

LÄHESTYMISTAPA TIETOKONEAVUSTEISEEN
MUSIIKIN SÄVELTÄMISEEN
REAALIAIKAISTEN OHJAUSJÄRJESTELMIEN
JA KAAOSTEORIAN AVULLA
- - -
SÄVELLYSPORTFOLIO

Maisterityön kirjallinen osuus
Kevät 2015

Johannes Ylipää
Musiikkiteknologian osasto
Sibelius-Akatemia

SIBELIUS-AKATEMIA

Tiivistelmä

Projektin kirjallinen työ

Työn nimi Lähestymistapa tietokoneavusteiseen musiikin säveltämiseen reaaliaikaisten ohjausjärjestelmien ja kaaosteorian avulla	Sivumäärä 101
Tekijä(t) Johannes Ylipää	Lukukausi Kevät 2015
Koulutusohjelma Musiikkiteknologia	Suuntautumisvaihtoehto
Osasto Musiikkikasvatuksen, jazzin ja kansanmusiikin osasto	
Tiivistelmä Tekemäni taiteellinen työ on vuosina 2008-2014 syntyneiden seitsemän teoksen sävellysportfolio, jonka esitin julkisesti konsertin muodossa keväällä 2014. Tämä projektiraportti on maisterityön kirjallinen osuus ja täydentää taiteellista työtä. Kirjallinen osuus keskittyy avaamaan teoksien taustalla olevia musiikinteoreettisia ja laskennallisia menetelmiä tietokoneavusteisessa säveltämisessä. Tutkin erilaisia tapoja soveltaa kaaosteoriaa sarjallisen musiikin, spektrimusiikin ja musiikillisen joukko-opin tekniikoihin. Laskenta tapahtuu tietokoneella algoritmisesti reaaliaikaisten ohjausjärjestelmien avulla. Syntyvät generaatiot voidaan nähdä itsenäisinä teoksina tai materiaalina jatkotyöstämistä varten. Rakentamani algoritmit yhdistelevät myös ääntä, musiikkia ja kuvaa. Taiteellis-tieteellinen työskentelyni on erityisesti matematiikan havainnollistamista äänellisten ja kuvallisten aistimusten kautta, joten sillä voi olla myös pedagogista arvoa. Tutkimuksen keskiöön asettuu integraalisuus sen laajassa merkityksessä. Lopuksi pohdin tutkimuksesta nousseita keskeisiä kysymyksiä, tutkimuskohteiden välisiä ristikykentöjä, sekä itse taiteellista prosessia, joka avautuu jälkikäteen itsereflektiona - hiljaisen tiedon julkilausumana.	
Hakusanat elektroakustinen musiikki, säveltäminen, musiikinteoria, spektrimusiikki, sarjallinen musiikki, kaaosteoria	
Muita tietoja	

SIBELIUS-ACADEMY

Abstract

Projektin kirjallinen työ

Title An approach to computer-aided musical composition using real-time control systems and chaos theory	Number of pages 101
Author(s) Johannes Ylipää	Term Spring 2015
Degree programme Musiikkiteknologia	Study Line
Department Musiikkikasvatuksen, jazzin ja kansanmusiikin osasto	
Abstract In this artistic work, seven works arising from the period 2008-2014 form the composition portfolio, which I publicly presented as a concert in the spring of 2014. This project report is the written part of the master's work and complements the artistic work. The written part focuses on the background - music-theoretical and computational methods for computer-aided composing - to open up the works of music. I studied a variety of ways to apply chaos theory to serial, spectral and musical set theory techniques. Computation takes place in numerous computer algorithms using real-time control systems. Emerging generations can be seen as independent works of art or as material for further machining. The algorithms I've constructed combine sound, music and image. As my work is artistic and scientific, it especially illustrates mathematics through aural and visual sensations, so it can also have pedagogical value. Integrality in the broad sense can be seen at the centre of the research. Finally, I discuss key issues arising from the research and cross-connections between the research topics, as well as the artistic process itself, which unfolds as a retrospective self-reflection - a statement of tacit knowledge.	
Keywords electroacoustic music, composition, music theory, spectral music, serial music, chaos theory	
Other Information	

SISÄLLYSLUETTELO

ABSTRAKTI

SISÄLLYSLUETTELO

KUVALUETTELO

TAULUKKOLUETTELO

1. JOHDANTO.....	1
2. TAUSTAA, TEORIAA JA METODOLOGIAA.....	4
2.1. Metodologiaa.....	8
2.2. Tutkimusprosessi.....	10
2.3. Reaaliaikaisuudesta.....	14
3. TEOSSEITTELY.....	17
3.1. Prime Numbers, Etude 5 ja Bird Convection.....	17
3.1.1. Yhteinen teoriatausta.....	19
Äänen spektri musiikin sävelikkönä.....	20
Äänispektrin temporaalinen analogia.....	21
Spektrikaanonit.....	25
Kohti invarianttia rakennetta.....	26
Indeterministisesti kaoottinen systeemi.....	30
3.1.2. Prime Numbers (2010) ja Etude 5 (2010).....	33

3.1.3. Bird Convection (2013-2014).....	38
3.2. Doors, A Journey into the Consciousness of ja Piano-noise.....	42
3.2.1. Doors (2013).....	42
Kuvasta ääneksi.....	44
3.2.2. A Journey into the Consciousness of (2014).....	48
3.2.3. Piano-noise (2014).....	54
3.3. Balance Game (2011-2014).....	61
3.3.1. Teoksen Balance Game ohjelman toiminta ja eleohjaus.....	64
Geometrinen sarja teoksen abstraktina mallina.....	65
Ohjausrajapinnan toiminnallisuus.....	66
Äänentuotto-ohjelman toiminta.....	69
Kuvantaminen ohjausparametreista äänentuottomekanismiin.....	74
3.3.2. Teoksen Balance Game teoreettiset viitekehukset.....	75
3.4. Konsertista.....	77
4. PÄÄTELMÄT.....	83
4.1. Teoksien analyysiä ja luonnehdintaa.....	85
4.1.1. Teosvertailua.....	88
4.2. Reaaliaikaisuudesta.....	90
5. LOPUKSI.....	93

VIITTEET

KUVALUETTELO

Kuva 1: Värehtelevän jousen harmoninen sarja; perustaaajuus ja sen moodit (Richards 2008)	20
Kuva 2: Harmoninen sarja musikaalisena notaationa. Numero kunkin harmonisen yläpuolella kertoo, kuinka monta puolisävelaskeleen sadasosaa se eroaa tasavireisestä järjestelmästä. (MusicMaker5376 2007).....	20
Kuva 3: Yläsävelsarja MIDI-sekvensserissä – 20 enimmäistä jäsentä spektraalisena sointuna sekä arpeggiona.....	21
Kuva 4: Ylä- ja aläsävelsarjan temporaalinen analogia tuottaa kaksi rakennetta: ryhmitelty rakenne (vasemmalla) ja jaettu rakenne (oikealla).....	22
Kuva 5: Laajempi otos ryhmitelystä rakenteesta.....	24
Kuva 6: Kaksi perusrakennelmaa James Tenneyn sävellyksestä Spectral Canon for Conlon Nancarrow: spektrikaanonit.....	25
Kuva 7: Yleinen parametrisaatio noudattaa myös kerto- ja jakolaskun tuottamia lukusuhteita	27
Kuva 8: Musikaalisen äänen parametrijoukkoa muokataan perusjoukkoa metaparametreilla kertomalla ja summaamalla.....	28
Kuva 9: Teoksen Prime Numbers MIDI-representaatio.....	34
Kuva 10: Kuva teoksen Bird Convection editointi-ikkunasta paljastaa ääniveistämismetodin käytön sekä lisämateriaalin tuottamisen menetöt ja käyttötavat.....	40
Kuva 11: Teoksen Doors lähtökohta: tasavälinen pikselijoukko.....	43
Kuva 12: Otos teoksen Doors loppupuolelta.....	44
Kuva 13: Musiikinteoria ja teknologia kohtaa teoksessa Doors; musiikillisen joukko-opin graafinen sovellus.....	47
Kuva 14: Lähdeäänien sonogrammi – kuvaprosessoinnin lähtökohta teoksessa A Journey into the Consciousness of.....	50

Kuva 15: Äänispektriä siirretään spatiaalisesti fraktaalisen kontrollimatriisin avulla.....	51
Kuva 16: Äänispektri ja sen rivioperaatiot.....	52
Kuva 17: Rotaation myötä aika- ja taajuusavaruus vaihtavat paikkaa.....	52
Kuva 18: Frieze pattern -muokkaus kuvan 15 äänispektristä; kuvan muodostaa kaksi päällekkäistä kuvaprosessia – symmetriakuviointi ja alkuperäisen kuvamatriisin fraktaalisuus.....	53
Kuva 19: Teoksen Piano-noise lähtökohta on yksi matriisi pseudosatunnaista valkoista kohinaa.....	56
Kuva 20: Kohinan harmonisoinnissa on käytetty erilaisia generoituja suotimia.....	58
Kuva 21: Kohinan muokkaus suotimilla. Otos on teoksen yksi toistetuimpia tahteja.....	58
Kuva 22: Kuvan 20 oikeanpuolimmaisimman suotimen säveltasot notatoituna.....	59
Kuva 23: Teoksen Piano-noise muodosta vastaava sekvenssi.....	60
Kuva 24: Balance Game -teoksen vuorovaikutteisuuden dynamiikka kaksin tai yksin käytettäessä.....	62
Kuva 25: Teoksen Balance Game harmonisoitujen viiveiden arvojen generointi.....	65
Kuva 26: Wii Remote Plus -peliohjain on teoksen Balance Game ohjausrajpinta.....	66
Kuva 27: Ratio Feedback -pääohjelman rakenne.....	69
Kuva 28: Polyratio-aliohjelman rakenne.....	69
Kuva 29: Keinotekoisien kaiunnon rakenne.....	73
Kuva 30: Eleohjauksen kolmivaiheinen kuvaus äänen parametreihin.....	74
Kuva 31: Sonogrammi yhden sinusoidin käynnistämästä ketjureaktiosta.....	76
Kuva 32: Maisterikonserтин ohjelmalehtinen.....	80
Kuva 33: Abstraktien sävellysideoiden lähtökohdat ja kehitys.....	89

TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1: Maisterityön vaiheet ajoittuvat vuosille 2008-15.....	11
Taulukko 2: Maisterikonsertin teokset eroavat esitystekniikoiltaan ja -tavoiltaan taulukon mukaisesti.....	78

1 . JOHDANTO

Tässä työssä tutkin taiteellisesti erilaisia tapoja soveltaa musiikin- ja systeemiteoreettisia prosesseja säveltämiseen, sekä musiikin ja kuvan generointiin, improvisointiin ja ohjaamiseen reaaliaikaisesti. Hahmotan asioita hyvin visuaalisesti ja tästä syystä tutkimukseni viittaa osin kuvataiteeseen sekä hyödyntää myös sen tekniikoita. Tutkimukseni keskiössä on niin ikään kaaosteoria ja sen eri sovellukset. Työn tuloksena syntynyt sävellysportfolio sisältää musiikkia, ääntä ja kuvaa näiden kaikissa kombinaatioissa.

Työ on syntynyt useiden vuosien aikana. Määrittävää tutkimussuunnitelmaa ei ole ollut, sillä taideprosessi vei mennessään urille, joita ei olisi voinut määritellä etukäteen. Koska prosessi ei ollut ennalta määritelty, avautuu se jälkeinpäin reflektiona. Taiteellisen tutkimuksen itsereflektiivistä luonnetta voi perustella hiljaisen tiedon aukikirjoittamisen tärkeydellä, jolloin sisäistetty ja intuitiivinen taideprosessi avautuu tekijän lisäksi myös yleisölle ja tutkijayhteisölle. Työn laajuuden sekä sen sisältämien käsitteiden ja aihepiirien määrän takia joudun jättämään varsin laajalti joidenkin osa-alueiden taustat sen enempää avaamatta, mutta pyrin viittaamaan tekstin lomassa mahdollisimman hyvin alueille ja lähteille, joiden kautta voi etsiä asiaan lisätietoa niin halutessaan. Tutkimuksen ytimessä olevat asiat olen selittänyt laajemmin. Olen pyrkinyt löytämään ristikytkeviä varsinaisen ydinalueen ulkopuolelta, mutta sisällyttämään niitä silloin, kun ne tukevat työskentelyni avaamista.

"The most sudden and important revolution to affect the musical world during the recent past was based not on some type of reflection upon musical grammar (serial or other), but rather—more deeply—upon the world of sounds themselves: in other words, in the sonic universe that summons the composer."¹

Estetiikka on kulttuurisidonnainen piirre – estetiikkaan vaikuttaa myös teknologia. Teknologian kehittyminen vaatii tutkimusta. Herää kysymys, millaiselle estetiikalle on tarve nykymaailmassa? Työkalut vaikuttavat olennaisesti mielikuviiimme siitä, mikä on mahdollista. Mahdollisuus saattaa herättää mielenkiinnon. Omalla kohdallani mielenkiinto on herännyt teknologian ja musiikinteorian kautta systeemiteoriaan, matematiikkaan ja algoritmiseen ajatteluun:

1 Murail, 121.

tietokoneavusteiseen säveltämiseen.

“Music systems programming can have all the technical and intellectual challenges of programming generally. Composition problems are notoriously difficult to define precisely and completely, so satisfying one composer’s needs may not lead to a universal solution.”²

Tietokoneen avulla on mahdollista laskea mitä tahansa, *melkein* mitä tahansa.³ Tietokoneen instrumentaalisuuden kannalta reaaliaikaisuus on sen tehokkuuden tutkimista: seikkaan vaikuttaa tietenkin myös algoritmien tehokkuus, mutta uudet algoritmit voi nähdä uusina 'sävellyksinä', tehokkaina rakenteina. Nämä seikat herättävät kysymyksen, mitä ei voida laskea? Taiteen tavoitteena ei kuitenkaan ole todistaa, vaan enemmänkin ehdottaa. Äärettömyyden laskeminen ei sinänsä ole mielekäs tavoite, mutta mielekäs haaste.

Olen perusteellinen ja haluan ymmärtää asiat perusteista lähtien. Siksi teen mieluusti useimmat algoritmit itse alusta alkaen. Yksinkertaisuus, ideoiden samanlaisuus, on ajatteluni etenemistä ohjaava periaate; konsepti yksinkertaisuudesta on perustavanlaatuinen ohjenuora taiteellisessa ja tutkimuksellisessa työssäni. Ilmaisen näkemykseni usein generatiivisten prosessien ja systeemien kautta, joiden ajattelen olevan läheistä sukua keskenään; käsitteet invarianssi, kompleksisuus, fraktaalit, pseudosatunnaisuus sekä luonnon hierarkian ja luonnollisten prosessien imitaatio ovat tulleet nopeasti tutuiksi. Olen myös yrittänyt tulkita pedanttisen systeemiajatteluni mahdollisimman havainnollisesti rajoittamattoman itseilmaisun alueelle teoksien muodossa.

Työ on yhtä aikaa taiteellista ja pedagogista. Opettaessani itseäni olen työstänyt aina teoksen, joka havainnollistaa mahdollisimman yksinkertaisesti ja esteettisesti oppimani asian. Työ tulisi nähdä sen taiteellisuuden ohella myös teoreettisten ilmiöiden potentiaalisena koulutuksellisenä viestinä.

Tutkielma jakautuu neljään eri osioon: tutkimuksen taustan esittelyyn, teosesittelyihin, tutkimusprosessin ja teoksien pohjalta syntyneisiin päätelmiin ja lopuksi tutkielman päättävään pohdintaan. Tutkielman alussa esittelen käyttämäni metodologian sekä tutkimuksen

2 Roads et al., 51.

3 Lisätietoa saa Kurt Gödelin epätäydellisyyslauseista; Raatikainen 2015.

keskeisimmät teoreettiset viitekehykset. Arvioin taideteoksia ja niiden syntyprosessia tuoteteoriaan kuuluvan suunnitteluprosessin sekä vertailevan tutkimuksen avulla. Tutkimuksen teoreettinen tausta pohjaa 1900-luvun modernin taidemusiikin parissa syntyneisiin ajatuksiin ja käytänteisiin musiikin eri parametrien sarjallisuudesta, äänen spektristä ja musiikillisesta joukko-opista. Tätä perustaa laajennetaan kaaosteorialla ja systeemillisellä ajattelulla. Kuvailen myös tutkimusprosessin kulun, joka ulottuu seitsemälle vuodelle. Saman luvun lopuksi esittelen tarkemmin reaaliaikaisuutta, joka on työni kannalta varsin keskeinen käsite – ja tietokoneavusteisen säveltämisen menetelmä.

Teosesittelyssä sävellysportfolion teokset jakautuvat kolmeen eri ryhmään teosten teoreettisten ominaispiirteiden perusteella. Aluksi hahmottelen spektrimusiikin, sarjallisen musiikin ja kaaosteorian perusteita. Toisessa osiossa otan äänispektrin sarjalliseen manipulaatioon vaihtoehtoisen näkökulman, jossa esittelen perinteisen kuvaprosessoinnin soveltamista säveltämiseen. Kolmanneksi esittelen ääniohjelman, jota ohjataan reaaliaikaisesti nykyaikaisella elepohjaisella peliohjaimella. Ohjelman äänentuottomekanismi pohjautuu niin ikään geometrisille sarjoille ja kaaosteorialle. Kappaleiden numeroimattomat otsikot jäsentävät yhtenäiseksi tarkoitettua kerrontaa. Luvun päättää teoksista koostetun ja jo pidetyn sävellyskonsertin esittely.

Päätelmät-kappale kokoaa tutkimuksen laajan käsitteistön ja esittelee tutkimustuloksia yhdistäviä tekijöitä. Tutkimustuloksia vertaillen teoreettisten viitekehysten monitahoiset ristikytkennät havainnollistuvat ja itse tutkimuksen keskiöön sijoittuva ajatus integraalisuudesta hahmottuu. Näiden seikkojen valossa pohdin jälleen reaaliaikaisuutta sävellyksellisenä menetelmänä. Tutkielman päättää laajempi filosofinen pohdinta laskennallisen taiteen luonteesta ja sen suhteesta ympäröivään yhteiskuntaan. Hahmottelen myös lyhyesti mahdollisia jatkotutkimuskohteita. Henkilökohtainen suhteeni edellä mainittuihin seikkoihin avautuu osana tätä pohdintaa.

