peittäisivät toisiaan.

Sijoitimme tukimikrofonit jokaiselle keinopään etualalla tai suoraan sivulla soittavalle muusikolle. Ajatuksena oli, että tärkein musiikillinen informaatio sijoitettaisiin aina etualalle ja taka-alalla sijaitsisi etäisemmäksi "täytteeksi"

tarkoitettu äänimateriaali. Taka-alalla soittaville muusikoille ei tämän takia myöskään sijoitettaisi tukimikrofoneja. Tukimikrofonien etäisyys äänilähteestä pyrittiin pitämään tarpeeksi suurena (30-40 cm), jotta herttakuvioiselle mikrofonille tyypillistä proximity-efektiä syntyisi verrattain vähän.

Koska yhdenkään soittajan sijainti ei säilynyt muuttumattomana eri osioiden välillä, oli kaikki sijainnit merkattava tarkkaan. Jokaisen osion eri sijainnit jokaisen muusikon kohdalla etsittiin ja merkattiin post-it lapuilla oikeaan kohtaan kirkon lattiaan, esimerkiksi tekstillä "Minna - käki", tarkoittaen soittajaa ja kappaletta. Tämä oli aikaa vievä prosessi, mutta äänitysten kannalta tärkeä, sillä post-it-laput helpottivat ja nopeuttivat sekä soittajien oman sijainnin löytämistä että tukimikrofonien siirtoa kappaleiden välillä.

Tallensin jokaisesta merkatusta soittajasijainnista erikseen impulssivasteen myöhempää miksausprosessia varten. Sijoittamalla kaiuttimen merkattuihin sijainteihin ja toistamalla siitä Waves IR1-konvoluutiokaiku-liitäntäisen kanssa yhteensopivaa herätesignaalia, äänitin keinopään tallentamia impulssivasteita, BRIR:iä. Käytimme näitä impulssivasteita myöhemmin miksausessa edellä mainitun IR1-konvoluutiokaiun avulla, jolloin tukimikrofonien suoraan signaaliin yhdistyi kirkon binauraalista, suuntariippuvaista kaikua (kts. kappale 4.7.4). Mittasin myös lasermittarilla jokaisen merkatun soittajasijainnin etäisyyden keinopäähän tukimikrofonien signaalien viivästystä varten.

Käytimme keinopään ja tukimikrofonien lisäksi äänityksessä kahta erilaista hajautettua mikrofoniiparia. Toinen mikrofoniipareista (2 x DPA 4006) on sijoitettu kirkon takanurkkiin, tallentamaan kirkon diffuusua sointia. Toinen

mikrofonipari (Nordic Audio Labs NU-100) on sijoitettu keinopään kummallekin sivulle, tallentamaan vaihtoehtoista stereofonista perspektiiviä. Ajatuksena oli, että voisimme miksausvaiheessa kokeilla vähitellen toteutuvaa perspektiivimuutosta binauraalisesta äänikuvasta stereofoniseen.

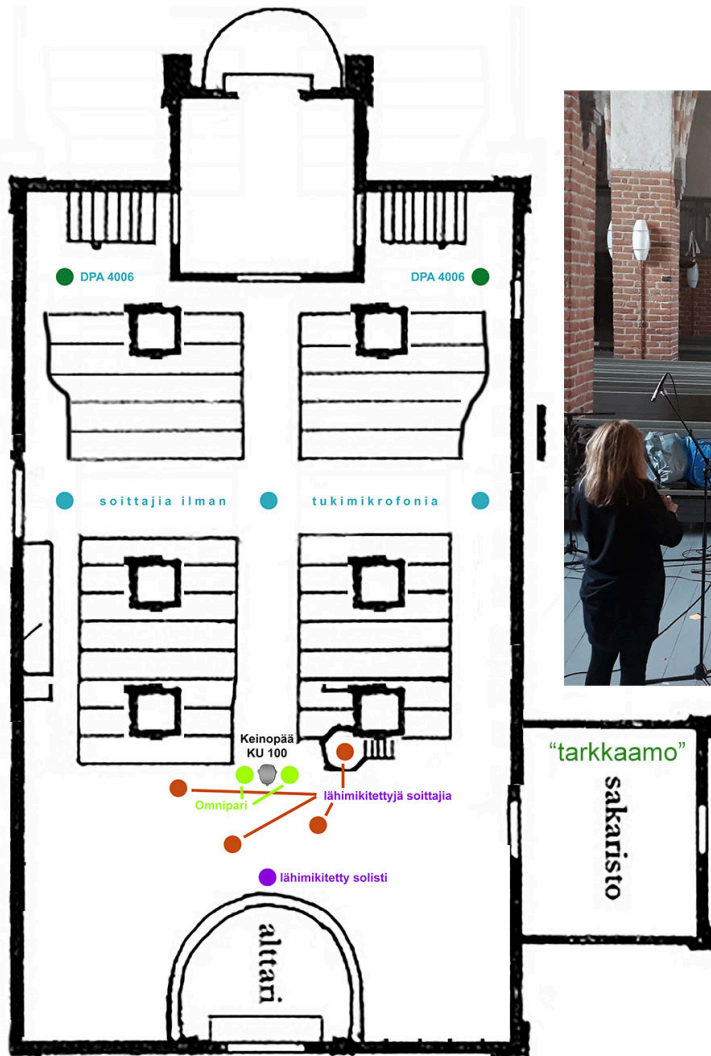
#### 6.4 Äänitysesimerkki: Käki

*Äänitiedosto: MP\_KÄKI (liite 16)*

Metsänpeitto 2 -äänitteen loppupuoliskolle sijoittuva, *Käki*-työnimellä kulkenut osio on oiva esimerkki äänityskonseptin toteutumisesta käytännössä. Luoto soittaa viuluun suoraan keinopään edessä, muut muusikot laulavat tai soittavat puuhuilua. Luotoa avustavien muusikoiden ilmaisun tausta-ajatuksena on metsässä kukkuvat käet.

Seuraavalla sivulla olevasta kuvituksesta (*kuva 25*) voi nähdä kuinka keinopään lähellä olevien neljän muusikon eteen on sijoitettu Neumann:in valmistamat KM184-mikrofonit. Luodon tukimikrofonina toimii Schoepsin CMC6 MK 4. Keinopään takana, 6-9 metrin päässä on lisäksi kolme muusikkoa ilman tukimikrofonia.





Kuva 25. Kuvaus Käki-osion äänitystilanteesta.

## 6.5 Miksaus

Miksausvaiheessa ensimmäinen askel oli se, että järjestelin session itselleni luonnolliseksi miksausta varten. Tähän kuului myös tukimikrofonien binauraalinen syntetisointi sekä viivästäminen. Ensimmäinen tapahtui korvakuulolta, jälkimmäinen sekä muistiin merkityn etäisyyden että kokeilun kautta.

23			
24	<b>Käki alustavat säädöt</b>		
25		viive	azimuth
26	spot9	5,53	-106,3
27	spot10	5,53	-60,9
28	spot11	7,3	63,78
29	spot12	7,3	117,63
30			

*Kuva 26. Miksausvalmistelussa muistiin kirjatut etäisyydet ja tulokulmat.*

Varsinainen miksaustyö toteutettiin pääasiassa aina yhdessä ydintyöryhmän, eli minun, Meriheini Luodon sekä Taavi Oramon kesken. Käytimme miksaukseen yhteensä 21 kpl 3-6 tunnin työpäivää maaliskuun ja kesäkuun välillä. Miksasimme lähes aina Musiikkitalolla, tosin binauraalisen äänitteen yksi hienouksista on se, että koska miksaus toteutetaan kuulokekuuntelun avulla, käy miksaustilaksi käytännössä mikä tahansa tarpeeksi hiljainen huone. Kuulokkeina käytimme joko Sennheiser HD 600- tai HD800-kuulokkeita.

Mielestäni Metsänpeitto 2:n miksausvalmistelun tärkein vaihe oli teoksen ensimmäisten minuuttien parissa työskentely. Koska äänitteen oli tarkoitus lopulta kuulostaa yhdeltä jatkumolta, yhden oton illuusiolta, määrittivät nämä alkupään miksausvalinnat väistämättä myös sen, miltä äänite tulisi kokonaisuutena kuulostamaan, erityisesti keinopäämikrofonin ja solistin

tukimikrofonin välistä suhdetta ajatellen. Vei aikansa ennen kuin löysimme mielestämme hyvin toimivan yhdistelmän, joka koostui 1) keinopään tallentamasta kolmiulotteisesta, kaikuisasta ympäristöstä mutta hieman liian etäisestä solistin viulusta, sekä 2) tukimikrofonin tuomasta läheisyydestä ja artikulaatiosta.

Olin esityönä toteuttanut solistin tukimikrofonin binauraalisen sijoittamisen tulokulmaan  $0^\circ$  sparta\_binauraliser-liitännäisen avulla. HavaitSIMME kuitenkin, että binauraalinen synteesi väritti kohtuuttoman paljon viulun lähtösignaalia. Päädyimmekin säilyttämään kyseisen tukimikrofonin monofonisena ja panoroimaan sen keskelle. Tukimikrofonin signaalia prosessoidaan sävellyksen aikana vaihtelevissa määrin. Kompressoinnin, ekvalisoinnin ja saturaation määrä vaihteli sävellyksen niin vaatiessa. Esimerkiksi Luodon paikoitellen soittamaa rajua "viulurunттаusta" säröytettiin, jotta lopputulos olisi lähtösignaalia vaikuttavampi.