2 . TAUSTAA, TEORIAA JA METODOLOGIAA

Taiteellisen tutkimukseni motivoiva tekijä oli muodostaa konserttikokonaisuus; viestiminen asioista, jotka olen tulkinut merkittäviksi. Taiteellisen työn keskiössä on niin ikään konsertin toteuttaminen: itseni ilmaiseminen – sekä tätä kautta mielikuvan antaminen itsestäni taiteilijana. Taiteellisen työn ydin on kokonaisuus, joka on perusteiltaan varsin harkittu. Perusteet ovat tyypillisesti kuvauksia luonnonjärjestyksestä, jonka ilmentymät voivat olla määräämättömästi kompleksisia taiteen alueella. Taiteellinen työni on teorioiden – musiikillisten, matemaattisten, aistimuksellisten – yhdistelemistä.

Olen valinnut digitaalisen työkalun instrumentikseni. Tämän instrumentin kautta uskon, että voin konkretisoida musiikinteoreettisia asioita tehokkaan laskennan, loogisesti rakennettujen algoritmien, sensorien sekä näiden ristikytkentöjen tuottamien aistimuksien ja reaaliaikaisen kokemuksen yhdistelmillä. Se, että loogisen abstraktin maailman voi kokea, vaatii tämän työkalun valjastamista äänellisten ja kuvallisten proseduurien laskemiseen ja todentamiseen tosimaailmaan.

Fysikaalisten ja abstraktien prosessien luonteet eroavat toisistaan. Fysikaaliset prosessit ovat sidoksissa materian ominaisuuksiin, fyysiseen kausaaliiteettiin sekä loppuviimein näitä ohjaaviin universaaleihin lakeihin. Abstraktit prosessit taasen manipuloivat symboleja tai muita esittäviä olioita: abstraktit prosessit ovat muutoksia esittävien olioiden järjestelmiin, joiden tulkinta on loppuviimein sopimuksenvaraista. Vaikkakin mustetahrat nuottiviivastolla noudattavat fysiikan lakeja, niiden merkitys on konsensuksen muodostaneelle tarkkailijajoukolle mielivaltainen.⁴

Fysikaalisia prosesseja voidaan esittää artefakteina. Maalaus on pysyvässä ja kiinteässä muodossaan siinä missä sävellyks *on* ajassa ohimenevänä ja dynaamisena ilmiönä. Näiden välinen esittäminen eroaa toisistaan: perinteisesti ajateltuna sävellyks esitetään äärellisen symbolijoukon, notaation, äärettöminä yhdistelminä ja maalaus taasen äärettömien peruselementtien, erilaisten viivojen ja pisteiden, äärettöminä yhdistelminä.⁵ Maalaus esittää itsensä, siinä missä sävellyks

4 Dorin 2001.

5 Asia ei ole ihan näin yksiselitteinen: nuotti symbolisoi useaa fysikaalista ominaisuutta – esimerkiksi taajuutta, pituutta ja voimakkuutta – kun taas viiva itsessään on jo fysikaalinen sen enempää symbolisoimatta. Tietty eri keskustelu on, mitä eri muodot symbolisoivat; tähän on kehitetty visuaalinen havaintopsykologia, koska asiasta ei ole kehittynyt kattavaa konsensusta.

vaatii todentuaakseen yleensä tulkitsijan. Näin ei ole kuitenkaan algoritmisessa taiteessa, missä sekä kuvallisen että äänellisen todellisuuden esitystapa on yhteinen; joukko binäärisiä kytkimiä.⁶

"A CAAC [*Computer-aided Algorithmic Composition*] system permits the user to manipulate indirect musical representations: this may take the form of incomplete musical materials (a list of pitches or rhythms), an equation, non-music data, an image, or meta-musical descriptions. Such representations are indirect in that they are not in the form of complete, ordered musical structures. In the process of algorithmic generation these indirect representations are mapped or transformed into a direct music representation for output."⁷

Algoritmisen taiteen ohjelmoija rakentaa prosesseja manipuloimalla niiden symbolista esitystapaa. Nykyisissä korkeamman tason ohjelmointikielissä nuotteja ja kuvapisteitä voidaan kuvata lukuina, sointuja ja kuvia lukujoukkoina ja niiden muutoksia joukkojen välisinä funktioina. Muutoksia voi ajatella myös loogisina proseduureina, joiden muodostaman verkon käyttäytymistä ohjataan rajoituksin.⁸ Generatiivinen taide ei edellytä tietokoneen käyttöä, sillä mikä tahansa prosessi, musteen pirsrottelu kankaalle tai nuottiviivastolle, täyttää sen määritelmän. Tietokoneet ovat tehokkaita laskukoneita – ja tämän ymmärtäminen on alku generatiivisen taiteen työstämiseen tietokoneen kanssa.

Kun aloin suunnitella sävellysportfoliota, oli varsin selvää alusta lähtien, että konsertti tulisi olemaan kokonaisuuden kannalta se asia, mitä vasten arvioisin jokaista tekemääni päätöstä. Valitsin aikaisemmista sävellyksistäni ne, jotka halusin ehdottomasti sisällyttää konserttiin. Kun kokonaisuus alkoi hahmottua, täydensin ohjelmistoa säveltämällä kaksi uutta teosta uusimmilla kehittämilläni tekniikoilla täydentäen näin ohjelmiston kokonaisuudeksi. Konsertin pitäminen oli luonteva jatkumo sävellyksellisesti tuotteliaalle akateemiselle työlleni: laaja tutkimuspohja sekä sen pohjalta syntyneet teokset näyttäytyivät monipuolisuudessaan tarpeeksi yhtenäisiltä ja erilaisilta sekä mielenkiintoisilta heijastaen tämän ajan sekä akateemisen ympäristön suuntaviivoja, joiden pohjalta oli luontevaa suunnitella esitettävä kokonaisuus. Konsertti oli myös taiteellinen haaste: miten tuottaa eheä kokonaisuus siitä, mitä jo on ja kuinka täydentää se yhtenäiseksi kokonaisuudeksi.

6 Ibid.

7 Ariza 2005.

8 *Constraints*; Roads et al., 899.

Taiteellisen tutkimukseni taustaa väritti vahvasti kiinnostuneisuus elektroniseen tanssimusiikkiin. Tämän tyylisuunnan määrittävimpiä piirteitä on rytmin monimuotoisuus toisteisuudessaan. Myöhemmin tutkiessani rytmin teorioita huomasin näiden ilmiöiden kiteytyvän aikaisemmin länsimaisen taidemusiikin parissa minimalistisessa musiikissa⁹, joka vastaa teoreettisesta viitekehystä katsoen varsin hyvin elektronisen tanssimusiikin rytmistä abstraktiota: samanaikaiset kerrokset toistuvat samankaltaisina useiden minuuttien ajan muodostaen polyrytmisen ja -metrisen kudoksen, joka jaksottuu hypermetriikan avulla pienempiin yksiköihin. Sama rakenne toistuu historiallisesti vanhempaa perää oleviin afrikkalaisessa¹⁰ ja indonesialaisessa perkussiomusiikissa, joiden rytmisiä ilmiöitä voidaan käsitteellistää geometrisesti käyttäen syklisiä matriiseja.¹¹

Länsimaisen klassisen musiikin traditioon kuuluvat täyssarjallisuus, amerikkalainen minimalismi ja spektralismi olivat seuraavat musiikilliset viitekehukset, joihin akateemisen järjestelmän parissa vietetty aika tietoisuuttani sysäsi. Nämä musiikin alueet avasivat ymmärryksen lukusuhteiden yhteneväisyyteen musiikillisten parametrien välillä. Tämän teki helpommaksi nykyajalle tyypillinen, tietojenkäsittelylle ominainen analyyttisen laskennallinen tapa ajatella. Huomasin kuitenkin nopeasti, että tallennetun historian puitteissa en ole ainoa vastaavan havainnon tehnyt ihmetelijä.

Yläsävelsarjakeskeisen musiikkisuuntauksen voidaan katsoa alkaneen Pythagoraan lukusuhteopeista¹², jatkuneen viritysjärjestelmien kehityksen myötä tasavireiseen viritysjärjestelmään sekä dodekafonian kautta takaisin spektrimusiikin yksinkertaisiin kokonaislukusuhteisiin. Länsimaisen taidemusiikin harmonisen sisällön muuttumisen ajan saatossa voidaan katsoa olevan kehityksellinen jatkumo kohti korkeampaa dissonanssitaso.¹³ Väitettä perustellaan usein analysoimalla dissonanttisten piirteiden esiintymistä eri aikakausien musiikissa – sekä vielä analyyttisemmin kunkin aikakauden musiikin sisältämän harmonisen sisällön ylärajalla: *n*-limit-tuning.¹⁴ Tämä musiikinteoreettinen kehitys johtaa väistämättä puolisävelaskelta pienempien säveltasojen eroavaisuuksiin, mikrintervalleihin.

9 Butler 2006.

10 Butler 2001.

11 McLachlan 2000.

12 Roads et al., 499; Loy, 407.

13 Cowell 1930; Tenney 1988.

14 Partch 1974.

Huolimatta siitä, että sarjallisuudessa yleisesti käytetylle 12-säveljärjestelmälle sekä spektrimusiikin sävelikölle voidaan molemmille löytää yhteinen, rationaalilukuihin pohjautuva numeerinen perusta, tapa kuvata numerosarja sävelavaruuteen erottaa ne toisistaan. Kun kokonaisluvut kuvataan kaavan $2^{n/12}$ muuttujaan n , saadaan lopputulokseksi puolisävelaskelinen sävelikkö, kun taas kuvattaessa perustajuuden kerrannaisiin sävelikön askelista tulee epätasaisen kokoisia; tätä sarjaa kutsutaan yläsävelsarjaksi.¹⁵ Sarjallisen musiikin teoreetikko Perle kuvaakin Schönbergin koulukunnan yrityksiä johtaa kaksitoista nuottia yläsävelsarjasta niin kaukaahaetuiksi sekä itsensä kanssa ristiriitaisiksi, ettei asia tarvitse sen kummempaa keskustelua.¹⁶ Viritysjärjestelmien kehityksen historia saattaa antaa pohjan Schönbergin koulukunnan väitteelle, mutta mielenkiintoisempaa on se tosiasia, että länsimaisen taidemusiikin harmoninen sisältö on kulkenut täyden kehän Pythagoraan lukusuhteista takaisin 1900-luvun loppupuolen spektrimusiikkiin.

Olen aina ollut erityisen kiinnostunut musiikin rakenteista. Taideteoreetikko Joseph Schillingerin mukaan taiteen teorioiden tulisikin olla luonteeltaan generatiivisia analyttisyyden sijaan.¹⁷ Käsitellessään täyssarjallisen musiikin liikehdinnän esiintuomia ideaaleja Henry Flynt antaa varsin ankaraa kritiikkiä rakenteellista taidetta (*structure art*) kohtaan: hänen mielestään sarjallisen menetelmän perusteella tuotetut sävellykset ovat enemmänkin kombinatorisia veistoksia kuin musiikkia.¹⁸ Voi kuitenkin kysyä, mitä vikaa on veistoksissa tai kombinatoriikassa – vai onko Flynt huolestunut nimenomaan niiden yhdistelmästä? Kuten spektrimusiikin säveltäjä Tristan Murail muotoilee, säveltäminen modernissa, kompleksisten äänien maailmassa lähestyykin synteetin taidetta.¹⁹ Schillinger oli taiteen teoretisoinnin synteetikko omana aikanaan.

Sävellyksieni lähtökohdat ovat vankasti musiikinteoreettisia ja matemaattisia – ja yhtä lailla myös algoritmisia, proseduraalisia. Koska laskennalla on tärkeä rooli taiteellisessa työkentelyssäni, tietokone on itsestään selvä vaihtoehto abstraktien sävellysideoitteni toteuttamiseen. Teokset ovat kukin uniikki risteytys musiikinteoriaa, matemaattista

15 Musikaalisten skaalojen generatiivisen perustan yleistyksen tarjoaa Carey & Clampitt 1989, missä he ottavat teoriansa mukaan generatiiviseksi perustaksi yläsävelsarjan kaksi ensimmäistä intervallia, oktaavin ja puhtaan kvintin.

16 Perle 1991.

17 Schillinger 1976.

18 Flynt 1993.

19 Murail 2005.

systemiteoriaa sekä tietokoneavusteisen sävellyksen metodiikkaa. Taipumukseni yhdistellä asioita ennakkoluulottomasti johtaa niin teoreettisesti kuin taiteellisesti huomiota herättäviin lopputuloksiin, mutta myös loputtomaan tutkimussuuntauksien bifurkoitumiseen ja loppuviimein entropiaan. Taiteellis-tieteellisen tutkimusprosessin luonnetta on vaikea määrittellä kattavasti, sillä se etenee hermeneuttisesti ja synergeettisesti ideoiden absorption ja käytännön toteuttamisen kehällä.

Musiikin ja kuvataiteen rakenteiden tutkiminen sekä kokeellisuus ovat olleet merkitsevissä määrin matematiikan ja systeemien opettamista itselleni kokemuksellisesti eri aistien kautta. Äänien, musiikin ja kuvien rakenteiden tuottaminen ovat teorioiden konkretisointia. Vahvasti numeerinen, visuaalinen ja äänellinen kokemuskenttä on lisännyt ymmärrystäni.

Zeitgeist määrittelee nykyajan tilan ja virtauksen suunnan. Toisteisuus, mutta samalla jatkumo on oleellinen piirre ajattelussani: interpolaatioiden käyttö liukumina reaaliaikaisesti on moneen soveltuva ja jo perinteikäs algoritminen tekniikka, mutta myös filosofinen aihe, kun sitä soveltaa analogian kautta elämisen – ajan kokemisen – luonteeseen.

“..., computers are physical objects and can be connected to the real world in interesting ways. ... The programmability of computers allows this abstract, mathematical simplicity to be juxtaposed with real activity and effect.”²⁰

2.1. Metodologiaa

Taiteellisessa tutkimuksessa tieteellisen osuuden rinnalla on yleensä taideteos, niin tässäkin tapauksessa. Sävellysportfolioni täydentää ja havainnollistaa taustalla olevaa teoriaa. Tässä työssä voi nähdä sekä toteavia että ohjaavia piirteitä.²¹ Yleispätevän teoreettisen kentän ja tekniikkojen yhdistäminen on jo itsessään mielestäni tavoittelemisen arvoista. Tämä on johtanut sovelluksiin – tämän työn kohdalla sävellysportfolion teoksiin.

20 Roads et al., 79.

21 Routio 2005.

Looginen – tai epälooginen – ajatteluni kumpuaa musiikinteoreettisista ilmiöistä. Taiteellisen työskentelyni metodologia on sekä analyttistä että hermeneuttista. Hermeneuttista otetta kontrastoi saman tutkimuskohteen tarkastelu täysin uusista näkökulmista, olkoon se ohjelmointitekniillisten ja musiikillis-matemaattisten ilmiöiden tarkastelua tai äänentuottamismekanismien tutkimista. Yhdistelyn luonne on puhtaasti kokeellista ja sitä ohjaa systeemien opiskelu. Vuoropuhelua syntyy, kun nämä yhteytetään samalla areenalla; aistimuksien toteutuksessa dialektisessä prosessissa.

Tietoteoreettisesta näkökulmasta tarkasteltuna minua kiinnostaa, mikä on *apriorisen* ja *aposteriorisen* tiedon välissä oleva tila. Apriorinen tieto on rationaalisesti muodostettua tietoa, joka lisää informaatiota kohteestaan ja joka ei edellytä aistihavaintoa. *Synteettinen* apriorinen tieto lisää niin ikään informaatiota, mutta vaatii havaintokokemuksen tiedon edellytyksenä. Esimerkkinä tästä ovat monet luonnontieteet. Aposteriorinen tieto pohjautuu ensisijaisesti havaintoon. Tämä määritelmä sopii erityisen hyvin taiteen tietoon, jonka totuudet ovat usein synteettisiä.²²

Suunnitteluteoria tarjoaa valmiin mallin iteroituvan kehittämisprosessin kuvaamiseen. Myös tuotetiedon (*arteology*) tutkimusmenetelmät soveltuvat tuotteen – esimerkiksi käyttöesineen, rakennuksen tai taideteoksen – ja sen valmistusprosessin analyttiseen tarkasteluun. Yleisesti ohjaava tutkimus hahmottelee tuotteelle tarvittavan parannuksen ja muodostaa sen pohjalta yleisen teorian, jota voidaan soveltaa kaikkiin sen osa-alueen yksittäistapauksiin.

Esikuvina taiteelliselle työlleni ja teoreettiselle tutkimukselleni on säveltäjä- ja teoreetikkojoukko, johon kuuluvat tärkeimpinä mainitakseni Joseph Schillinger, Henry Cowell, John Cage, Karlheinz Stockhausen, Iannis Xenakis, James Tenney ja Brian Ferneyhough. Nämä edustavat mielestäni yhtenäistä jatkumoa, josta käsin on luontevaa jatkaa heidän esiintuomien musiikillisten ilmiöiden kehittämistä ja teoretisointia tietokoneen mahdollistaman laskennan pohjalta. Heidän näkökulmansa musiikkiin – ja taiteeseen ylipäänsä – on varsin laskennallinen, joten kehittyäkseen suunnan tulisi olla kohti tehokkaampaa ja monipuolisempaa laskentaa. Avaan tärkeimmät ajatteluuni vaikuttaneet seikat tekniikka tekniikalta teosesittelyjen yhteydessä. Kehittyminen kohti yleisempää tietoa tapahtuu syklisesti yksittäistapausten kautta tehtyjen johtopäätösten perusteella.²³

22 Russell 2014.

23 Ibid.

Taiteellisen työni pohjalla olevan tutkimuksen luonne on osin myös vertailevaa. Radikaali näkökulman vaihdos paljastaa kohteestaan sekä siihen käytetystä tutkimusmenetelmästä uusia piirteitä yhtä aikaa. Väliaikaisten tulosten vertailu voi johtaa uuteen kehittämiskierrokseen – tai kolmannen näkökulman syntymiseen. Näkemykseni vertailevasta tutkimuksesta ei rajaa tarkasteltavien kohteiden lukumäärää, vaan kohteita lisätään ja poistetaan tarpeen niin vaatiessa: tätä kehittämisen motivoimaa tutkimusprosessia ohjaa loppuviimein intuitio. Tavoite on ymmärryksen lisääntyminen tutkittavasta, usein abstraktista ja puhtaasti rakenteellisesta kohteesta yksittäistapausten, eli taideteosten, pohjalta. Taideteosten tavoitteet eriytyvät edellä mainitusta siten, että usein taiteessa on tavoiteltavaa antaa yleisölle symbolinen viesti esitystavan kauneuden kautta. Tieteen ja taiteen voidaan nähdä kietoutuneen toisiinsa yhteisen nimittäjän alla. Filosofin Eino Kaila on muotoillut asian elegantisti: ”Kauneus on invarianssien toteutumista.”²⁴

Tutkimukseni on määritelmällisesti *research in arts*: taiteen sisäisessä tutkimuksessa ei voida tehdä eroa taiteen tekemisen ja taiteen tutkimisen välillä. Täten taiteen tekemisen käytäntö on olennaista niin tutkimusprosessin kuin tutkimuksen tuloksien kannalta. Taiteellinen tutkimus hyödyntää kokeellista ja hermeneuttista metodia kohdentuen samaan lopputulemaan, itse taideteokseen.²⁵

2.2. Tutkimusprosessi

Taiteellisen tutkimustyöni prosessista voidaan erottaa selkeästi neljä erillistä vaihetta: 1) teorioiden, tekniikoiden ja ideoiden tutkiminen, 2) säveltäminen, joka voidaan jakaa – vaikkakaan ei mielestäni ole tarpeen – niin ikään kahteen eri osioon: ohjelmointiin ja äänimateriaalin tuottamiseen, 3) konsertin suunnittelu ja toteutus, sekä lopuksi 4) kirjallisen raportin tuottaminen. Näistä kaksi ensimmäistä ovat kietoutuneet toisiinsa prosessina, jonka avaaminen on haasteellista, mutta toisaalta taiteellisen tutkimuksen se varsinainen ydin, joka muodostaa sen merkitsevimmän osan. Konsertti ja kirjallisen osion tuottaminen ovat prosessin kaksi viimeistä osaa, joista ensimmäisestä kuvailen pääkohdat teosesittelyn jälkeen.