Automaatiolla, eli miksausparametrien muutoksella ajassa, oli yleisestikin tärkeä rooli teosta miksatessa. Automaation avulla muutettiin eri raitojen äänenvoimakkuutta sävellyksen edetessä mutta myös ekvalisoinnin ja kompressoinin määrää ja kaikulähtöjen äänenvoimakkuutta. Koska avustavat muusikot sijaitsivat eri asemissa sävellyksen eri osioissa, muutettiin automaation avulla myös tukimikrofonien binauraalista sijaintia aina kun soittaja ja tukimikrofoni oli uudessa paikassa.

Avustavien muusikoiden tukimikrofoneja viivästettiin 2-10 ms verran, riippuen tukimikrofonista ja sen sijainnista. Mielestäni viivästys auttoi pitämään binauraalisen äänikuvan kasassa; tukimikrofonin signaali vaikutti viiveen avulla tulevan keinopään kanssa samalta etäisyydeltä.

Käytimme miksausessa myös äänitysten aikana äänittämiäni impulssivasteita konvoluutiokaiku-liitännäisen avulla kappaleessa 4.7.4 esittelemääni tapaan.

## 6.6 Miksausesimerkit

Esittelen seuraavaksi valmiilta Metsänpeitto 2-äänitteeltä kolme katkelmaa, joista käy ilmi äänitteelle ilmeneviä perspektiivimuutoksia keinopään ja tukimikrofonien välillä.

### 6.6.1 Esimerkki 1: Alku (VI)

*Äänitiedosto: MP\_ALKU (liite 17)*

Metsänpeitto 2 alkaa Luodon soolosoitolla, mutta vähitellen tilassa alkaa kuulua myös avustavien muusikoiden laulua. Tämä laulu on katkelman lopussa kuultavaan viimeiseen crescendoon asti täysin keinopään tallentamaa, eli totesimme miksausvaiheessa äänitysten balansoinnin olleen tässä onnistunutta. Crescendon tehoa vahvistettiin nostamalla avustavien muusikoiden tukimikrofonia automaation avulla.

### 6.6.2 Esimerkki 2: Rutinat (VI)

*Äänitiedosto: MP\_RUTINAT (liite 18)*

"Rutinoita", eli viulujen aggressiivista soittoa miksatessa huomasimme, että tällä kertaa binauraalisen synteessin sijaan oli vaikuttavampaa panoroida amplitudipohjaisesti sivuilla soittavien viulistien tukimikrofonit. Vaikutelma oli tällä tavoin hyökkäävämpi ja tunkeilevämpi ja loi kontrastia tätä osiota edeltävään materiaaliin. Soiton rauhoittuessa kaikkien tukimikrofonien

äänenvoimakkuutta lasketaan ja kirkon perällä olevien, tähän asti mykkänä olleiden DPA 4006 -mikrofonien äänenvoimakkuutta nostetaan luomaan korostetun tilallista sointia. Perspektiivin muutos toimii myös siirtymänä kohti seuraavaa osiota.

### 6.6.3 Esimerkki 3: Loppu (X)

*Äänitiedosto: MP\_LOPPU (liite 19)*

Äänityksissä keinopään vieressä ollutta hajautettua stereoparia ei miksauksessa käytetty äänitteen viimeistä osiota lukuun ottamatta, sillä havaitsimme stereoparin häiritsevän keinopään binauraalisen äänikuvan tarkkuutta. Viimeisen osion kohdalla päätimme kuitenkin käyttää hajautettua stereoparia ja mykistää kaikki muut mikrofonit. Kantavana ajatuksena tässä oli siirtymä toisenlaiseen perspektiiviin äänikuvassa, joka tuki sävellyksen tarinaa. Sävelmateriaalin ideana oli yhtenäinen äänimassa, jonka seasta olisi vaikea lokalisoida yksittäisiä äänilähteitä, joka tuki myös päätöstä käyttää pelkästään stereoparia.

## 7 LOPPUPÄÄTELMÄT

Seuraavaksi käsittelen UXO:n ja Metsänpeitto 2:n binauraalisten ääniteversioiden onnistumista sekä teosten säveltäjien että omasta näkökulmastani. On huomioitavaa, että lähtökohdat äänitteiden arviointiin suhteessa esitysversioon vaihtelevat säveltäjillä ja itselläni huomattavasti seuraavista syistä:

UXO:n säveltäjä Walter Sallinen ei toiminut aktiivisena soittajana sävellyksessään, joten hänellä oli mahdollisuus kokea esitysversio yleisön perspektiivistä. Sallinen voi siis suoraan peilata kuulokokemustaan esitysversiosta ääniteversioon. Itse olin esitysversiossa yleisöteltan ulkopuolella äänitarkkailijana, joten minulla ei ole ollut mahdollisuutta kuulla kokonaista esitystä yleisön perspektiivistä.

Metsänpeitto 2:n säveltäjä Meriheini Luoto toimi sekä esitysversiossa että ääniteversiossa sävellyksensä solistina, joten hänen kuulokokemuksensa esitysversiosta ei vertaudu suoraan yleisön kuulemaan. Itse olin muun yleisön parissa kuuntelijana Organossa toteutetussa esitysversiossa.

### 7.1 Säveltäjien pohdintoja binauraalisista äänitteistä

Sallinen kertoo haastattelussa, että hänellä ei ollut ennen UXO:n äänitteen tekoa kokemusta laajasta äänitetuotantoprojektista eikä hänen sävellyksiään ole aikaisemmin toteutettu äänitteenä esitysversion pohjalta. Hän toteaa kuvitelleensa ennen äänityksiä, että binauraalisesti toteutettu äänite täydentäisi esitysversion puutteita ja toimisi täydellisenä versiona sävellyksestään. Äänitteen valmistuttua sai hän kuitenkin huomata, että vaikka äänitys toteutettaisiin "*tosi hyvin, niin se on tosi erilainen kokemus - vaikka se tehtiin*

*binauraalisesti, niin joitakin asioita ei vaan voi saada nauhalle samalla tavalla kuin ne esityksessä koki"* (Sallinen, 15.1.2021).

Osa Sallisen kritiikistä kohdistuu studioäänityksen luonteeseen. Hän pohtii, että esityksessä esiintyjille syntynyttä energialatausta ei onnistuttu toisintamaan studiossa, mikä johti kuoron osalta vähemmän vaikuttavaan äänimateriaaliin äänitteellä.

Yleensä sävellyksen esitysversion ja ääniteversion merkittävin ero on musiikkiesityksessä koettu visuaalinen ulottuvuus, joka äänitettä kuunnellessa ei toteudu (Fabian, 2008). UXO on tässä mielessä mielenkiintoinen poikkeus, koska yleisö kuunteli musiikkiesitystä Kattilahalliin rakennetun, valoa läpäisemättömän teltan sisältä, käytännössä siis täydessä pimeydessä. Teoriassa voisi siis ajatella, että sulkemalla silmät voi ääniteversion kuuntelija rakentaa itselleen samanlaisen visuaalisen ulottuvuuden kuin esityksen kokenut kuulija. Sallisen kokemuksen mukaan asia ei kuitenkaan ole näin yksinkertainen. Sallinen kertoo, kuinka esitystä Kattilahallissa kuunnellessaan *"koki, että oikeat ihmiset tuottivat ääntä, ja että myös äänen liike kaiuttimien välillä välittyi fyysisenä"*, mutta että binauraalinen ääniteversio ei kyennyt tuottamaan samanlaista kokemusta tai kuulovaikutelmaa. Hän jatkaa aiheesta: *"Mahdollisesti kaikki ne muut elementit, jotka liittyy siihen livekokemukseen, siihen että sä olet ruumiillisesti jossain tilassa ja sitten se koko atmosfääri boostaa sua ja ne sun muut aistit täydentää sitä kokemusta"*. Sallinen koki, että keinopään tallentamat äänilähteet *"eivät kuulostaneet tarpeeksi lujalta tai että ne eivät tulleet tarpeeksi lähelle ja ne impulssit mitä ne [äänilähteet] antoivat eivät olleet tarpeeksi fyysisiä"*. Tämä johti siihen, että *"etäisyys ääniobjektiin kuulokkeissa tuntui liian kaukaiselta"*. Miksausksessa tämä taas johti usein siihen, että lähimikrofonien äänenvoimakkuutta nostettiin, ympäröityvän

äänikentän kustannuksella. Sallinen toteaaakin, että *"prosessin aikaan tajusin ja opin, että on pakko tehdä kompromisseja suoran fyysisen vaikutelman ja binauraalisuuden välillä"* (Sallinen, 15.1.2021).

Sallinen on säveltänyt teokseensa äärimmäistä dynamiikkavaihtelua. Kuorolaisten huuto muutaman metrin etäisyydeltä yleisöön tuottaa oletetusti niin kovaa äänenpainetta, että vastaavan äänenvoimakkuuden tuottaminen korvien välittömässä läheisyydessä olevien kuuloke-elementtien avulla saattaa ylittää kuulokekuuntelijan epämukavuusrajat. Uskon tämän ilmiön olevan ainakin osittain selitys Sallisen kaipaamaan fyysisyyteen.

Myös Luoto toteaa haastattelussa, että binauraalinen ääniteversio hänen sävellyksestään Metsänpeitto 2 *"jätti vielä toivomisen varaa"* (Luoto, 29.1.2021). Luoto ei kuitenkaan osannut tarkentaa johtuiko äänitteen epätäydellinen onnistuminen binauraalisesta tekniikasta vai jo äänitystilan, Karjaan kirkon tila-akustiikasta. Luoto uskoo kirkon jälkikaiun sumentaneen liikkeen välittymistä äänitteelle. Hän pohtii myös soittajien lukumäärän olleen hieman liian suuri, jolloin soittajien lokalisointi vaikeutuu.