24 Kaila, 16.

25 Borgdorff, 18.

Työn toteutus jakautuu tutkimuksen, säveltämisen, konsertin ja kirjallisen työn puolesta vuosille 2008-2015. Konsertin suunnittelin lukuvuonna 2013-2014 ja itse konsertin pidin perjantaina 25.4.2014 klo 19 Helsingin Musiikkitalon Black Box -salissa. Konsertissa esitin seitsemän teosta ja konsertin kokonaiskesto oli tasan tunti. Kirjallisen osuuden työstäminen ajoittui vuosille 2014-2015. Itse teokset ovat valmistuneet vuosina 2010-2014. Teorioiden, tekniikoiden ja ideoiden tutkiminen alkoi jo vuonna 2005 aloittaessani opinnot Sibelius-Akatemiassa ja on edelleen käynnissä oleva prosessi. Päätös järjestää konsertti antoi syyn aikaisemman tutkimuksen ja taiteellisen työn kokoamiseksi.

Työn vaiheet		Sävellykset	
2008-14	Tutkiminen	2010	<i>Etude 5</i>
2010-14	Sävellystyö	2010	<i>Prime Numbers</i>
2013-14	Konserttiohjelmiston suunnittelu	2011-14	<i>Balance Game</i>
25.4.2014	Maisterikonsertti	2013	<i>Doors</i>
2014-15	Kirjallinen osuus	2013-14	<i>Bird Convection</i>
		2014	<i>A Journey into the Consciousness of</i>
		2014	<i>Piano-noise</i>

Taulukko 1: Maisterityön vaiheet ajoittuvat vuosille 2008-15

Olen luokitellut teokset tässä kirjallisessa raportissa niiden yhteisten teoreettisten ja teknologisten piirteiden perusteella kolmeen eri kategoriaan. Ensimmäinen ryhmä koostuu algoritmisesti generoiduista sävellyksistä ja äänistä, joiden yhteinen teoriatausta perustuu spektrimusiikin, sarjallisen musiikin ja kaaosteorian yhdistelmälle. Toinen ryhmä tutkii äänen visuaalisuutta ja visuaalisuuden äänellisyyttä. Näille on yhteistä kuvaprosessoinnissa yleisesti käytettyjen kuvamatriisien ja kuvamanipulaatioiden soveltaminen äänen generointiin, muokkaamiseen tai nuottipohjaiseen algoritmiseen säveltämiseen. Viimeisessä ryhmässä on vain yksi teos sen erityisen luonteen vuoksi: teoksen osalta olen suunnitellut elepohjaisen, nykyaikaiselle peliohjaimelle Wii Remotelle perustuvan elektronisen instrumentin, jossa yhdistän eleellisyyteen algoritmisesti ohjattuja tila-aikaintervalleja ja kompleksisuusteoreettista ajattelua.

Tähän kokonaisuuteen johtanut prosessi alkoi käytännössä vuonna 2007, kun halusin kokeilla peliohjain Nintendo Wii Remoten soveltamista rytmikerrosten iskujen tuottamisen rajapintana. Menetelmän kömpelyyden havaittuani huomioni kiinnittyi vaihtelevan pituisten puskurien, joihin lyödyt iskut tallennettaisiin, peruspulssien muodostamaan polyrytmiseen ja eksaktiin, miltei

matemaattiseen, rakenteeseen.²⁶ Syntyneen rakenteen eksakti metriikka veti puoleensa. Kiinnostuneena laajensin polyrytmisten kerrosten määrää kymmeneen. Pulssijonojen perusteella huomasin myös, että toisteisuuden voi ajatella myös taajuutena: tästä seurasi äänenkorkeuden lisääminen pulssijonojen rytmiin. Rytmisten iskujen välien pituuksien ja yläsävelsarjan osasten välisien etäisyyksien perusteella huomasin nopeasti, että nämä voivat perustua samalle kokonaislukusarjalle ja että sarjaa voi soveltaa kahden eri rakenteen generointiin: kerto- ja jakolaskun kautta.²⁷ Tästä inspiroituneena jatkoin musiikaalisten parametrien ja äänen rakenteen systemaattista tutkimista, jonka lopputuloksena syntyi kokonaislukusarjaan perustuva integraalinen musiikkigeneraattori, joka tuottaa syntetisoitua ääntä ja pianomusiikkia. *Prime Numbers* ja *Etude 5* ovat tämän rakennelman yksittäistapauksia, jotka olen määritellyt taideteoksiksi.

Yritin yhdistää peliohjaimen tähän integraaliseen generaattoriin, mutta en ollut tyytyväinen lopputulokseen; näiden kahden systeemin välinen kuvaus oli liian haasteellista toteuttaa. Olin siirtynyt samaan aikaan tutkimaan äänen prosessointia tilassa ja ajassa viiveiden ja harmonisoinnin muodossa, sekä takaisinkytkennän käyttöä digitaalisessa signaalinkäsittelyssä. Huomasin takaisinkytkennän kautta voivani muodostaa itseäni aina viehättäneitä symmetrisiä intervallipinoja lähdeäänestä. Viiveisiin yhdistettynä tämä tuottaa varsin helposti polyfonian. Mikrofonina käytettäessä akustinen kierto voi syntyä hyvin herkästi ja tästä syystä käytin paljon aikaa rakentaakseni äänenprosessointiketjuun äänenvoimakkuutta tasaavia vastavaikuttavia elementtejä, jotka pitävät kierron kurissa myös lyhyillä viiveillä ja konvergoituvilla harmonisointisarjoilla. Kun tasapaino oli löytynyt, keksin vihdoinkin sopivan käyttökohteen Wii Remotelle – eli tämän tasapainotetun takaisinkytkentäpisteen ohjaamisen eleillä. Tästä lähtökohdasta syntyi teoksen *Balance Game* taustalla oleva ohjelma.

Integraalisessa musiikkigeneraattorissa käyttämäni additiivinen äänisynteesi sekä yläsävelsarjat sysäsivät minut seuraavaksi tutkimaan Fourier'n muunnosta. Samaan aikaan tutustuin tietokonegrafiikan laskentateknikoihin: pikseleihin, kuvaproessointiin ja matriisilaskentaan. Jo lapsuudesta asti ollut kiinnostuneisuuteni synestesiaan, neurologiseen tilaan, jossa aistienvälinen informaatio sekoittuu, sai minut kokeilemaan liikkuvan kuvan äänellistämistä Fourier'n muunnoksen kautta. Fourier'n muunnoksen avulla on mahdollista tuoda rakenteeseen hierarkia,

²⁶ Puskurien suhteelliset pituudet noudattivat kaavaa 2^n , missä n on puskurin indeksi. Olin aiemmin laittanut merkille rytmikuvioiden varsin hierarkkisen rakenteen toisteisessa konemusiikissa, etenkin teknomusiikin alalajissa, joka tunnetaan nimellä *monotrack*.

²⁷ Myöhemmin huomasin tämän pätevän myös potensseihin, neliöjuuriin ja niin edelleen.

joka juurruttaa kokemuskuvan – korkeat taajuudet ylhäällä ja matalat alhaalla.

Matriisitransformaatioiden kautta pystyin myös tuottamaan symmetrisiä formanttialueita äänispektriin. Myös takaisinkytkentä kuvaprosessoinnin alueella osoittautui varsin käyttökelpoiseksi. Näiden kaikkien yhdistelmänä syntyi audiovisuaalinen teos *Doors*. Teoksen voi luokitella kuuluvan myös mediataiteen piiriin, sillä sen abstrakti ja generatiivinen kuvasto olivat teoksen lähtökohtia, mutta musiikinteorian tutkiminen oli polku, jota pitkin päädyin audiovisuaalisuuteen.

Aikaisemman, varsin teoreettisen tutkimustaipaleen jälkeen siirryin tarkastelemaan musiikillisia ja äänellisiä ilmiöitä enemmänkin akusmaattisen musiikin kautta, jonka eräs perusidea on, että eleet ovat kuultavissa, eikä nähtävissä. Sekatekniikkaa käyttäen toteutin seuraavan varsin eleellisen teoksen *Bird Convection*, jonka sävelsin tarkoituksella akusmaattisen musiikin esiintymiskäytäntöä diffusointia varten. Teknisesti teoksen osalta tutkin äänisignaalin käyttöä kontrollisignaalina ja harjoituskohteeksi otin jo aikaisemmin suunnitellun integraalisen generaattorin perusalgoritmin, josta rakensin uuden version. Uudessa versiossa rakenteen laskenta tapahtuu äänisignaalin näytteistystaajuuden nopeudella, sillä kontrollisignaali on äänisignaalia. Kokeilin algoritmin ohjausparametrien yhdistämistä myös äänen kaiun ohjaamiseen. Algoritmi tuotti lukuisia tiläänieleitä. Säveltämisessä ajattelin algoritmin tuotoksia perusmateriaalina, jota päällekkäin kasaamalla ja tätä materiaalia *ääniveistämällä*²⁸ lopullinen teos muotoutuisi. Lisäsin joukkoon myös muunlaista generoitua materiaalia (muun muassa FM-syntetisoitua ja granulaarisesti prosessoitua), sekä kierrätin jo muovautunutta materiaalia lukuisten äänenmuokkaustekniikkojen kautta. Teoksen eleellisyys syntyi tietokoneen avulla generoitujen äänien päällekkäisyyden ja sen mielivaltaisen editoinnin vuorovaikutuksena.

Akusmaattisen musiikin lähdemateriaali on hyvin usein äänite jostakin tosimaailman ääni-ilmiöstä. Jatkaen tämän elektronisen musiikkisuuntauksen parissa työskentelyä otin ensimmäistä kertaa työstämisen lähtökohdaksi äänitteen tosielämän äänestä. Analysoin tietokoneen avulla intialaisen *sitar*-soittimen yhden fraasin äänispektrin, jonka visualisoisin *sonogrammina*. Sonogrammin ajattelin kuvana, josta uudelleensyntetisoidaan kuultava ääni. Tämä johti ajatukseen spektrin muodostaman kuvan muokkaamisesta visuaalisesti. Spektrimusiikin ja graafisen prosessoinnin yhdistämiskokeilun seurauksena tuotin audiovisuaalisen teoksen *A Journey into the Consciousness of*, joka yhdistää niin ikään spektrimusiikin ja sarjallisuuden tekniikoita.

28 Selitän ääniveistämisen tarkemmin kappaleessa 3.1.3. teoksen *Bird Convection* yhteydessä.

Lopuksi kokeilin käyttää graafista prosessointia MIDI-informaation tuottamiseen substraktiivisen prosessin kautta. Valkoista kohinaa suodattamalla, suotimet hyvin teoreettisesti rakentamalla, tuotin mekaanisen pianon koko klaviatuurin mittaisia skaaloja. Teoksen rytmiiikka on erittäin toisteista ja teos onkin kunnianosoitus tutkimukseni merkittävän taustavaikutteen, teknomusiikin suuntaan – ja näin myös tutkimusprosessin ympyrä sulkeutuu. *Piano-noise* on sävellysportfolion viimeiseksi sävelletty teos.

2.3. Reaaliaikaisuudesta

Laskentatehon kasvun myötä reaaliaikaisista ohjausjärjestelmistä tulee entistä käyttökelpoisempia musiikin tuottamista ajatellen. Aikaan sidottu musiikki hyötyy ajassa tehdyistä valinnoista: tätä on instrumentin soittaminen. Reaktiivisuuden merkitys äänen tuottamisen vaikutusmahdollisuuksiin on yhteismitallinen niin kutsuttujen perinteisten instrumenttien kanssa, jossa viive eleen ja äänen välillä on sidoksissa fysikaalisiin ominaisuuksiin. Tietokoneen osalta tämä viive on sidoksissa laskentanopeuteen. Aistiminen ja vaikuttaminen samassa, varsin lyhyessä aikaikkunassa on mahdollista nykyaikaisten reaaliaikaisten synteesi- ja äänentuottomekanismien sekä eleellisten ohjausrajapintojen yhteistoimintana.

"A real-time (RT) system outputs each event after generation along a scheduled time line. A non-real-time (NRT) system generates all events first, then provides output. In the context of a RT CAAC system, the calculation of an event must be completed before its scheduled output."²⁹

Roads et al. määrittelee neljä erilaista ohjelmistollista musikaalista rajapintaa: eleellisen, graafisen editoinnin, formaalisti lingvististen sekä automatisoitujen algoritmien rajapinnat. Useat valmiit ohjelmistot eivät rajoitu vain yhteen määritelmään. Säveltäjät saattavat käyttää kaikkia lähestymistapoja saman sävellyksen muodostamiseen – kategoriat tarjoavat vain karkean jaottelun jo olemassa olevista rajapinnoista, eikä niitä ole tarkoitettu normatiivisiksi

29 Ariza 2005.

luokitteluksi.³⁰

Reaaliaikaisuutta tutkiessani syvennyin erityisesti sävellyksen etenemisen ohjaamiseen. Mahdollisuus kuulla sävellyksen jokainen vaihe yksityiskohtia myöten edesauttaa sävellyksen yksityiskohtien entistä tarkempaa ohjaamista. Tutkin myös, millaisia erilaisia automaatioita voi käyttää ja miten ne vaikuttavat taiteelliseen lopputulokseen; mitkä ovat niiden luonteenpiirteet. Esimerkiksi takaisinkytkentä, sisäkkäiset silmukat, sekvensointi sekä automatisaation ja ulkoisen ohjauksen vuorovaikutus ovat käyttämiäni menetelmiä, joilla kaikilla on omat piirteensä.

Reaaliaikaisten systeemien voi nähdä olevan myös instrumentteja, jolloin ohjelmoinnista tulee itse asiassa instrumentin rakentamista. Säveltämisen paradigma lähestyy väistämättä esittämisen paradigmaa. Improvisaatio on näiden kahden välisellä harmaalla vyöhykkeellä, jossa rakenteiden muodostaminen ja äänien tuottaminen yhdistyy. Koska tietokone mahdollistaa sekä äänen tuottamisen että rakenteiden toteuttamisen, on mahdollista jättää metatason valinnat ihmiselle tai automatisoida koko prosessi algoritmin kautta.

Reaaliaikaisuus mahdollistaa myös prosessien näkemisen visualisoinnin ja havainnollistamisen kautta. Prosessin kuuleminen reaaliajassa auttaa ominaisuuksien identifioimisessa, esimerkiksi mielenkiintoisten musikaalisten tilanteiden löytämisessä, ja niiden paikallistaminen helpottuu ajassa tarkkailun kautta. Moniaistiset menetelmät lisäävät mahdollisuutta ymmärtää taiteen sisältöä perustavanlaatuisesti, etenkin kun otetaan huomioon erilaisten ihmisten taipumukset oppia ja hahmottaa.

Reaaliaikaisuuden vaikutus musikaaliseen kokemukseen ja sen välittämiseen on reaktioissa, jotka kuuluvat loppuviimein muodostuneessa musikaalisessa kudoksessa. Studiotyöskentely mahdollistaa ajasta eristetyin musikaalisten eleiden rakentamisen, jonka lopputulema on kuulijalle usein kognitiivisesti haastavampi, kuin reaaliaikaisesti rakennetun musiikin. Musikaalisen rakenteen ja automaatiikan yhdistäminen reaaliaikaiseen valinnanmahdollisuuteen tekee säveltämisestä esittämistä.³¹

"And if the path of stubbornly non-interactive instruments turns out to be a blind alley, there are many ways to make them attend to the outside world in realtime. -

30 Roads et al., 615-616.

31 Tällaisesta järjestelmästä käytetään nimeä *active instrument*; Chapel 2003.

- - Live interaction has become increasingly popular, thereby possibly turning attention away from the old-fashioned métier of non-realtime algorithmic computer music.”³²

32 Holopainen, 367-368.

3 . TEOSSESITTELY

Teokset jakautuvat musiikinteoreettisen, systeemiteoreettisen, ohjelmointitekni- sen sekä niiden esittämisessä käytettyjen instrumenttien perusteella kolmeen eri ryhmään: 1) *Prime Numbers*, *Etude 5* ja *Bird Convection*, 2) *Doors*, *A Journey into the Consciousness of* ja *Piano-noise* sekä 3) *Balance Game*. Jako eroaa teoksien ryhmittelystä konserttia varten, sillä ryhmittäminen taiteellisesti mielekkääksi kokonaisuudeksi eroaa teoksien teoreettisesta ryhmittymisestä. Koska sävellyksellinen ajatteluni kumpuaa eri tieteenalojen teoreettisten käsitteiden yhdistelemisestä, on tämä jaottelu suunnitteluteorian metodologiaan nojaten perustelluin.

Portfolion teoksiin tutustumisessa kannattaa huomioida seuraavat seikat. *Prime Numbers* ja *Etude 5* ovat molemmat koostettu digitaalisessa äänityöasemassa, jolloin elektroninen nauha ja MIDI-informaatio toistuvat mahdollisimman tarkasti yhdessä. Stereofonisen teoksen *Bird Convection* diffusointia ajatellen teoksen dynaaminen skaala on varsin laaja, joten tästä syystä ehdotan kuuntelemaan teoksen varsin isolla äänenpaineen tasolla, jotta hiljaiset yksityiskohdat ja teoksen dynamiikka välittyvät tarkoituksenmukaisesti. *Piano-noise* ja *Balance Game* ovat molemmat otteita konserttitaltiointista, jonka laatu on mielestäni välttämätöntä. *A Journey into the Consciousness of* on tässä kaksikanavaisena, vaikka konsertissa kuultiin kahdeksakanavainen versio. *Doors* on kaikkein lähinnä konsertissa esitettyä versiota.