Luoto toteaa myös, että äänitteen toisto kaiuttimilla *"ei ole katastrofaalinen, mutta ei kovin hyvä"*. Kuulokekuuntelussa syntyy hänen mielestään samankaltaista, liiallisen etäisyyden vaikutelmaa, kuin mistä Sallinen mainitsi haastattelussa. Luoto tarkentaa, että keinopäällä äänittäessä syntyy *"jokin kaukaisuuden vaikutelma, mikä siinä melkeen väkisin on, ellei tee hiljaista asmr-juttua, mutta jos soittaa soittimia normivolalla, niin se voi jäädä aika helposti kaukaiseksi keinopäällä"*. Luoto toteaa lopuksi, että mikäli hänen sävellyksestään vielä tehtäisiin binauraalinen äänite, haluaisi hän jättäytyä



aktiivisen soittajan roolista pois, jotta voisi tarkkailla ja tarvittaessa muuttaa keinopään tallentamaa äänikuvaa jo äänitysvaiheessa.

## 7.2 Omia pohdintojani binauraalisesta äänitteestä

Kuten olen aiemmissa kappaleissa todennut, ovat binauraalisen tekniikan lokalisaatio-ongelmat hyvin tiedossa akateemisen tutkimuksen piirissä. Binauraalisia äänitteitä tehdessä olen saanut kokea nämä ongelmat käytännössä.

Koen itseni optimistiseksi äänittäjäksi ja miksaajaksi - ratkaisu kyllä löytyy kun tarpeeksi montaa parametria muuttaa, kunhan luottaa kuulemaansa. Tämä optimismi, tai *usko* äänikuvan oikeellisuuteen binauraalisessa äänituotannossa saattaa kokemukseni mukaan olla petollista. Koska olen jo suunnitteluvaiheesta lähtien ollut tietoinen mihin tulokulmiin äänilähteiden *tulisi* äänitteellä lokalisoitua, on minun teosta äänittäessä sekä miksatessa ensikuulijaa "helpompaa" kuulla äänilähteiden sijainnit "oikein". Huomasin tämän käytännössä tätä opinnäytetyötä kirjoittaessani, kun palasin valmiisiin UXO- ja Metsänpeitto 2-äänitteisiin kriittisen kuuntelun merkeissä. Yhtäkkiä olinkin epävarma siitä, minne eri perkussiostemmojen oli tarkoitus lokalisoitua UXO:ssa, ja Metsänpeiton kohdalla havaitsin äänikuvan olevan paikoitellen varsin sekava.

Toisaalta voisi kysyä, kuinka paljon ensikuulija ajattelee tai osaa kiinnittää huomiota siihen, lokalisoituvatko äänet "oikein"? Kuinka tärkeätä lokalisaatio on loppujen lopuksi binauraalisella äänitteellä? Voisiko olla tärkeämpää saavuttaa stereofonista äänitettä edes hieman kolmiulotteisempi äänikuva, aistimus äänen ympäröivyydestä?

### 7.3 Jatkokehittely

Opinnäytetyötä tehdessäni on oma ymmärrykseni binauraalisuudesta ja binauraalisesta äänitteestä tarkentunut huomattavasti. Löysin kirjallisuutta, joka selittää kattavasti, tarkasti ja helppolukuisesti binauraalisuuteen liittyvien tutkimusten tuloksista sekä niiden merkityksestä binauraalisen äänitteen tuotannossa. Peilaamalla oppimaani niihin binauraalisiin äänitteisiin, joita olen tässä työssäni käsitellyt, olen päätenyt seuraaviin seikkoihin, jotka voisivat jatkossa parantaa binauraalisen äänitteen lopputulosta:

1) Huonosti lokalisoituvien tulokulmien parempi huomioon ottaminen jo suunnitteluvaiheessa. Sävellystä voisi mahdollisesti muokata tarvittaessa niin, että soveltuu paremmin binauraaliselle äänitteelle. Taajuusvasteeltaan samankaltaista äänimateriaalia voisi pyrkiä sijoittamaan sellaisiin kulmiin, että niiden välille ei syntyisi etu-taka-sekaannusta, ts. ei sijoitettaisi niitä sekaannuskartioon.

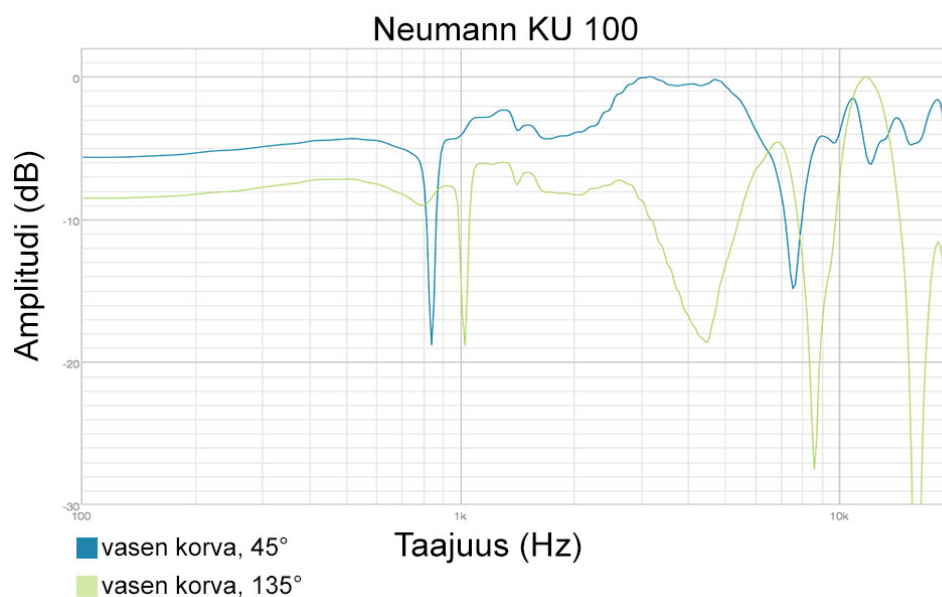
2) "Set-the-scene". Binauraalisen äänitteen alussa voisi olla osio, jossa binauraalista ympäristöä esitellään kuulijalle esim. hyvin lokalisoituvalla materiaalilla. Koska liike todetusti lokalisoituu paremmin, voisi osio sisältää liikettä, esimerkiksi  $45^{\circ} \rightarrow 110^{\circ}$  azimuth. Mahdollisesti jopa jonkinlaista kuuntelijan saapumista tilaan voisi yrittää simuloida, tai muuta joka houkuttelee kuuntelijaa luopumaan omasta, kuulokkeiden ulkopuolisesta maailmasta, ja valmistautumaan äänitteen tarjoamaan, ympäröivään ääneen.

3) Äänitteen binauraalisia ominaisuuksia voisi esitellä säästeliäästi äänitteen edetessä, hiljalleen lisätä eri tulokulmia ja elementtejä. Äänite voisi tietyllä

tapaa edetä harjoituksenomaisesti. Tämä voisi pohjautua siihen, että tutkimusten mukaan ihmisen kuulojärjestelmä adaptoituu tai korjaa epäsopivia HRTF:iä varsin nopeasti (Pike, 2019, 94).

4) Miksausvaiheessa voisi varata tarpeeksi aikaa eri lähteistä hankittujen HRTF:ien testailuun binauraalista synteisiä varten. Mikäli kyseessä on äänite, jonka tekoon ei käytetä keinopäätä, voisivat eri soittimet tarpeen vaatiessa käyttää eri HRTF:iä. Esimerkiksi hyvin lokalisoituvaa mutta ääntä värittävää HRTF:ää voisi käyttää haastaville tulokulmille ja neutraalimmin soivaa HRTF:ää helpommille kulmille. Jos jokin HRTF tuntuisi soveltuvan paremmin suoraan eteen ( $0^\circ$ ) sijoitettavaan ääneen kuin muut, voisi kyseistä HRTF:ää käyttää pelkästään tähän kyseiseen sijaintiin.

5) HRTF:ien eri kulmien taajuusvaihteluiden korostamista ekvalisoinnilla voisi kokeilla tilanteissa, joissa lokalisointi on erityisen tärkeää tai haastavaa. Esimerkiksi etu-taka-sekaannusta herättävät kulmat  $45^\circ$  ja  $135^\circ$  synnyttävät vasemmassa korvassa seuraavat taajuusvasteet:



Liioittelemalla suurimpia taajuuseroja näiden tulokulmien välillä, saattaisi etutaka-sekaannus mahdollisesti vähentyä, kuten esimerkiksi Zhang et. al (1998) tekemän tutkimuksen mukaan tapahtui.

6) Mikäli binauraalisen äänitteen tuotantoryhmällä olisi mahdollisuus selvittää omat yksilölliset HRTF-ominaisuutensa, voisi prosessin aikana olla tietoinen siitä, miten ne suhteutuvat äänitteen äänityksessä käytettävän keinopään HRTF:ään tai binauraalisessa synteessissä käytettäviin HRTF:iin. Tämä voisi auttaa ymmärtämään, kuinka suuri vaikutus omalla HRTF:llä on lokalisaatioiden havainnointiin miksausprosessissa. Oman HRTF:n selvitys on tällä hetkellä mahdollista (mutta verrattain kallista) kaupallisella puolella Genelec Aural ID-palvelun avulla<sup>5</sup>. Vaikuttaisi kuitenkin siltä, että myös ilmaisia vaihtoehtoja on syntymässä, kuten MySofa-nimisen projektin kohdalla<sup>6</sup>.

---

<sup>5</sup> <https://www.genelec.fi/aural-id-ohjelmistoteknologia>

<sup>6</sup> <https://mysofa.audio>

## LÄHTEET

Aho, Eero. 2006. *Tiläääni*. Riffi-julkaisut.