Konserttitaltiointissa näkyy sekä välianimaatiot että audiovisuaalisten teosten kuvaosuudet aivan kuten konsertissa. Taltiointin ääni tulee kokonaisuudessaan konserttitilasta. Sen signaali- kohinasuhde on varsin heikko, mistä johtuen konsertin hyvin dynaaminen ääni hukkuu välillä taustakohinaan.

3.1. Prime Numbers, Etude 5 ja Bird Convection

"It seems to me that the entire range of complex sounds can be integrated functionally within a musical logic, rather than used as a startling daub of colour, or only for expressive ends, for their anomalous or paroxysmal qualities. But on a

more fundamental level they have an irreplaceable role in all processes of harmony and timbre. With their help, timbres are split into harmonies, harmonies fuse as timbres; without them, certain types of evolution that by definition require intermediate stages would prove impossible.”³³

Prime Numbers ja *Etude 5* ovat teoksia stereofoniselle elektroniselle nauhalle ja mekaaniselle pianolle, sekä sävellysportfolion ainoat täysin generoidut teokset. Ne perustuvat samaan generatiiviseen algoritmiin sekä algoritmisen musiikin sävellysmetodiin, jossa sävellyksmuodostuu itsenäisesti reaaliajassa etenevän laskentaprosessin kautta keskeytyksettä. Generoinnin myötä syntyvät äänet ja nuotit tallennetaan myöhempää esittämistä varten: generaatiot ovat ikään kuin tallennettuja esityksiä, joiden toteuttajana on tietokone. Teokset koostuvat syntetisoidusta äänestä sekä MIDI-informaatiosta, joka on tarkoitus toistaa konserttitilanteessa mekaanisella pianolla.

Algoritmin perusajatus on yhdistää sarjallisen musiikin ja spektrimusiikin tekniikoita äänirakennelmien generointiin tietokoneohjelmassa reaaliaikaisesti. Algoritmin toiminta on kaoottista tai kompleksista, tarkastelutasosta riippuen, mutta joka tapauksessa indeterminististä: täysin samat lähtöarvot tuottavat toisistaan poikkeavia generaatioita. Generoinnin lähtökohta on kymmenen yksilöllisen positiivisen kokonaisluvun muodostamassa joukossa, jonka perusteella lasketaan kaikkien äänirakenteen muodostamiseen osallistuvien parametrien arvot niin mikro-, meso- kuin makrotasolla; perusjoukon perusteella lasketaan sinusoidiäänien verhoikäyrän muoto, sävelten rakenne, sekä musikaalisten fraasien ja teoksen muoto. Koska elektroninen nauha ja mekaaninen piano soittavat unisonossa, algoritmin kaoottinen tai kompleksinen käyttäytyminen on yksityiskohtaisempaa syntetisoiduissa äänissä. MIDI-informaation kautta välittyy ainoastaan äänen nelitahoinen luonne³⁴: äänenkorkeus, äänien kesto, äänien voimakkuus ja äänenväri.

Bird Convection on elektroninen ja stereofoninen nauhateos, joka on tarkoitettu diffusoitavaksi monikanavaisella äänentoistojärjestelmällä. Teoksen pääasiallisena sävellysmateriaalina on käytetty algoritmisesti generoituja ja syntetisoituja ääniä. Ääniä tuottava algoritmi on jatkumo teoksissa *Prime Numbers* ja *Etude 5* käytetyille algoritmille, mutta äänien, sävelten ja muodon laskeminen tapahtuukin äänen näytteistystaajuuden nopeudella, mikä muuttaa generaatioiden luonnetta. Teoksen sävellysmetodi poikkeaa myös edellä mainituista: generaatiot ovat

33 Murail, 135.

34 Griffiths, 34. Käsite tulee mitä ilmeisimmin John Cagelta.

materiaalia, jota mielivaltaisesti työstäen teos muotoutui. Nimitän käyttämäni editointi- ja komponointimetodia termillä *audiosculpting*, ääniveistäminen.

3.1.1. Yhteinen teoriatausta

Minua kiinnosti matemaattisesti yksinkertainen ajatus, että koko sävellys voisi perustua yhteen numerosarjaan. Ajatus herätti myös kysymyksen siitä, miten tämä olisi mahdollista.³⁵ Tässä osiossa musiikinteoreettisen tutkimuksen kohteena on kokonaislukusarjojen käyttö abstraktin musikaalisen rakennelman perustana ja taiteellisen tutkimuksen kohde sen käytössä musiikin tuottamiseen. *Prime Numbers* on näistä teoksista ainoa, joka täyttää alussa esittämäni kriteerin. Siitä huolimatta kysymys johti laajempaan rakenteeseen, jonka kuvailen tässä kappaleessa.

Spektrimusiikin perusta on äänen fysikaalisessa rakenteessa. Tämä rakenne – abstraktiona tai ääntä sonogrammin avulla tarkasteltuna – määrittää säveltämisessä käytettyjen parametrien arvoja. Suorat kuvaukset liittyvät yleisimmin äänenkorkeuteen, äänten suhteellisiin voimakkuuksiin sekä tapahtumien keston. Rakenteen perusteella voidaan määritellä myös orkestrointia sekä erinäisiä musikaalisen rakenteen transformaatioita.³⁶ Reiglen mukaan *spektrimusiikki*-käsitettä voidaan käyttää mistä tahansa musiikista, missä sointivärillä on merkittävä rakenteellinen tai sävelkielellinen asema.³⁷

Perusjoukon yksikköjen väliset lukusuhteet vaikuttavat suoraan rakenteiden parametrien kuulokuvaan; filosofisesti tämä pohjautuu Pythagoraan varsin järjestäytyneeseen maailmankuvaan. Täyssarjallisuuden metodien avulla tämä järjestyneisyys laajentuu kattamaan melkein koko rakenteen. Takaisinkytkentä nivoo loppuviimein mikro- ja makrotasot yhteen toteuttaen kaaosteorian käsityksen itsesamanlaisuudesta. Lopuksi simulaation ei-deterministisyys tuotetaan takaisinkytkennän välissä olevalla algoritmin ainoalla satunnaisfunktioilla.

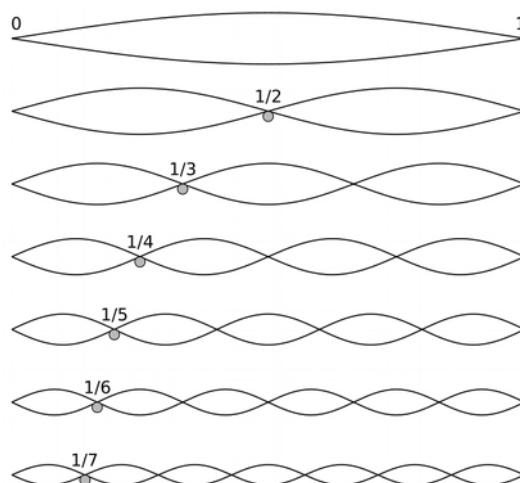
35 Griffiths, 38; kysymykseen on vastannut myös Goeyvaerts täyssarjallisuuden kehittymisen varhaisvaiheessa.

36 Rose 1996; Cornicello 2000; Moscovich 1997.

37 Reigle, 1.

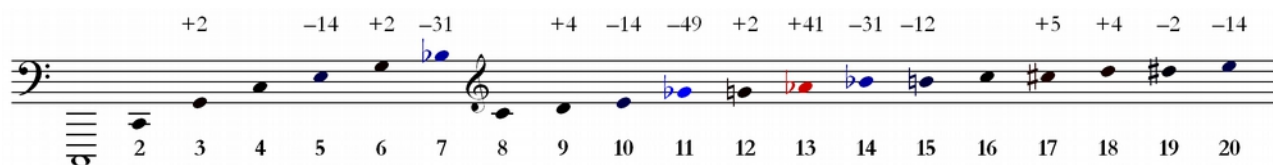
Äänen spektri musiikin sävelikkönä

Spektrimusiikkia määrittelevin ominaisuus on sen sävelikkö, joka johdetaan äänen spektrin taajuuksista, yläsävelistä. Musikaalisen instrumentin tai ihmisäänen tuottama ääni syntyy tyypillisesti jousen tai ilmapatsaan harmonisesta värähtelystä. Värähdellessään jousi muodostaa perustaajuuden ohella moodeja, jotka jakavat jousen lyhyempiin tasavälisiin osiin harmonisen sarjan mukaisesti³⁸: harmoninen spektri koostuu hitaimmasta oskillaatiosta, eli äänen perustaajuudesta, sekä sen kokonaislukukerrannaisista, yläsävelistä.³⁹ (Kuva 1)



Kuva 1: Värähtelevän jousen harmoninen sarja; perustaajuus ja sen moodit (Richards 2008)

Äänispektri voi olla harmoninen tai epäharmoninen: harmonisen spektrin yläsävelet ovat kokonaislukukerrannaisia perustaajuudesta, epäharmonisen spektrin taas ei. Pienten kokonaislukusuhteiden perusteella muodostettua säveljärjestelmää kutsutaan luonnonvireiseksi viritysjärjestelmäksi⁴⁰, joka eroaa tasavireisestä järjestelmästä kuvan 2 mukaisesti.



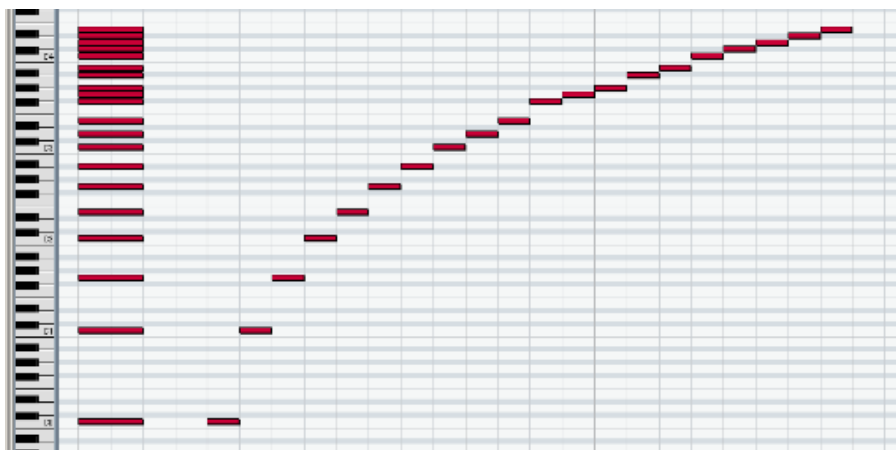
Kuva 2: Harmoninen sarja musikaalisena notaationa. Numero kunkin harmonisen yläpuolella kertoo, kuinka monta puolisävelaskelen sadasosaa se eroaa tasavireisestä järjestelmästä. (MusicMaker5376 2007)

38 Roederer, 106; Benson, 15-16; Roads et al., 499.

39 Roads et al., 16.

40 Benson, 159-160.

Yläsävelsarjan peräkkäisten yksikköjen väliset lukusuhteet muodostavat intervallin käsitteen.⁴¹ Yläsävelsarjaa korkeammalle mentäessä intervallit pienenevät asteittaisesti. (Kuva 3; yläsävelet on pyöristetty lähimpään puolissävelaskeleeseen) Teoreettisesti kiinnostava konsepti on alasävelsarja, joka syntyy kertolaskun sijaan perustaaajuutta kokonaisluvulla jakamalla.⁴² Yksikköjen väliset lukusuhteet ovat samat kuin yläsävelsarjassa, mutta intervallien suunta kääntyy: ominaisuus johtaa hyvin kromaattiseen alarekisteriin.⁴³



Kuva 3: Yläsävelsarja MIDI-sekvensserissä – 20 enimmäistä jäsentä spektraalisena sointuna sekä arpeggiona

Sävelikön, eli skaalan, muodostamisen voi ajatella induktiiviseksi tai deduktiiviseksi prosessiksi; näkemys siitä, muodostuuko skaala äänensävyyn vai lukusuhteiden perusteella.⁴⁴ Oma lähestymistapani generatiiviseen musiikkiin on varsin matemaattinen: kokonaisluvuista johdetun numerosarjan perusteella perustaaajuudesta laskettu äänen spektri muodostaa soinnun, jonka yksiköt muodostavat käytetyn sävelikön. Mielenkiintoista tästä tekee sen, kuinka eri lukusarjat kuulostavat myös erilaisilta: aritmeettinen sarja (*Bird Convection*), alkulukusarja (*Prime Numbers*) ja ajassa muuttuva sarja (*Etude 5*) ovat vain muutama esimerkki mahdollisista sarjoista generatiivisen prosessin lähtökohdaksi.⁴⁵

Äänispektrin temporaalinen analogia

Historiallisista syistä kullakin intervallilla on yksilöllinen nimi, kuten oktaavi, ylinouseva kvintti ja pieni sekunti – ja historiallisista syistä nimiä käytetään ainoastaan sävelkorkeuden yhteydessä.

41 Loy, 15.

42 Cowell, 21-24.

43 Rose, 15.

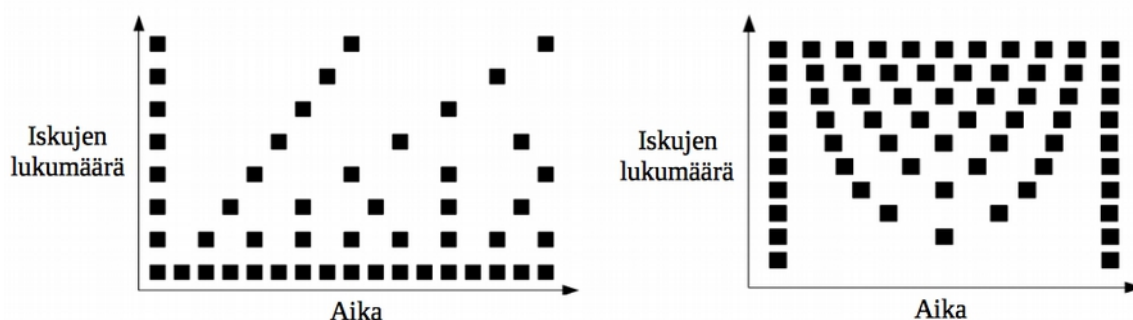
44 Loy, 47-48.

45 Kattavan selityksen rationaalilukujen suhteesta musiikillisiin intervaleihin tarjoaa Benson, 136-234.

Laajemmin ajateltuna *intervalli*-käsitteen voi nähdä soveltuvan laajemminkin minkä tahansa musikaalisen parametrin yksiköiden tai tapahtumien välisen etäisyyden mitaksi.

Taideeteetikko Joseph Schillinger toteaa, että numerosarjan luonne, jolle tietty jatkumo perustuu, määrittelee jatkumon kehittymisen ja kasvun muodon. Sen jälkeen hän luettelee useita mahdollisia lukusarjoja temporaalisen generatiivisen prosessin perustaksi. Lisäksi hän kuvailee kaksi tapaa johtaa rytmisiä rakenteita peruspulssijonosta: pulssin ryhmittämisen (*factorial continuity*) ja jakamisen (*fractional continuity*) perusteella voidaan määritellä ajallisen jatkumon luonne.⁴⁶ 1900-luvun alussa säveltäjä Henry Cowell tutki harmonisen sarjan soveltamista musiikin temporaaliseen ulottuvuuteen ja kuvailee niin ikään kaksi tapaa johtaa rytmikerroksia peruspulssijonosta: ryhmittäminen⁴⁷ ja jakaminen.

Ylä- ja alasävelsarjan temporaalisen analogian voi määritellä äänen korkeuden ja keston yhteisellä matemaattisella perustalla. Nämä kaksi toisilleen sukua olevat rytmistä rakennetta (kuva 4) voidaan tuottaa laskennallisesti samasta kokonaislukusarjasta⁴⁸: *ryhmitelty rakenne* syntyy, kun peruspulssijonon taajuuden arvo jaetaan harmonisen sarjan yläsävelen indeksin arvolla (eli $f_i=f_0/i$, missä f_0 on perustaajuus ja i on yläsävelen indeksi). Tällä tavoin johdetut rytmikerrokset ovat aina hitaampia kuin peruspulssijono. *Jaettu rakenne* syntyy käyttämällä jakolaskun sijaan kertolaskua ($f_i=f_0*i$). Myös Pierre Boulez kuvailee metodin vastaavanlaisten rakenteiden saavuttamiseksi.⁴⁹ Abstraktiota käytetään edelleen sen perustavanlaatuisesta luonteesta johtuen tietokoneavusteisessa säveltämisessä ja uusien algoritmien kehittämisessä.⁵⁰



Kuva 4: Ylä- ja alasävelsarjan temporaalinen analogia tuottaa kaksi rakennetta: ryhmitelty rakenne (vasemmalla) ja jaettu rakenne (oikealla)

46 Schillinger, 85-107.

47 Vaikkakaan Cowell ei käytä tätä termiä, on sen soveltuvuus johdettavissa hänen kuvailustaan.

48 Ylipää, 12-13.

49 Boulez, 52-55.

50 Nauert 2007.

On huomioitavaa, että taajuuden ja ajan keskinäinen riippuvuus on määritelty fysikaalisesti seuraavanlaisesti: $f=1/t$, missä t on aika, eli tapahtumahetkien välinen etäisyys aika-akselilla, sekä f on taajuus, eli toistuvan tapahtuman määrä aikayksikköä kohti. Musiikinteoreettisessa keskustelussa on tapana käsitellä rytmikkaa aika-akselin ilmiönä, eikä taajuuksina.

Laskennallisesti taajuus on kääntäen verrannollinen pulssien etäisyyteen. Koska jakolasku on ei-kommutatiivinen operaatio, ja ryhmitellyn ja jaetun rakenteen muodostamisessa käytetyt kaavat ovat toistensa käänteisfunktioita, ovat kumpikin matemaattisesti uniikkeja funktioita.