Albrecht, Robert & Lokki, Tapio & Savioja, Lauri. 2011. *A mobile augmented reality audio system with binaural microphones*. Aalto University School of Science, Department of Media Technology

Armstrong, Cal & Tresh, Lewis & Murphy, Damian & Kearney, Gavin. 2018. *A perceptual evaluation of individual and non-individual HRTFs: A case study of the SADIE II database*. Applied Sciences, 8, 2029.

Ballou, Glen. 2009. *Electroacoustic devices: microphones and loudspeakers*. Oxford: Focal Press.

Borwick, John. 2001. *Loudspeaker and headphone handbook*. Oxford: Focal Press.

Cheng, Corey I. & Wakefield, Gregory H. 2001. *Moving sound source synthesis for binaural electroacoustic music using interpolated head-related transfer functions (HRTFs)*. Computer Music Journal Vol. 25, No. 4, pp. 57-80. The MIT Press.

Cook, Perry R. 2001. *Music, cognition, and computerized sound: an introduction to psychoacoustics*. Cambridge: The MIT Press.

Fabian, Dorottya. 2008. *Classical Sound Recordings and Live Performances: Artistic and Analytical Perspectives*. Philosophical Reflections on Sound Recordings. London: Middlesex UP.

Farina, Angelo & Grenier, Yves. 2002. *Binaural for popular music: a case of study*. Proceedings of the 13th International Conference on Auditory Display, Montréal, Canada, June 26-29, 2007.

Ghorbal, Slim & Segulier, Renaud. 2020. *Computed HRIRS and ears database for acoustic research*. IETR/FAST, CentraleSupélec, France.

*Helen Oy: Historia*. Haettu 17.1.2021. <https://www.helen.fi/helen-oy/helen-oy/tietoa-meista/helen-oy-pahkinankuoressa/historia>

Hiipakka, Marko & Takanen, Marko & Delikaris-Manias, Symeon & Politis, Archontis & Pulkki, Ville. 2012. *Localization in Binaural Reproduction with Insert Headphones*. Audio Engineering Society Convention Paper Presented at the 132nd Convention 2012 April 26–29 Budapest, Hungary

Jokiniemi, Jukka. 2007. *Kaupunki kaikille aisteille: moniaistisuus ja saavutettavuus rakennetussa ympäristössä*. Teknillisen korkeakoulun arkkitehtiosaston tutkimuksia, 2007/29.

*Kemar: 45BC KEMAR Head and Torso with Mouth Simulator*. Haettu 28.1.2021. [http://kemar.us/PD\\_45BC.pdf](http://kemar.us/PD_45BC.pdf)

Korhonen, Juhani. 2013. *Jatkuvan äänitehojakautuman algoritmi pitkien käytävien äänikenttien mallintamiseen*. Väitöskirja, Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Letowski, Tomasz R. & Letowski Szymon T. 2012. *Auditory spatial perception: auditory localization*. Aberdeen: Army Research Laboratory.

Lokki, Tapio & Tervo, Sakari & Pätynen, Jukka & Kuusinen, Antti. 2013. *Musiikkitalon ison konserttisalin akustiikka*. Akustiikkapäivät 2013, Turku.

*Metsänpeitto*. Lautakuntateksti maisterikonsertin yhteydessä 15.10.2015, Musiikkitalon Organo-sali, Helsinki.

Maijala, Panu. 1996. *Binauraalinen äänitys ja toisto kuuntelukokeita varten*. Teknillinen korkeakoulu: Sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto: Akustiikan ja äänenkäsittelytekniikan laboratorio. Raportti. Helsinki.

Majdak, Piotr & Nicol, Rozenn & Iwaya, Yukio & Matthieu Parmentier. 2013. *Spatially Oriented Format for Acoustics: A data exchange format representing head-related transfer functions*. AES 134th Convention, Rome, Italy.

McCormack, Leo & Politis, Archontis. 2019. *SPARTA & COMPASS: Real-time implementations of linear and parametric spatial audio reproduction and processing methods*. Conference on Immersive and Interactive Audio 2019, York, UK.

Meriheini Luodon puhelinhaastattelu, 29.1.2021. Haastattelijana Kaj Mäki-Ullakko. (Luoto 29.1.2021)

Merimaa, Juha. 2000. *Reaaliaikainen auralisaatio signaaliprosessorilla*. Teknillinen korkeakoulu, Sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto.

Mielikäinen, Satu. 2007. *Uskon lyhyt oppimäärä: Suomen keskiaikaisten kivikirkkojen kalkkimaalausten välittämä raamattukuva*. Yleisen kirkkohistorian pro gradu –tutkielma, Helsingin yliopisto.

Neumann. 2000. *Product information: KU 100*. Ohjekirja.

Owsinski, Bobby. 2017. *The mixing engineer's handbook 4th edition*. Burbank: Bobby Owsinski Media Group.

Pike, Christopher William. 2019. *Evaluating the perceived quality of binaural technology*. PhD Thesis, Doctor of Philosophy. University of York, Electronic Engineering, York.

*Suvilahti: Tilavuokraus / Kattilahalli*.