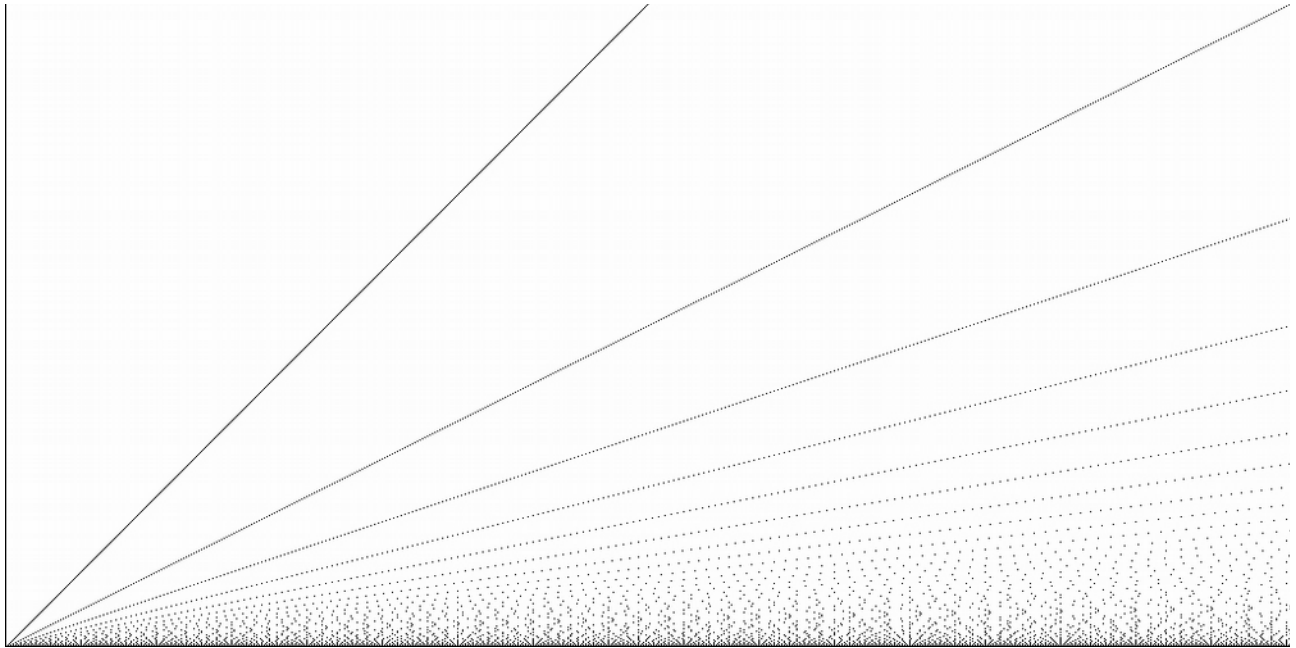
Näillä kahdella rytmisellä rakenteella on kummallakin uniikki musikaalinen luonne. Ryhmitellyn rakenteen eri kerroksilla on yhteinen peruspulssi, esimerkiksi kahdeksanosanuotti tai 100 millisekuntia, jota ryhmitellään suuremmiksi aika-arvoiksi, kuten neljäsosanuotiksi, puolinuotiksi ja kokonuotiksi. Yhteisen aikavakion johdosta musiikinteoreetikko Harald Krebs näkeekin rakenteella olevan suoria kytköksiä musikaalisen metrin käsitteeseen ja hän määrittelee useita metrisiä käsitteitä, kuten *tulkinnallinen rytmikerros*⁵¹, *metrinen konsonanssi*, *metrinen dissonanssi* ja *hypermetri*.⁵² Ryhmitellyn rakenteen soveltumista generatiiviseen tonaalisen musiikin teoriaan ja erityisesti sen metriikkaan ovat pohtineet Lerdahl ja Jackendoff.⁵³ Ryhmitellyn rakenteen kaltaista kromaattista rytmikkaa esiintyy usein myös sarjallisen musiikin säveltäjien töissä. Esimerkiksi Stockhausen alkoi vältellä huolestuneisuuteen asti yhteneväistä sykintää, mikä on väistämätön seuraus kromaattisten rytmikerrosten päällekkäistämisestä.⁵⁴

51 *Interpretive layer*; suomennos tekijän.

52 Krebs 1999.

53 Lerdahl & Jackendoff 1983.

54 Griffiths, 41.



Kuva 5: Laajempi otos ryhmitelystä rakenteesta

Ryhmitelty rakenne (kuva 5) paljastaa x-akselilla olevien kokonaislukujen mahdolliset jakajat y-akselilla. Jos kolumnissa on vain kaksi pikseliä, kyseessä on alkuluku; kolumni koostuu näin ollen sen vertikaalisen indeksin ainoista jakajista, eli luvusta yksi ja luvusta itsestään.

Komposiittiluvuilla on useampi pikseli samassa kolumnissa.⁵⁵ Kuvassa on 1024x512 pikseliä.

Jakavaa rakennetta määrittelevät päällekkäiset polyrytmit, jotka mahtuvat kaikki peruspulssijonon yhteen iskujenväliin. Iskun jakaminen tasavälein tuottaa rytmiset käsitteet, kuten duoli, trioli, kvintoli ja septoli. Merkityksellistä on, että kuvan 4 oikeanpuoleinen rakenne muistuttaa värähtelevän jousen moodeja (kuva 1) ja Cowellin mukaan nämä kaksi ovatkin täysin analogisia.⁵⁶

Musiikin dissonanttisten piirteiden sietokyvyn kasvamisen voidaan nähdä vaikuttaneen sävellystekniikoiden ja -teorioiden kehittymiseen.⁵⁷ Systemaattinen tasavireisen järjestelmän kehittäminen vaikutti aikansa musiikin estetiikkaan, joka kulminoitui tonaalisen hierarkian romuttumiseen dodekafonian muodossa. Spektrimusiikin sävellystekniikoiden ero sarjallisuuden vastaaviin on selvä: ensimmäiset painottavat parametriavaruuden hierarkkista jakamista luoden mielikuvan gravitaatiosta, siinä missä jälkimmäiset painottavat parametriavaruuden kromaattista

⁵⁵ Ventrella 2010.

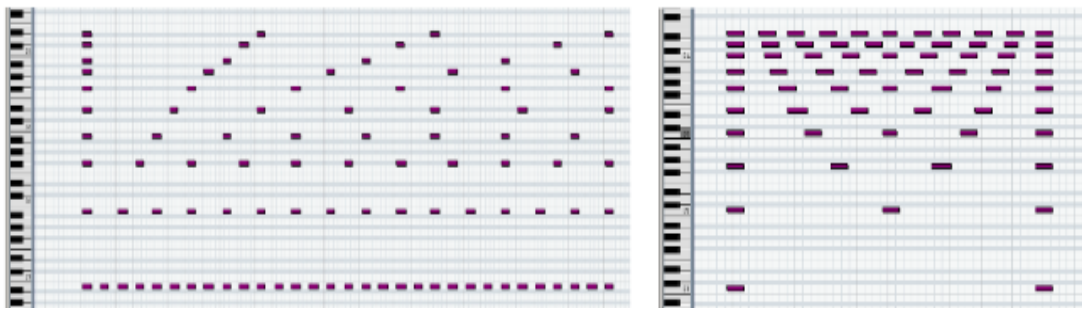
⁵⁶ Cowell, 47-48, 50-51.

⁵⁷ Ibid. 1930; Tenney 1988.

ja tasavälistä jakoa.

Spektrikaanonit

Horisontaalisen ja vertikaalisen ulottuvuuden isomorfismi johti rakennelmaan, jonka esitteli amerikkalainen spektralisti James Tenney. Puhtaasti matemaattisessa sävellyksessään *Spectral Canon for Conlon Nancarrow* Tenney projisoi tasavälisiä pulssijonoja yläsävelsarjan 24 ensimmäiseen jäseneen niin, että kukin niistä sykkii eri nopeudella. Sävellyksestä erottuu kaksi selkeästi erilaista ja perustavanlaatuista rakennetta (kuva 6): vasen rakenne rakentuu sävellyksen alussa rytmikerros kerrallaan, jonka jälkeen rakenne kiihdyttää sekä interpoloi asteittaisesti oikeanpuoleiseen rakenteeseen, joka päättää sävellyksen. Säveltäjä Larry Polansky kuvaileekin analyysissään sävellyksen olevan enemmänkin luonnonlaki kuin sävelletty teos.⁵⁸



Kuva 6: Kaksi perusrakennelmaa James Tenneyn sävellyksestä *Spectral Canon for Conlon Nancarrow*: spektrikaanonit

Olen hahmotellut aikaisemmassa työssäni spektrikaanoneiden teoreettista systematisointia. Puristisesti ajateltuna spektrikaanoneita on neljä perusrakennelmaa: ylä- ja aläsävelsarjan sekä ryhmitellyn ja jaetun rytmirakenteen kaikki yhdistelmät. Näistä rakenteista kaksi (kuvan 6 rakenteet) muodostaa tila-ajan suhteen *tiukan kytköksen*: sävelten lukusuhteet ilmenevät niitä vastaavissa rytmisissä lukusuhteissa.⁵⁹ Sarjallisen musiikin sävellystekniikkaa käyttäen kaikista rakenteista on myös mahdollista tuottaa peilikuvat, kun rytmikerrosten taajuuden laskemisessa käytetyn perusjoukon kääntää retrogradiksi (n, ..., 2, 1) suhteessa sävelkorkeuden perusjoukkoon, tai päinvastoin. Tällöin spektrikaanoneita on yhteensä kahdeksan.⁶⁰

⁵⁸ Polansky, 225.

⁵⁹ Huomaa esimerkiksi oktaavin (2:1) ilmeneminen kuvan 6 rakenteiden kahden alimman rytmikerroksen välillä.

⁶⁰ Ylipää, 14-17.

Spektrikaanonit ovat ilmenneet lähes aina automaattipianon tai muun sähkömekaanisen instrumentin yhteydessä. Conlon Nancarrow sävelsi useita rytmikaanoneita mekaaniselle pianolle Cowellin vuonna 1930 julkaistun kirjan innoittamana. Tenneyn Spectral Canon for Conlon Nancarrow on niin ikään sävelletty automaattipianolle. Esikuva edellä mainituille on ollut vielä aikaisempi sähköinen instrumentti, Henry Cowellin ideoima⁶¹ ja Leon Thereminin kehittämä *Rhythmicon*, jota kutsutaan maailman ensimmäiseksi sähköiseksi 'rumpukoneeksi'. Laite tuottaa kuvan 6 oikeanpuoleisen kuvan mukaisia äänirakennelmia. Käyttäjää voi valita yhden tai useamman sävel-rytmikerroksen soittimen koskettimistolla aina 16. harmoniseen asti.⁶²

Kohti invarianttia rakennetta

Sävellyksen perustaminen yhdelle numerosarjalle vaatii vastapainoksi monimutkaisuutta, sillä musiikki on mielestäni parhaimmillaan moniulotteisena. Käytän tässä kappaleessa kuvailun rakenteen yhteydessä termiä *perusjoukko* sarjallisuudessa yleisesti käytetyn *rivi*-termin sijasta, sillä tässä järjestelmässä numeroiden käyttö musiikin generoinnissa poikkeaa hieman sarjallisesta metodista. Perusjoukon rikastamiseen ja laajentamiseen on rajaton määrä mahdollisia menetelmiä.⁶³ Toisen maailmansodan jälkeen kehittynyt musikaalisen materiaalin organisointitapa, integraalinen sarjallisuus, määrittää sävelkorkeuden ohella myös muiden musikaalisten parametrien arvoja yhden numerosarjan tai parametrien yksilöllisten sarjojen perusteella.⁶⁴ Itsesamanlaisuuden käsite nousee 1900-luvun jälkimmäisellä puoliskolla syntyneestä matemaattisesta mallista murtoluku-ulottuvuuksista, eli fraktaaleista, joissa perusrakenne on invariantti sen skaalaustasosta riippumatta. Nämä formaalit menetelmät soveltuvat hyvin myös musiikin rakentamiseen sarjasta numeroita tai lukusuhteita.⁶⁵ Matemaattisen systeemitteorian mukaan musiikki voidaan redusoida sen perusparametrien vuorovaikutukseksi.⁶⁶

Rytmiikan ja äänenkorkeuden lisäksi musiikin muita perustavanlaatuisia parametreja ovat äänen kesto, äänenvoimakkuus sekä äänenväri. Yhdessä nämä neljä jälkimmäistä muodostavat äänen nelitahoisen luonteen.⁶⁷ Luonnollisessa äänessä yläsävelillä on kullakin yksilöllinen verhoikäyrä,

61 Cowell, 64-65.

62 Dixon 2009.

63 Roads et al., 856-909.

64 Ibid., 667, 833.

65 Ibid., 881.

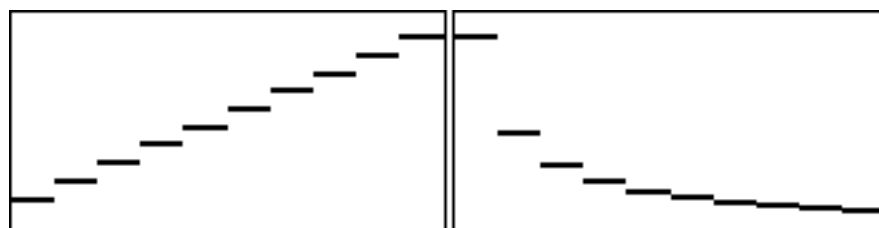
66 Ibid., 857.

67 Griffiths, 34; tosin kun puhutaan äänen kestosta (*duration*), ei yleensä tarkoiteta sen rytmiikkaa.

jonka voi yksinkertaistaa neljään vaiheeseen: tämä tunnetaan käsitteellä *ADSR*-verhokäyrä.⁶⁸ Verhokäyriä käytetään additiivisessa äänisynteesissä määrittelemään kunkin komponenttitaajuuden amplitudin muuttumista ajassa ja se vaikuttaa merkittävästi äänen kuulokuvaan.

Additiivisessa äänisynteesissä yksinkertaisista ääniaalloista muodostetaan kompleksisempia ääniä elementtejä summaamalla.⁶⁹ Menetelmä sopii hyvin erillisten rytmikerrosten sisältämien äänien tuottamiseen ja sitä onkin laajasti sovellettu varhaiseen elektroniseen musiikkiin, sarjalliseen musiikkiin ja spektrimusiikkiin. Tekniikkaa voi soveltaa myös orkestraatioon: tällöin menetelmää voidaan ajatella instrumentaalisenä additiivisena synteesinä.⁷⁰

Parametrien arvot lasketaan samalla tavalla kuin äänenkorkeuden ja pulssijonojen taajuudet: perusjoukko muodostaa lukusuhteet, jotka määrittelevät kunkin parametrin arvon. Kertomisen ja jakamisen seurauksena syntyy niin ikään kaksi rakennetta: lineaarinen ja geometrinen progressio. (Kuva 7)



Kuva 7: Yleinen parametrisaatio noudattaa myös kerto- ja jakolaskun tuottamia lukusuhteita

Metaparametrit ovat parametreja, jotka ohjaavat usean parametrin joukkoa. Algoritmissani kullakin parametrijoukolla on kaksi metaparametria, jotka kontrolloivat joukon laajuutta sekä sijaintia parametriavaruudessa kertomalla ja summaamalla vastaavilla muuttujilla.⁷¹ Menetelmä määrittää tehokkaasti parametrijoukon polyfonian: kertomalla nolalla ja summaamalla vakiolla saa parametrijoukko saman arvon. Ominaisuudessa manifestoituu invarianssi ja ykseys moninaisuudessa.⁷²

68 Roads et al., 97; lyhenne tulee englanninkielisistä sanoista *attack, decay, sustain* ja *release*.

69 Ibid., 134.

70 Rose, 8.

71 Boulez, 53-54; Boulez käyttää käsitettä *generaation tiheys (density of generation)* kuvaillessaan perusjoukosta johdettavien parametrijoukkojen modifikaatioita vakiolla tai muuttujalla summaamalla, vähentämällä, kertomalla ja jakamalla.

72 Ibid., 39; Cowell, 83.

Parametriavaruuden määrittelyyn vaikuttaa kunkin musikaalisen parametrin haluttu laajuus, eli toisin sanoen se, kuinka matala tai korkea, hidas tai nopea musikaalinen ääni voi olla. Raja-arvojen alempi osa määräytyy summaavan metaparametrin pienimpänä mahdollisena arvona ja ylempi osa summaavan ja kertovan metaparametrin maksimiarvojen summana. Useiden metaparametrien liikkumaväli (0-999) muutetaan lineaarisesta epälineaariseksi kaavalla $x=i^y$, jossa i on epälineaarisuusvakio, esimerkiksi 1,003 tai 1,015. Uusi liikkumaväli skaalataan niin ikään halutun laajuuden mukaiseksi. Olen määritellyt kunkin parametrin raja-arvot sekä epälineaarisuusvakioiden kuulokuvan perusteella ja kokeilun kautta, jotta saavutetaan taiteellisen vaikutelman synnyttämiseksi tietty avaruuden muoto ja laajuus sekä generatiivisen rakenteen käyttäytyminen. Kuva 8 näyttää esimerkinomaisesti nelitahoisen äänen metaparametrien lopulliset arvot sekä parametrijoukkojen muodon. X-akseli erottaa parametrijoukon instanssit toisistaan ja y-akseli kuvaa instanssien suhteelliset arvot. Arvot kasvavat ylöspäin mentäessä. Äänenkorkeuden (*freq.*) ja äänien alkamishetkien välit (*ioi*) on ilmaistu taajuuksina, äänenvoimakkuus (*vel.*) skalaareina ja äänen pituus (*dur.*) millisekunteina.



Kuva 8: Musikaalisen äänen parametrijoukkoa muokataan perusjoukkoa metaparametreilla kertomalla ja summaamalla

Elektronisia generatiivisia järjestelmiä ja ohjelmia on kehitetty lukuisia, mutta useimmat niistä ovat lähinnä säveltäjän itsensä käyttämiä.⁷³ Mainitsen kuitenkin yhden esimerkin, jonka toimintaperiaate on yksinkertaisuudessaan hyvä kuvaus sarjallisesta estetiikasta ja tekniikasta kummunneille virtauksille. Elektronimusiikin pioneeri Hugh Le Cainen suunnittelema *Serial Sound Structure Generator* (1966-1970) on täyssarjallinen äänigeneraattori perusparametreinaan äänenkorkeus, äänen kesto⁷⁴, verhokäyrän attack-decay -vaiheet sekä äänenväri. Generaattori on toimintaperiaatteeltaan yksinkertaistetun analogisen sekvensserin esiaste. Parametrisarjoja permutoidaan syklisesti *ad infinitum*. Sarjalliset rivioperaatiot (rapuliike, inversio ja rapuliikkeen inversio) ovat myös mahdollisia sekvenssin muokkaajia. Le Caine ja Ciamaga pyytävät lukijaa

73 Roads et al., 836.

74 Ilmeisesti ei ole ollut tarpeen määrittellä, viitataan termillä äänen alkamiskestojen väliin vai äänen pituuteen; nämä kaksi voidaan ajatella samana asiana, jota verhokäyrä moduloi tuoden variaatiota äänien pituuksiin.

kiinnittämään huomiota siihen, että laitetta ei ole ajateltu puhtaasti sävellyslaitteistoksi, vaan enemmänkin perusteelliseksi sarjallisen rakenteen tutkimusvälineeksi sekä sarjallisen logiikan laskukoneeksi.⁷⁵

Kokeiltua omassa algoritmissani perusjoukon permutaatiota ajan funktiona totesin sen nopeasti turhaksi: sillä ei ole vaikutusta, sillä parametrit saavat kaikki arvonsa perusjoukosta ja näin ollen sen permutaatio olisi ainoastaan indeksin siirtämistä. Perusjoukko ilmenee väistämättä polyfonisen rakenteen automatisoinnilla ilman permutointia. Mikäli permutaatio-operaatio haluttaisiin kuuluttavaksi, tulisi permutointi tapahtua parametrien kesken, mikä taas vääristäisi perusjoukon hierarkkista rakennetta. Inversion totesin tarpeettomaksi, sillä miellän itse asiassa – tämän abstraktion osalta – kahden perusoperaation (kerto- ja jakolaskun) olevan keskenään inversioita (kuva 7): taajuusavaruudessa tämä johtaa yläsävelsarjan sijaan aläsävelsarjaan, jonka intervallit ovat itse asiassa identtisiä, mutta käänteisiä yläsävelsarjaan nähden. Samaa analogiaa sovelsin muihin parametreihin. Kunkin parametrin osalta on mahdollista valita joko aritmeettinen tai geometrinen muodostustapa.

Algoritmissani sarjallisiin rivioperaatioihin lukeutuu ainoastaan rapuliike, joka voidaan suorittaa kunkin parametrin perusjoukon kopiaan erikseen. Tämä mahdollistaa esteettisesti miellyttävämmän musikaalisen rakenteen tuottamisen. Parametrijoukkojen keskinäiset muodot voidaan asettaa esimerkiksi niin, että hitain rytmikerros saa isoimman nuotin pituuden arvon, tai korkein sävel saa pienimmän äänenvoimakkuuden arvon – tai päinvastoin. Operaatio on myös välttämätön perusjoukkojen (kuva 7) kasvusuunnan yhtenäistämiseksi.

Ilmeisimpien konsonoivien intervallien ja sointujen – kuten avoimien oktaavien, kvinttien ja kvarttien sekä kolmisointujen – välttely on ollut osa aikaisemman musiikin kontrapunktikäytäntöjä; myös dodekafonisessa ja varhaisessa sarjallisuudessa rivin tulee olla tietynlainen.⁷⁶ Kromaattisen asteikon käyttö sarjallisessa musiikissa johtaa väistämättömästi sävelien homogeeniseen jakaumaan sekä tasavälisiin esiintymisrytmeihin. Herää kysymys, tekeekö yläsävelsarjasta johdettu hierarkkinen rakenne – ja erityisesti sen rytmiiikka – generatiivisesta prosessista enemmänkin statistisen kuin sarjallisen? Eri rytmikerrokset voidaan nähdä suhteellisina todennäköisyyksinä, minä sävel voi ilmetä ajassa. Perusjoukon voi nähdä näin todennäköisyysjakamana, kun taas sarjallisen musiikin rivin permutaation kautta kaikilla

75 Le Caine & Ciamaga 1967.

76 Cowell, 40; Boulez, 46-48; Perle, 2.

sävelillä on yhtä suuri todennäköisyys ilmetä.⁷⁷ Koenig toteaaakin, että säveltäjien aherrus rivien ja niiden permutaatioiden parissa on ollut varsin turhaa, sillä sävellyksen määrittelee lopulta sen statistinen jakauma.⁷⁸ Ylä- ja alasävelsarjan mukaan rakennetut parametrijoukot pitävät sisällään laajemman hierarkian, kuin 1900-luvun sarjallisen musiikin tasavälisyydessä on. Hierarkiaa, konsonoivia intervaleja, rationaalilukuja sekä sarjallisia operaatioita käytettiin keskiaikaisissa isorytmisissä moteteissa, jotka ovat määritelmällisesti myös sarjallista musiikkia.⁷⁹ Tunnetuimpiin tyyliin säveltäjiin lukeutuu Guillaume Dufay ja Guillaume de Machaut.

Sarjallisten ja spektraalisten metodien pyrkimykset sisäiseen koherenssiin ovat selkeät ja eroavat. Rivi on sarjallisen rakennelman perusta, josta elementit saavat arvonsa transformaatioiden ja transpositioiden kautta.⁸⁰ Spektrimusiikin perusta on taasen äänen spektri. Moscovich ehdottaakin, että spektri korvaa harmonian, melodian, rytmin, orkestraation ja muodon elementit.⁸¹ Myös Cornicello ehdottaa suoraa kytkentää yläsävelien kestoista rytmisiin rakenteisiin, jonka kautta sävellyksen muut parametrit sekä lopulta koko muodon voisi generoida.⁸² Sarjallisuus perustuu siis säveltäjän kuvitelmaan perusrivistä ja sen transformaatioista, siinä missä spektraalisuus perustuu mitattaville fysikaalisille ominaisuuksille ja niiden projisoimiselle musiikin ulottuvuuksiin. Se, miten pitkälle rakennetta seuraa orjallisesti, jää säveltäjän itsensä päätettäväksi.

Indeterministisesti kaoottinen systeemi

Fysikaalisten järjestelmien ominaisuuksia voi esittää teknisinä analogioina. Olen katsonut kolme eri tapaa olennaisiksi tavoiksi saavuttaa kaoottinen käyttäytyminen: elementtien takaisinkytkentä, elementtien ajallinen liukuma ja takaisinkytkennän satunnaisuus. Olen tulkinut näiden vertautuvan fysikaalisten systeemien, etenkin termodynamiikan, käsitteisiin kausaatio, inertia ja entropia.⁸³ Kaaos on pysyvää epästabiilisuutta, eksitatoristen ja inhibitoristen voimien vuoropuhelua. Tämä dynamiikka saa kaoottisesti käyttäytyvän rakennelman tulokset näyttämään sattumanvaraisilta, mutta pitääkin sisällään korkeamman tason symmetriaa ja järjestystä.

⁷⁷ Todennäköisyyksiin perustuvan stokastisen musiikin pioneeri Iannis Xenakis käsittelee sävellystekniikan yksityiskohtia kirjassaan *Formalized Music*; Xenakis 1992.

⁷⁸ Koenig 1970.

⁷⁹ Sandresky 1981.

⁸⁰ Boulez, 45.

⁸¹ Moscovich 1997.

⁸² Cornicello, 2-3.

⁸³ Bushev, 93-111.

Algoritmini tuottama rakenne oskilloi jatkuvasti takaisinkytkennän kautta musikaalisten parametrien dualismin, esimerkiksi parin hidas-nopea, sisällä muodostaen näin yhtenäisen ja monitahoisen kokonaisuuden.

Spektrimusiikin tyyliin kuuluu usein äänimaailman hidas kehittyminen sekä harmonioiden lomittuminen ja muuntuminen liukumilla; sen transformaatiot ovat usein asteittaisia.⁸⁴ Yleinen tekniikka asteittaisuuden saavuttamiseksi on kahden eri yksikön välinen interpolaatio. Eräs interpolaatiotekniikka käyttää hyväksi välisointua, joka on eräänlainen yhdistelmä lähde- ja kohdesointujen sävelistä. Toisenlaisessa interpolaatiossa luodaan haluttu määrä väliaskelia (säveliä) lähteen ja kohteen väliin.⁸⁵ Interpolaation voi myös ajatella glissandona kahden sävelen välillä. Interpolaation liikerata voi vaihdella lineaarisesta ja symmetrisestä epälineaariseen ja epäsymmetriseen. Luonnollisessa äänessä tätä ei tapahdu, vaan yläsävelsarjan elementit mukailevat perustaajuuden liikettä. Perusjoukon mukaan muodostetut eri interpolaatioarvot johtavat liikkeen aikana epäharmoniaan, jonka määrä riippuu interpolaatioiden suhteellisista kestoista. Interpolaatiot tuovat myös eleellisyyttä ja orgaanisuutta sekä ääneen että äänirakenteen käyttäytymiseen.

Takaisinkytkentä mikro- tai mesotasolta makrotasolle on menetelmä luoda koherentti, mutta monitahoinen äänirakenne: nuottien (*Prime Numbers, Etude 5*) tai äänien (*Balance Game*) tuottama informaatio johdetaan metaparametrien ohjaamiseen, jolloin koko rakenne alkaa elää sille määriteltyjen rajojen puitteissa. Menetelmä on varsin yksinkertainen rakenteen automatisointiin ja se hyödyntää jo rakenteen valmiiksi tuottamaa informaatiota lisäten näin kytkeytyneisyyttä ja yhtenäisyyttä. Perusjoukon muoto ja ominaisuudet heijastuvat tämän mekanismin kautta koko rakenteen käyttäytymiseen. Tasoja voisi rakentaa useampia, mutta kolme tasoa antavat yleispätevän kuvan teoreettisesta rakenteesta, sekä riittävän kompleksisuuden asteen musikaalisten pienrakenteiden generoimiseen.

Metaparametreihin vaikuttaa takaisinkytkennän kautta aleatorinen algoritmi, joka poikkeaa hieman teoksien välillä. Teoksissa *Prime Numbers* ja *Etude 5* sävelten syttymishetket määräävät sen rytmin, millä perusjoukon lukusuhteet allokoidaan 21 eri metaparametriin. Lukusuhteet on normalisoitu kaikille metaparametreille yhtenäiseksi välille 0-999. Perusjoukko permutoituu syklisesti nousevassa järjestyksessä, josta allokoidaan aina joukon ensimmäinen arvo. Arvojen

84 Ibid., 3.

85 Rose, 34-36.

allokointi metaparametreihin tapahtuu satunnaisesti niin, että luodaan 21 uniikin satunnaisluvun sarja, jonka arvot tulkitaan indekseinä: indeksin perusteella syklisen perusjoukon ensimmäinen arvo ohjataan kunkin metaparametrin senhetkiseksi arvoksi. Sävelten esiintymisrytmi määrittää metaparametrien satunnaistamisen, joka määrittää loppuviimein muodon. Satunnaisnumerosarja muuttuu, kun kaikki 21 numeroa on käytetty: tämä on viittaus sarjalliseen tekniikkaan, jossa rivissä tulee olla vain yksi kutakin alkia. Satunnaisuuden tyyppi saa metaparametrien allokoinnin mahdollisimman homogeeniseksi, jolla saavutetaan mahdollisimman suuri variaatio mahdollisimman lyhyessä ajassa.

Teoksessa *Bird Convection* kaikkien metaparametrien yhteinen modulaatiosignaali lasketaan additiivisen synteessin summasignaalista, jonka monimutkaiseen, intuitiivisesti rakennettuun prosessointiin on käytetty niin satunnaisgeneraattoria kuin suotimia, äänentason rajoitinta, viivelinjaa, oskillaattoreita, itseisarvo-, potenssi- ja kietomisfunktiota, alinäytteistämistä, ajallista interpolaatiota, skaalausta ja loogisia operaatioita. Rakenteen generointiprosessiin takaisinkytketty modulaatiosignaali skaalaa yksinkertaisesti metaparametrisignaaleja.

Satunnaisuus muodon generoinnissa rikkoo syklisen muodon, sekä poistaa tarpeen määritellä muoto eksplisiittisesti. Muoto olisi syklinen, mikäli perusjoukon allokointi metaparametreihin olisi vakioimuotoinen. Huomiota herättää se, että sykli on jokaisella esiintymiskerralla erilainen: vain karkea perushahmo pysyy yhteisenä, mutta sävelten sijainnit sekä eleiden ja fraasien kestot vaihtelevat. Tästä nimenomaisesta syystä algoritmi ei ole deterministisesti kaoottinen. Esimerkkinä muodon generoinnista lukusuhteilla mainittakoon John Cagen pienmuotoiset sävellykset *Sonatas and Interludes* (1946-1948) preparoidulle pianolle ja aleatorisista prosesseista muodon generoinnissa niin ikään John Cagen *Imaginary Landscape No. 4* (1951) kahdelletoista radiolle. Aleatorisuuden osalta John Cage mainitsee säveltäjällä olevan mahdollisuus sanoa ei-mitään ja lukusuhteiden avulla mahdollisimman vähän.⁸⁶

Indeterministinen kaaos poikkeaa deterministisestä kaaoksesta oleellisesti. Adjektiivi *deterministinen* kaaosteoreettisissa tarkasteluissa viittaa teknisesti differentiaaliyhtälöiden luokkaan, joissa ei ole yhtään satunnaisfunktiota, mutta jonka yhtälöt kuitenkin käyttäytyvät 'kaoottisaisesti', eli epästabiiilisti, ennustamattomasti ja hallitsemattomasti. Esimerkki tällaisesta on Lorenzin yhtälö, jonka yksinkertainen dynaaminen käyttäytyminen muuttuu stokastiseksi

86 Griffiths, 22-27.

yhtälön parametrien alkuarvojen ylittäessä tietyt kriittiset arvot.⁸⁷ Systeemin kehittyminen on kuitenkin reversiibeliä ja deterministinen prosessi. Tyypillistä indeterministiselle kaaokselle on, että syyn ja seurauksen suhde on luonteeltaan statistinen – tällaisen kaaoksen määre on entropia, jonka todennäköisyyksiin perustuvan tulkinnan fyysikko Ludwig Boltzmann löysi.⁸⁸ Tällainen systeemi kehittyy irreversiibelisti.

“..., thanks to complexity, the strict, deterministic causality which the neo-serialists postulated was lost, then it was necessary to replace it by a more general causality, by a probabilistic logic which would contain strict serial causality as a particular case. This is the function of stochastic science.”⁸⁹

Huomiota herättävien ja koherenttien generaatioiden syntyminen etenkin laajan muodon perusteella arvioituna on suhteellisen harvinaista. Tästä syystä päätin kokeilla yllämainitun rakennelman tuottamien generaatioiden yhdistelyä ja käsittelyä vapaasti editoiden.⁹⁰ *Balance Game* on tältä pohjalta syntynyt teos.

3.1.2. *Prime Numbers* (2010) ja *Etude 5* (2010)

”Prime numbers are what is left when you have taken all the patterns away.”⁹¹

Teoksen *Prime Numbers* generointi ja musikaalisen rakenteen invarianssi perustuu yhdelle perusjoukolle, kymmenelle ensimmäiselle alkuluvulle: 2, 3, 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 29. Lukusarjan valitsin sen uniikkien ja mielenkiintoisten ominaisuuksien vuoksi, mutta pääasiassa siksi, että sen osien muodostamat syklit eivät kohtaa usein.⁹² Lukusarja määrää jokaisen musikaalisen parametrin kymmenen jäsenen arvon: se määrää niin sävelrakenteen, pulssijonojen suhteelliset nopeudet, sävelien voimakkuuden, sävelten ajallisen keston, jokaisen sävelen ADSR-verhokäyrän komponenttien arvot, sävelten ajalliset transformaatiot sekä loppuviimein teoksen muodon. Teos on yhtenäinen generaatio ja sen kesto on 7'10.

87 Bushev, 102-103.

88 Ibid., 95-96.

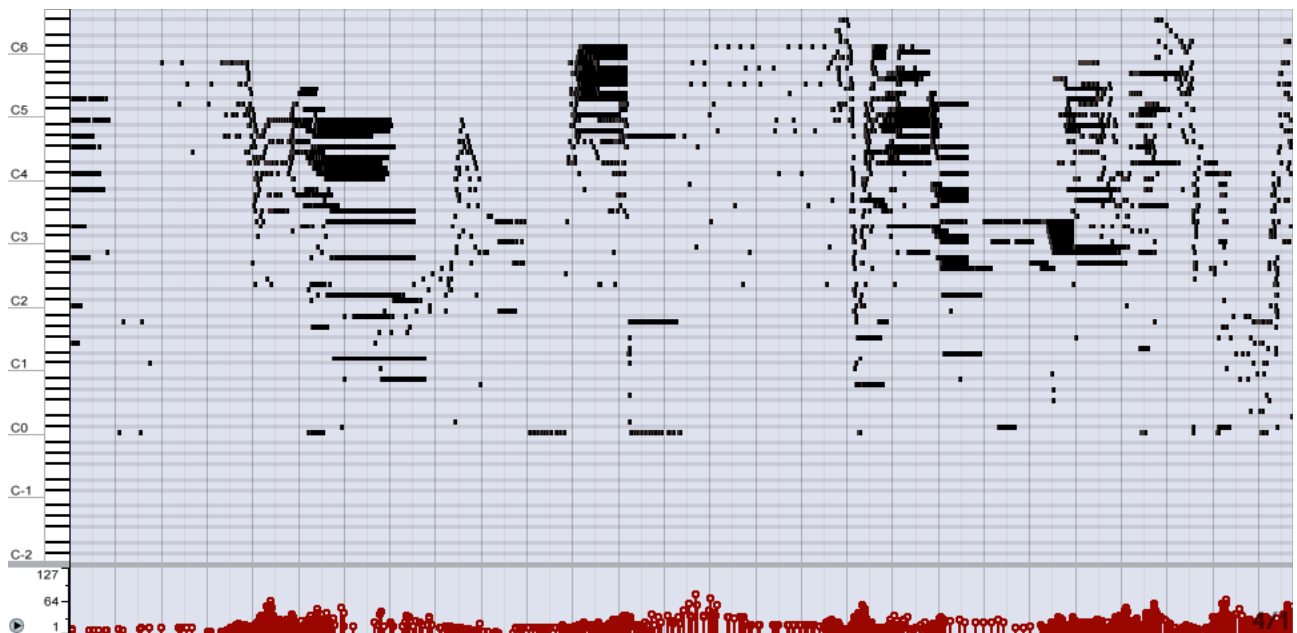
89 Xenakis, 8.