Haettu 17.1.2021. <https://www.suvilahti.fi/tilavuokraus/kattilahalli>

Rumsey, Francis. 2001. *Spatial audio*. Oxford: Focal Press.

Rumsey, Francis & McCormick, Tim. 2009. *Sound and recording*. Oxford: Focal Press.

Sennheiser AMBEO: Approaching Static Binaural Mixing with AMBEO Orbit. 2018. Haettu 2.4.2021. [https://assets.sennheiser.com/global-downloads/file/9582/Approaching\\_Static\\_Binaural\\_Mixing.pdf](https://assets.sennheiser.com/global-downloads/file/9582/Approaching_Static_Binaural_Mixing.pdf)

Simon, Adèle & Luck, Geoff. 2018. *Perceptual differences and preferences between binaural and stereo mixes of music*. Proceedings of ICMPC15/ESCOM10. Graz, Austria: Centre for Systematic Musicology, University of Graz.

*SOFA-wikisivusto*. Haettu 20.3.2021.

[https://www.sofaconventions.org/mediawiki/index.php?title=SOFA\\_\(Spatially\\_Oriented\\_Format\\_for\\_Acoustics\)&oldid=2328](https://www.sofaconventions.org/mediawiki/index.php?title=SOFA_(Spatially_Oriented_Format_for_Acoustics)&oldid=2328)

Theile, Gunther. 1984. *The importance of diffuse-field equalization for stereophonic recording and reproduction*. Lecture at the 13th Tonmeistertagung 1984.

Vierimaa, Heidi & Laurila, Mirja. 2011. *Keho: Anatomia ja fysiologia*. Helsinki: WSOYpro Oy.

Walter Sallisen puhelinhaastattelu 15.1.2021. Haastattelija Kaj Mäki-Ullakko.  
(Sallinen 15.1.2021)

Zhang, Ming & Tan, Kah-Chye & Er, M. H. 1998. Three-dimensional sound synthesis based on head-related transfer functions. *Journal of the Audio Engineering Society* 46(10): 836-844.



# LIITTEET

## **Äänitiedostojen liiteluettelo**

- Liite 1: UXO\_PERC\_1-JULKINEN.wav
- Liite 2: UXO\_PERC\_2-JULKINEN.wav
- Liite 3: UXO\_PERC\_3-JULKINEN.wav
- Liite 4: UXO\_PATA\_1-JULKINEN.wav
- Liite 5: UXO\_PATA\_2-JULKINEN.wav
- Liite 6: UXO\_PATA\_3-JULKINEN.wav
- Liite 7: UXO\_ROT\_1-JULKINEN.wav
- Liite 8: UXO\_ROT\_2-JULKINEN.wav
- Liite 9: UXO\_ROT\_3-JULKINEN.wav
- Liite 10: UXO\_ROT\_TOT-JULKINEN.wav
- Liite 11: UXO\_ACT\_1-JULKINEN.wav
- Liite 12: UXO\_ACT\_2-JULKINEN.wav
- Liite 13: UXO\_ACT\_TOT-JULKINEN.wav
- Liite 14: UXO\_ALKU\_1-JULKINEN.wav
- Liite 15: UXO\_ALKU\_2-JULKINEN.wav
- Liite 16: MP\_KÄKI-JULKINEN.wav
- Liite 17: MP\_ALKU-JULKINEN.wav
- Liite 18: MP\_RUTINAT-JULKINEN.wav
- Liite 19: MP\_LOPPU-JULKINEN.wav

## Äänitteet

Opinnäytetyöhöni liittyvien äänitteiden työryhmä on ollut seuraavanlainen:

### Metsänpeitto 2 (2019)

Meriheini Luoto: sävellys ja improvisatoriset metodit, viulu, laulu

Maija Holopainen: viulu, laulu

Noora Kauppila: laulu, puupuhaltimet, perkussiot

Minna Koskenlahti: perkussiot, puupuhaltimet, laulu

Tiina Louneva: viulu, laulu

Iida Savolainen: alttoviulu, viulu, laulu, perkussiot

Mirva Soininen: laulu

Mirva Tarvainen: viulu, laulu

Äänitys, miksaus & masterointi: Kaj Mäki-Ullakko & Taavi Oramo

Tuotanto: Taavi Oramo & Meriheini Luoto

Julkaisu: Omakustanne

### UXO (2020)

Walter Sallinen: sävellys ja äänisuunnittelu

Klaus Maunuksela: libretto ja dramaturgia

Kaj Mäki-Ullakko: äänisuunnittelu, äänitys ja miksaus

Taavi Oramo: taiteellinen tuottaja

Awake Percussion: Petteri Kippo, Lauri Pekkarinen, Jerry Piipponen, Walter Witick

Kuoro: Sanni Kriikku, Hannes Mikkelsson, Helena Puukka, Juha Pulli, Juho Keränen, Noora Kauppila

Tuotanto, Radioteatteri, Soila Valkama

Julkaisija: Yle