90 Roads et al., 845; etenkin Xenakiksen tiedetään muokanneen yleisesti generaatioitaan.

91 Haddon, 15.

92 Loy 2006, Cowell 1930.

Generaation tuloksena syntyi elektroninen nauhaosuus, jonka ääni muodostetaan additiivisesti syntetisoimalla kymmenen sinusoidioskillaattoria, sekä musikaalisten nuottien osuus, joka esitetään MIDI-informaationa. Esitystilanteessa nämä generaation kaksi puolta tulisi soittaa unisonossa eli yhtä aikaa niin, että kaiuttimien kautta tuleva syntetisoitu ääni sekoittuu MIDI-informaatiota toistavan mekaanisen pianon tuottamiin ääniin. Tämä yhdistelmä tuottaa kiinnostavia äänellisiä ilmiöitä, muun muassa huojuntaa, sillä syntetisoitu ääni on luonnonvireinen ja MIDI-informaatio taas tasavireinen. Viritysjärjestelmien päällekkäisyys nostaa esiin mikrotonaalisuuden ilmiöitä ja tutkiikin näiden kahden viritysjärjestelmän keskinäisiä interferenssejä.⁹³ Äänellisesti kiinnostavaa on myös mekaanisen pianon augmentaatio syntetisoidun äänen kautta. Syntetisoitu ääni laajentaa pianon äänellisiä ominaisuuksia liukumilla, puhtailla ääneksillä, terävillä iskuäänillä sekä viritysjärjestelmien yhtäaikaisuudesta johtuvilla huojunnoilla. Kokonaisuuden voi nähdä augmentoituna pianona, metainstrumenttina, tai saman generaation kahtena eri tulkintana, joista MIDI-informaatio on syntetisoidun äänen projektio abstraktiin nuottiavaruuteen. (Kuva 9) Päätös käyttää sinusoidiääniä äänilähteenä on perusteltu, koska halusin kiinnittää kuulijan huomion musiikin rakenteeseen itseensä, sillä niin pulssijonot kuin teoksen koko muoto koostuvat yksinkertaisista, mutta hitaammista oskillaatioista.



Kuva 9: Teoksen Prime Numbers MIDI-representaatio

93 Kuvasta 2 voi havaita yksityiskohtaisesti tasavireisen ja luonnonvireisen viritysjärjestelmän sävelten eroja puolissävelaskeleen sadasosissa mitattuna; erot määräävät huojunnan taajuuden.

Cowellin inspiroimana Harry Partch kehitti menetelmän määrittellä sävellyksen sisältämän harmonian kompleksisuuden⁹⁴; syntyi ylä- ja alasävelsarjan perusteella käsitteet *odentity* (n-odd-limit duuriskaalassa) sekä *udentity* (n-odd-limit molliskaalassa), missä harmonisen järjestelmän lukusuhteiden nimittäjä tai osoittaja on monimutkaisimmillaan *n*-kerrannainen ja *n* on pariton. Käsite *utonality* on tonaalisuuden, eli käsitteen *otonality*, molliversio, joka johdetaan teoreettisesti alasävelsarjan mukaisesti. Vielä laajempi harmonisen kompleksisuuden luokittelu on *n-prime-limit*, jonka harmonisen kompleksisuuden mitta *n* on osa alkulukujen sarjaa – tällainen järjestelmä pitää sisällään kaikki rationaaliluvut, jotka voidaan jakaa tekijöihinsä maksimissaan arvolla *n*.⁹⁵

Teoksen *Prime Numbers harmoninen raja*⁹⁶ on näin ollen 29-prime-limit. Rakenteen invariantin luonteen johdosta raja määrittelee myös temporaalisen luonteen ja sen etenemisen suurimman suhteellisen nopeuden, sillä rytmikerrosten taajuuksien arvot lasketaan samaisesta perusjoukosta. Rakenteen polyfonisuus muodostaa sävellyksen ajallisen etenemisen rytmin, sillä eri sävelet ilmenevät eri nopeuksisten pulssijonojen vuoksi vaihtelevassa järjestyksessä. Alkulukusarja toistuu myös jokaisessa musikaalisessa parametrissa. Tämä luo omanlaisensa sävelkielen.

Algoritmi käyttäytyy kaaokselle ominaisella tavalla: epästabiiilisti, ennustamattomasti ja hallitsemattomasti. Matemaattiselle kaaokselle ominaista on, että systeemi on deterministinen sekä herkkä alkuarvojen muutokselle, mutta algoritmissani tätä herkkyyttä ei ole. Samat alkuarvot tuottavat toisistaan poikkeavia generaatioita myös silloin, kun algoritmin toimintaan ei vaikuta yksikään satunnaisfunktio: reaaliaikaisten interpolaatioiden epätasaisuus johtaa tilanteeseen, jossa tiukasti syklisen muodon yksittäiset syklit poikkeavat toisistaan. Käyttämäni tietokoneohjelman Max/MSP 4:n puutteista johtuen interpolaatioaikojen pienin yhteinen tekijä ei ole vakio, vaan vaihtelee. Tämän voi nähdä joko ohjelmointivirheenä, tai systeemin persoonallisena piirteenä, johon vaikuttaa kunkin laskentajärjestelmän yksilölliset ominaisuudet. Tässä suhteessa algoritmin voi ajatella olevan kompleksisesti dynaaminen: rakenteen käyttäytyminen ajassa iteroitumisen myötä on riippuvainen ulkoisista rajoitteista, joina laskennan kuormittavuus toimii.⁹⁷ Reaaliaikainen systeemi on altis laskentanopeuden vaihtelun vaikutuksille.

94 Gilmore, 68.

95 Partch 1974.

96 *Harmonic limit*; suomennos tekijän.

97 Loy, 306; olettaen tietenkin, että Max/MSP 4 kuormittuu, ja ettei kyseessä ole tahallinen ohjelmointivirhe.

Teoksien *Prime Numbers* ja *Etude 5* generoinnissa olen käyttänyt satunnaisfunktioita metaparametrien laskemiseen, mikä saa rakenteen käyttäytymään indeterministisesti. Teoksien muoto generoituu takaisinkytkentäprosessin kautta. Perusjoukon vaikutus eleisiin ja muotoon on väistämätön: parametrijoukot ovat laskettu joko kerto- tai jakolaskun avulla perusjoukosta ja nämä lukusuhteet määrittelevät myös metaparametrien suhteelliset arvot. Arvot on ensin normalisoitu kunkin metaparametrin kohdalla, minkä jälkeen on mahdollista vaikuttaa kunkin parametriavaruuden kokoon skaalaamalla normalisoituja arvoja lineaarisesti tai epälineaaraisesti. Satunnaisfunktio vaikuttaa erityisesti muotoon. Se määrittää lokaalit eleet ja globaalien muodon, joka on riippuvainen loppuviimein satunnaisfunktioista. Globaali muoto on tämän algoritmin osalta tärkein esteettisen arvioinnin perusta ja lopullinen peruste joko hylätä tai säilyttää kyseinen generaatio. Hetkelliset eleet voivat olla hauskoja sattumia tai epämääräisiä tilanteita riippuen siitä, miten musikaalinen jatkumo niitä kehittää.

Rakenteellisesti algoritmin takaisinkytkentä voidaan määritellä prosessiksi, jossa kunkin nuotin alkamishetki määrittelee yhden metaparametrin uuden arvon. Nuottien syttymiset toimivat metaparametrien arvojen laskemisen ajallisen rytmin määrittelijänä. Menetelmällä on tasapainottavia ja kaaottisia vaikutuksia musikaalisen rakenteen käyttäytymiseen. Koska nuottien toistorytmiin vaikuttavat metaparametrit saavat uudet arvonsa nuottien toistorytmin perusteella, johon vastavuoroisesti uudet metaparametrien arvot vaikuttavat, johtaa tällainen yhteisevoluutiivinen (*co-evolutionary*) vuorovaikutussuhde mikro- ja makrotason välillä itseorganisoituneisuuteen ja emergenssiin.⁹⁸ En väitä, että algoritmini olisi kompleksinen, mutta on tärkeää huomata sen sisältävän piirteitä sekä kaaos- että kompleksisuusteoriasta.

Algoritmin lähtökohta on hyvin rakenteellinen ja se oli abstraktina hahmona mielessäni alusta lähtien. Algoritmi kehittyi iteratiivisen prosessin kautta, jossa kunkin version kuultavat ja nähtävät⁹⁹ tulokset muokkasivat algoritmin seuraavaa versiota. Sävellyksien voi katsoa olevan myös eräänlaista musikaalista muotoilua. Kuvataiteen puolelta olen löytänyt lähimmän analogian moiré-kuvioista, jotka muodostuvat kahden viivaston asettelemisesta päällekkäin ja usein vaihtelevissa kulmissa. Rakenteen horisontaalisen ja vertikaalisen ulottuvuuden isomorfismin voi nähdä kahden identtisen viivaston päällekkäisyyden tuloksena (kuva 4), jota automaation keinoin venytetään ja tiivistetään ajassa. Moiré-kuvioiden äänellinen analogia on kahden lähekkäisen

⁹⁸ Mitleton-Kelly 2003.

⁹⁹ MIDI-notaation visualisoinnin tai sonogrammin kautta.

taajuuden vaihe-erojen muodostamassa syklisessä kuviossa. Minimalistisesta musiikkisuuntauksesta nousseen käsitteen *phase music* voi myös nähdä viittaavan tähän nimenomaiseen tekniikkaan, kahden rytmikerroksen välisiin taajuuksien eroihin. Algoritmissani näitä kerroksia on kymmenen, ja niiden muodostama tila muuttaa muotoaan ajassa.

Teoksen reseptiota helpottaa yläsävelsarjaan sisältyvä tonaalisuus ja hierarkia. Harmonisuuden voi nähdä toimivan näin toonikana – ja epäharmonisuuden muina tonaalisina funktioina. Perusjoukko, alkuluvut, on teoksen temaattinen osa ja sen numeeriset muokkaukset teeman kehittelyjaksoja. Harmoninen liike spektrimusiikissa voi jäljentää näin länsimaisen taidemusiikin varsin keskeistä harmonista ilmiötä, jännitteen purkamista.¹⁰⁰

Teoksen sävelkieleen sisältyvä pulssijonojen toisteisuus saattaa kuulostaa joissakin teoksen kohdissa naiivilta ja ärsyttävältä, mutta on samalla välttämätön osa tässä kappaleessa kuvaillun abstraktin rakenteen kuulokuvallista hahmottamista. Toisaalta eräät kuulijat ovat maininneet kuulevansa humoristisia piirteitä ja kokevansa hetkessä elämistä ja meditatiivisuutta ilmeisesti generaation ajallisen olemuksen perusteella. Yhteisen metrisen yksikön puute antaa teoksen sävelkielelle tunnun eteenpäin soljuvasta virtauksesta, joka omalta osaltaan hämärtää rajaa sen välillä, onko teos sävellyks vai esitys. Onko algoritmi itse sävellyks, mistä tietokone esitti pienen osan, vai sävelsikä tietokone teoksen niiden rajojen puitteissa, jotka muodostuivat algoritmin suunnitteluprosessin kautta? Onko edes välttämätöntä tehdä eroa näiden kahden välillä? Omintakeista tässä algoritmista suhteesta teoriakokonaisuuteen on mielestäni eleellisyyttä ja hengittävyys, jotka kumpuavat teoksen osasten välisistä kytköksistä herättäen edellä mainitsemani varsin mielenkiintoiset kysymykset teknologioista, jotka liittyvät luonnollisten ilmiöiden simulointiin ja ajan henkeen – tietokoneeseen olemassaolon välineenä.

Etude 5, kesto 1'33, perustuu täsmälleen samaan algoritmiin kuin *Prime Numbers*, mutta sen generoinnissa on yksi vapausaste lisää: perusjoukko muuttuu ajan funktiona. Joukko koostuu kymmenestä satunnaisesta yksilöllisestä kokonaisluvusta, jotka eivät ylitä ennalta määrättyä arvoa, esimerkiksi lukua 25. Uusi joukko arvotaan, kun tietty määrä säveliä on syttynyt, esimerkiksi 30. Muuttuva perusjoukko lisää generaation elävyyttä ja monipuolistaa sen harmoniaa. *Etude 5* on mielestäni mainio esimerkki eheästä pienmuodosta, jonka eleellisyyttä ja rakenteet ovat esteettisesti miellyttävässä suhteessa toisiinsa.

100 Cornicello, 3.

3.1.3. *Bird Convection* (2013-2014)

Bird Convection on sävellysportfolion teoksista teknologinen ja metodologinen *tutti-frutti*. Tämän teoksen toteuttamiseen olen käyttänyt sekatekniikkaa, mutta sen pääasiallinen äänilähde on kuitenkin algoritmi, jolla on sama teoreettinen perusta kuin kahdella edellisellä teoksella. Tämän lisäksi olen tuottanut teoksen äänimateriaalia taajuusmodulaatiosynteeseillä (*FM*) sekä kierrättänyt jo generoituja ääniä granulaarisynteessin, ajallisen prosessoinnin ja konvoluution kautta yrittäen löytää yhtenäisyyttä ja variaatiota sekatekniikan tueksi. Lopuksi kaikki äänimateriaalit on editoitu, koostettu ja miksattu yhteen digitaalisessa äänityöasemassa. Teoksessa on käytetty eniten jälkityöstämistä ja se poikkeaa vapausasteillaan muista puristisen algoritmista teoksista. Teos on stereofoninen nauhateos syntetisoiduille äänille, sen kesto on 11'00 ja se on tarkoitettu diffusoitavaksi kaiutinorkesterin kautta yleisön ympärille. Teos nojaa vahvasti akusmaattisen musiikin suuntaan ja yhdistelee ennakkoluulottomasti syntetisoituja ääniä tähän tyyliuntauukseen.

Teoksen eleelliset ja lintumaiset äänet on generoitu samankaltaisella, mutta täysin uudistetulla algoritmilla kuin kaksi edellistä teosta. Algoritmi tuottaa kaikki aiemmin tässä kappaleessa mainitsemani spektrikaanonit sekä niiden peilikuvat. Kaikkien generoitujen äänien perusjoukko on aritmeettinen jono 1, 2, ..., 10, jotka ovat yksinkertaisesti kunkin äänentuottomekanismin instanssin indeksiarvoja. Syntetisointi on niin ikään additiivista synteesiä sinusoidiäänillä. Ääniparametreja ovat äänenkorkeus, äänien alkamishetkien väli, äänen voimakkuus, äänen pituus, äänen modulaatio¹⁰¹ sekä ADSR-verhokäyrän eri osat. Algoritmi eroaa edellisestä muutamien olennaisiin seikoihin. Laskenta tapahtuu äänen näytteistystaajuuden nopeudella ja parametriavaruuksien logaritmisesta sekä eksponentiaalisesta skaalauksesta on tehty systemaattisempaa. Sinusoidien sijainti stereokentässä on myös satunnaistettu 60 mahdolliseen eri pisteeseen. Lisäksi sävelten syttymishetkiä on mahdollista satunnaistaa stereokentän satunnaistamisesta vastaavalla signaalilla, mikä tuottaa vaihtelua spektrikaanonien rytmikkään.

Myös takaisinkytkennän luonne on erilainen, sillä algoritmi ei tuota informaatiota nuottien alkamishetkestä. Takaisinkytkentäsignaali moduloi kaikkien metaparametrien, paitsi äänenvoimakkuuden ja verhokäyrän *sustain*-tason voimakkuuden, signaaleja. Takaisinkytketty signaali lasketaan synteessin summasignaalista monimutkaisen prosessin kautta, joka on

101 Maltillisilla taajuuksilla tämä tuottaa äänille vibraaton, korkeammilla taajuuksilla tämä toimii rengasmodulaattorina ja siten yksinkertaisena harmonisoijana.

rakennettu intuitiivisesti kokeilemalla.¹⁰² Teoriaa tähän en ole laatinut. Synteesin summasignaaliin voidaan summata satunnaismuuttuvaa signaalia, jolloin on mahdollista monipuolistaa rakenteen käyttäytymistä. Satunnaismuuttuva signaali voi myös skaalata viivästettynä varsinaista takaisinkytkettyä signaalia myöhemmin signaaliketjussa, jolloin saavutetaan tiheämpi muutosväli.

Satunnaismuuttuva signaali moduloi myös tilatehosteiden ohjaamisesta vastaavien oskillaattoreiden taajuuksia. Tämä integraatio äänisynteesin kanssa tuottaa yhtenäisiä tilallisia ja äänensävyllisiä eleitä, sillä satunnaismuuttuva signaali moduloi myös metaparametreja moduloivaa takaisinkytkentäsignaalia. Tilatehosteina on kolme prosessia: äänen panorointi stereokentässä, kuvan 29 kaltainen itse rakennettu versio Schroeder-Moorer -algoritmista¹⁰³, sekä äänen amplitudin muutos kaiun määrän kasvamisen muassa. Näiden kolmen prosessin kautta sekä erilaisilla eksponentiaalisilla skaalauksilla ja ristikytkennöillä on mahdollista saada aikaan mielikuva kaksiulotteisesta tilasta kahden kanavan välillä: oikea-vasen- sekä syvyysulottuvuus.

Eleellisyys tässä algoritmista on samanluonteista kuin aikaisempien teoksien algoritmista, mutta syntyvät äänet ovat monipuolisempia ja kehittyvät nopeammin: siinä missä *Prime Numbers* ja *Etude 5* -algoritmi tuotti musikaalisia eleitä, tuottaa tämä äänen näytteistysnopeudella toimiva järjestelmä äänellisiä muotoja ja eleitä, jotka muistuttavat lintujen ääntelyä. Nämä äänet yhdistettynä tilalliseen liikehdintään saivat minut nimeämään teoksen suoralla viittauksella niistä syntyneeseen mielikuvaan.

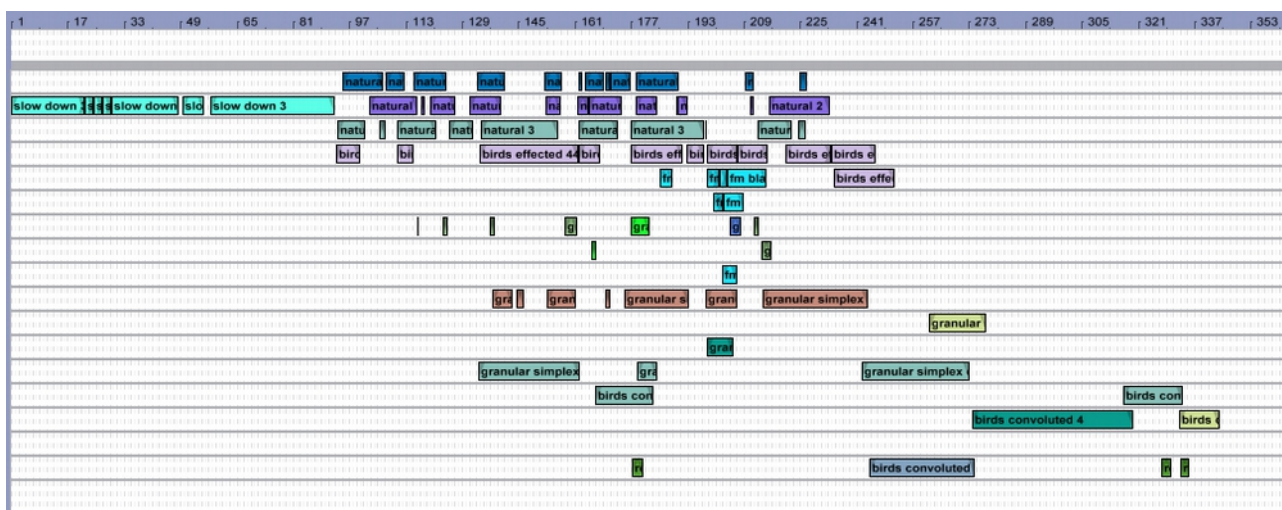
Teoksen toteuttamiseen käytin sekatekniikkaa. Generoin aluksi äänimateriaalia (additiivinen synteesi), minkä jälkeen siirryin jatkotyöstämään materiaalia editointi- ja komponointimenetelmällä, jota kutsun termillä *audiosculpting*¹⁰⁴ eli ääniveistäminen. Äänieditori saturoidaan generoidulla materiaalilla, jota editoidaan ja siirrellään, prosessoidaan ja miksataan sekä lopuksi tästä esisävelletystä materiaalista tehdään tarvittaessa uutta kierrätettävää materiaalia lisätyöstämistä varten. Kuvasta 10 voi päätellä teosta kuunnellessaan teoksen työstämisen lähtöpisteen, alkuperäisen materiaalin määrän, äänitekstuurien tiheyden sekä teoksen työstövaiheet.

102 Prosessointiin on käytetty niin satunnaisgeneraattoria kuin suotimia, äänentason rajoitinta, viivelinjoja, oskillaattoreita, itseisarvo-, potenssi- ja kietomisfunktioita, alinäytteistämistä, ajallista interpolaatiota, skaalauksia ja loogisia sekä aritmeettisiä operaatioita.

103 Roads et al., 479-485.

104 Tällä termillä ei ole yhteyttä IRCAM:in samannimiseen äänenprosessointiohjelmistoon.

Lisäsin joukkoon itse rakennetun automatisoidun taajuusmodulaatioalgoritmin¹⁰⁵ syntetisoimia ääniä täydentämään additiivisen synteessin tuottamia sävyjä. Esisävelletyn materiaalin siirsin jatkoprosessointiin itse rakennettuun granulaarisynteessialgoritmiin¹⁰⁶. Uuden editointikerroksen jälkeen esisävelletty materiaali sai muutoksia sen ajalliseen ulottuvuuteen joko äänien lukunopeutta hidastamalla, kasvattamalla tai vaihtelevasti muuttamalla sekä automaation että improvisoinnin keinoin; näin teoksen äänissä saattaa kuulua ihmismäinen ote. Lopuksi muodostin konvoluution avulla yhdistelmä-ääniä ja tekstuureita koko teoksen materiaali-poolista. Viimeisenä silauksena lisäsin studiossa äänitettyä metallista kolinaa ja veden ääniä tarkasti harkittuihin paikkoihin kasvattamaan tiettyjen iskujen kompleksisuutta tai hämmentämään tiettyjä siirtymiä syntetisoidusta tosimaailman ääniksi ja takaisin synteettisiksi. Ajallisen ulottuvuuden prosessoinnin pääasiallinen taiteellinen ajatus oli, että kuuliija kuulee teoksen jo etukäteen esittelyvaiheessa. Ajatus viittaa fraktaalisuuteen ja tutkiikin konseptin soveltuvuutta ajassa ilmenevään äänirakenteeseen.



Kuva 10: Kuva teoksen Bird Convection editointi-ikkunasta paljastaa ääniveistämismetodin käytön sekä lisämateriaalin tuottamisen menetöt ja käyttötavat

Eleellisyys ja siitä seuraava poeettisuus johtivat tämän teoksen osalta – omassa mielessäni – varsin selkeään tarinankerrontaan. Hiljaisuuden pitkittämisen sekä rauhallisen etenemisen kontrastointi tiheillä ja aggressiivisilla tekstuureilla sekä nopeilla kompleksisilla polyfonisilla kokonaisuuksilla¹⁰⁷ on herkullista. Lokaalit ja globaalit intensiteettihiput ovat rakenteellisesti merkittäviä kulmakiviä. Niiden tehtävänä on manipuloida ja jaksottaa ääniin keskittymistä sekä

105 Roads et al., 224-250.

106 Ibid., 168-184.

107 Modernin orkesterimusiikin puolelta esikuvani itsetarkoituksellisesti kompleksisen polyfonian puolelta on Brian Ferneyhough.

esittää teoksen muodon hierarkia. Kierrätetyn ja prosessoidun materiaalin esiintymisellä on myös rakenteellisia merkityksiä ja ne ovat omalta osaltaan luomassa tarinaa tekstuurien kautta. Esimerkiksi teoksen loppuosiota värittää niin ääninäytteiden kuin musikaalisten fraasien hidastuminen sekä materiaalipoolin näytteiden välinen konvoluutio¹⁰⁸; niin syntynyt tekstuuri kuin itse tekniikan temaattinen tulkinta kietoutuvat yhtenäiseksi punokseksi – uusi generaatio korvaa lopulta vanhan populaation.

Äänimateriaali on paikoin tarkoituksella varsin tiheää ja tästä syystä on miltei mahdotonta, eikä varsinkaan mielekästä, pystyä keskittymään jokaiseen eleeseen. Hetkessä eläminen ja äänellisten tilanteiden ihmettely on tavoiteltava lopputulos itsessään. Itse ääniveistämismetodissa on juuri se kiintoisa puoli, että menetelmä ohjaa äänen organisoinnin suuntaa sattumanvaraisilla tilanteilla, joita väistämättä syntyy, kun kerrosta materiaalia mielivaltaisesti – ja tässä on juuri tämän sävellystekniikan hauskuus ja haaste: miten saada rakennettua kukin äänihetki mahdollisimman sopivaksi ympäristöönsä nähden ja työskenneltyä sillä, mitä on. Työtapa vaatii useita iteraatiovaiheita. Vastineeksi voi löytää ilahduttavia ja yllättäviä yhdistelmiä ja tilanteita. Tässä yhdistyy John Cagelle ominainen ajattelutapa säveltämisen tarkoituksettomuudesta (*nonintention*). Generaatiot ovat itsessään sattumia – ja varsinkin eleet, jotka syntyvät generaatioiden päällekkäistämisestä. Tavoitteena on siis materiaalimassan tutkiminen, kierrättäminen ja tematiikan luominen kierrättämisen ja kultivoinnin kautta.

Tunnelmien ja tilojen luominen on tarinankerronnallisesti tärkeää, sillä ne luovat sen taustan, minkä edessä, minkä kautta ja minkä takana digitaaliset äänet, linnut, elävät. Yhdistin generatiiviseen algoritmiin proseduraalisesti keinotekoista kaiuntaa ja tilaliikkeitä, jotka saavat informaationsa satunnaissignaalin amplitudivaihtelusta. Metodi luo yhtenäisyyttä äänen liikkeiden ja tilan välille, sekä luo automaattisesti mielikuvan etäisyydestä – näyttämöstä ja taustasta. Jyrkät panoroinnit toimivat äänen diffusointia ajatellen hyvin ja antavat diffusiojalle useita mahdollisuuksia eri tilaeleiden luomiseen.

108 Tässä käytetyssä lyhytaikaisessa konvoluutiossa uusi signaali muodostetaan kahden lähdesignaalin nopean Fourier'n muunnoksen tuloksena syntyvien kompleksilukujen kertolaskulla: $A * B = (a + bi)(c + di) = (ac - bd) + (bc + ad)i$.

3.2. Doors, A Journey into the Consciousness of ja Piano-noise

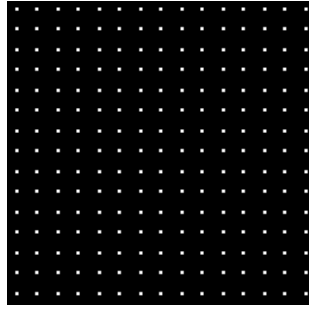
Sama pedanttius, joka ajoi minua tutkimaan spektraalimusiikin sarjallistamista – sen pisteitä, viivoja, muotoja ja käyriä – ajoi minut visuaalisen representaation maailmaan tutkimaan sen pienintä yksikköä, pikseliä. Mikä tahansa kuva voidaan muodostaa mielivaltaisella tarkkuudella käyttäen näitä pikseleitä. Toisaalta, mikä tahansa kuva on loppuviimein sarja numeroita, joita voi käyttää mielivaltaisesti. Tätä konseptia hyödyntäen sävelsin portfolioni kolme teosta: *Doors, A Journey into the Consciousness of* ja *Piano-noise*.

3.2.1. *Doors* (2013)

Doors on audiovisuaalinen teos, jossa kuva ja ääni eivät ainoastaan korreloi, vaan ovat kausaalisesti yhteydessä toisiinsa. Teoksen voidaan katsoa käyttävän ihmisaivoissa tapahtuvaa aistiristeytymää taiteellisenä keinona hyväkseen.¹⁰⁹ Teos koostuu liikkuvasta kuvasta, joka käy läpi erilaisia tiloja ja tekstuureita. Jokaiseen tilaan liittyy sille ominainen äänimaisema, joka vaihtelee kapeista soinnuista ja ääneksistä valkoiseen kohinaan. Teoksen kesto on 5'00. Teoksen työstöprosessin voi jakaa karkeasti seuraaviin vaiheisiin: videomateriaalin tuottaminen, videokuvan muuntaminen ääneksi, äänen jälkikäsitteily sekä kuvan ja äänen yhdistäminen audiovisuaaliseksi teokseksi.

Perusta teokselle luotiin vuosi sen syntyä aiemmin, kun tutustuin tietokonegrafiikkaan ja erityisesti takaisinkytkennän käyttöön visuaalisten tehosteiden luomisessa. Tämä universaali prosessi on tehokas ja monipuolinen tapa rikastaa ja elävöittää lähtökohtana toimivaa materiaalia – myös visuaalisessa maailmassa. Tätä prosessia hyödyntäen otin lähtökohdaksi tasavälisen kaksikulotteisen ruudukon valkoisia pikseleitä. (Kuva 11)

109 Alexander & Collins, 136-139.

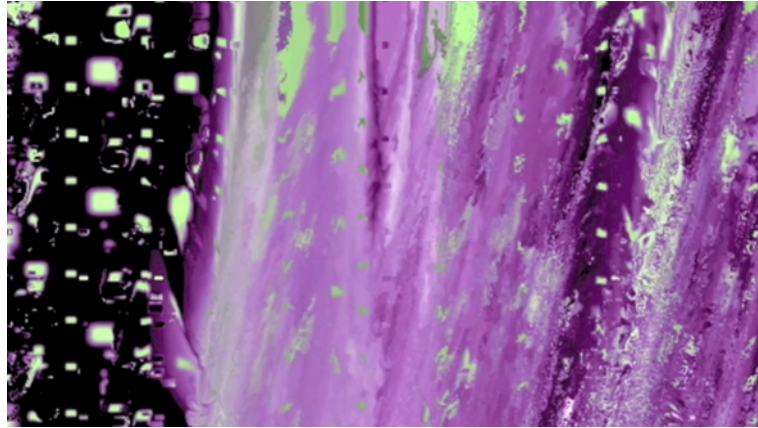


*Kuva 11: Teoksen
Doors lähtökohta:
tasavälinen
pikselijoukko*

Tämä pikselikenttä yhdistyy prosessiketjuun: sekä kenttä että jo prosessiketjun läpi käynyt kenttä kerrostetaan samaksi kuvaksi esimerkiksi laskemalla kuvien erotus, negaatio tai muu matemaattinen operaatio. Muodostunut kuva toimii uutena syötteenä seuraavalle prosessiketjun iteraatiolle. Edellä kuvattu prosessi tapahtuu kuvataajuuden nopeudella, yleensä vähintään 24-30 kertaa sekunnissa. Tämän mekanismin ansiosta kuvasta tulee elävä, mutta se ei itsessään ole riittävä edellytys elävyyden luomiseksi, vaan prosessiketjun osaset sekä tapa, millä ne on kytketty toisiinsa vaikuttaa oleellisesti lopputulokseen.

Prosessiketjun luonteesta ovat vastuussa kaksi prosessia: matriisin affiinitransformaatiot¹¹⁰ sekä pikselin siirtymä sen valoisuuden mukaan. Sopivat parametrien arvot löysin kokeilemalla ja tallensin esiasetuksina. Lopputulos eroaa lähtökohdasta melkoisesti, sillä takaisinkytkentäprosessi kumuloi materiaalia jokaisella iteraatiolla. (Kuva 12) Tästä syystä oli mielekäästä pitää kerrostuman voimakkuuden määrä maltillisena, jolloin kumuloituma tapahtui hitaammin, sekä liikkua mahdollisimman paljon pikseleiden välissä, sillä mustalla on RGB-väriavaruuden mukaan arvo 0 ja sen kumuloituma vähentää muuten helposti konvergoituvan, värillisen materiaalin määrää. Värin konvergoituminen yhteen arvoon vastaa näin akustisessa kierrossa tapahtuvaa yhden taajuuden korostumista.

110 Tässä teoksessa käytin ainoastaan skaalausta ja translaatiota.



Kuva 12: Otos teoksen Doors loppupuolelta

Videomateriaalin koostamisessa jouduin hylkäämään reaaliaikaisuuden ideaalin, sillä jokaisen ruudun tallentaminen korkearesoluutioisena (1280 x 720) oli liian vaativa työ käyttämälleni tietokoneelle. Koostamisen aikana vaihdoin tilan esiasetuksia ennalta laaditun suunnitelman mukaisesti arvioiden karkeasti kunkin tilan keston. Lopullisen muotonsa video sai editointipöydällä.

Kuvasta ääneksi

Graafinen äänisynteesi alkoi kehittyä 1900-luvun alkuvuosikymmeninä elokuvateknologian kehityksen myötä. Ensimmäinen sovellus vaati ääniaallon mekaanista generoimista tai piirtämistä optiselle elokuvafilmille. Vuosisadan puolessavälissä optisia tekniikoita alettiin käyttämään elektronisen, analogisen äänisynteesin kontrollointiin sekä graafisen notaation lukemiseen ja syntetisointiin. Ensimmäiset kokeilut digitaalisen äänen graafisesta ohjaamisesta suoritettiin jo vuonna 1969, jonka jälkeen useita eri grafiikka-äänijärjestelmiä on kehitetty tietokoneella käytettäväksi.¹¹¹

Omaa lähestymistapaani kuvaavat eniten ne tekniikat, joissa tulkittava graafi nähdään enemmänkin partituurina – ja äänen rakenteen tasolla teknisemmin ilmaistuna sonogrammina. Tämän tekniikan läheisimmät historialliset sukulaiset ovat Evgeny Murzin: *ANS*-syntetisaattori (1958)¹¹²; Iannis Xenakis: *UPIC* (1977-1991)¹¹³; sekä Jean-François Charles: reaaliaikainen graafinen äänispektrin analyysi- ja synteesisovellus Max/MSP/Jitter -tietokoneohjelmalle

111 Roads et al., 329-330.

112 Kreichi 1995.

113 Marino et al. 1993; Roads et al., 331-333.

(2008)¹¹⁴. Näistä jälkimmäisin on siitä mielenkiintoinen, että se soveltaa spektrin muokkaukseen teknologiaa, joka yleensä liitetään yksinomaan tietokonegrafiikan prosessointiin. Tehokkaan tästä tekniikasta tekee erillisen grafiikkapiirin¹¹⁵ hyödyntämisen laskennassa, jolloin tietokoneen keskusprosessorilta vapautuu huomattava laskentakuorma ja käyttöön saadaan kiinnostavia matriisilaskennan algoritmeja.¹¹⁶

Videokuvan muuntaminen ääneksi tapahtui reaaliaikaisesti hyödyntämällä tekniikkaa, jossa äänen spektri muodostetaan suodattamalla taajuuskaistoja kohinasta. Jokainen kaksiulotteisen kuvamatriisin kolumni voidaan tulkita joukkona suotimen amplitudikertoimia, jotka suodattavat lähdesignaalina toimivasta vaaleanpunaisesta kohinasta¹¹⁷ kolumnin ulottuvuutta vastaavat taajuuskaistat. Mikäli videokuvan resoluutio on 1280 x 720 pikseliä, jokaisessa kuvaruudussa on tällöin 1280 erilaista 720:n amplitudikertoimen joukkoa.

Laskennallisesti tehokas ja yleisesti käytetty algoritmi taajuus-aikamuunnokseen on käänteinen nopea Fourier'n muunnos.¹¹⁸ Kuvamatriisin y-akseli kuvaa suodinkokoelmaa, jota luetaan yksi kolumni kerrallaan ajassa. X-akseli kuvaa käytettävän taajuusavaruuden kokoa, jonka laajuus tässä teoksessa on 11025 Hz; matalat taajuudet ovat alhaalla, korkeat ylhäällä. Y-akselin resoluutio kuvaa tarkkuutta, millä taajuusavaruus jaetaan yksittäisiin taajuuskaistoihin. Käytännössä käänteistä nopeaa Fourier'n muunnosta varten kuvamatriisin resoluutio täytyy muuntaa vastaamaan kahden potensseja, esimerkiksi 512 x 1024. Lähdesignaalina toimiva kohina on suodatettu ylipäästösuotimella, joka leikkaa jyrkästi taajuudet 8 Hz:n alapuolelta. Tämä estää 0-taajuisten signaalien pääsemistä muunnokseen.

Videokuvan kolmiulotteisuus – horisontaalinen, vertikaalinen ja ajallinen ulottuvuus – tuo oman haasteensa muunnokseen. Käytettäessä kuvaa partituurinomaisesti, visuaalisen äänisynteesin tekniikoissa luetaan tyypillisesti yhtä ruutua kerrallaan useiden sekuntien ajan – ja usein

114 Charles 2008.

115 Englanniksi tätä kutsutaan termillä *Graphic Processing Unit*, GPU.

116 Xenakis'n matemaattinen musiikillinen ajattelu ja sävellysmetodiikka kehittyi luontevasti *UPIC*-järjestelmään, jonka avulla säveltäjä saattoi konkreettisesti piirtää ja hahmotella teoksen musikaalisia sisä- ja ulkorakenteita vapaasti ilman matemaattisten kaavojen tuomaa rajoittuneisuutta musiikillisen materiaalin käsittelyssä. Siinä missä Xenakis eteni formalismista visuaaliseen vapaaseen äänen muotoiluun, olen tämän teoksen osalta edennyt formaalin visuaalisen rakenteen ja sen prosessoinnin kautta ääneen. Tutkin siis, miltä erilaiset visuaaliset rakenteet ja prosessit kuulostavat. Tietokonegrafiikan avulla on vaivatonta soveltaa formaaleja periaatteita äänispektrin generointiin tai manipulointiin.

117 Musikaalisempi vaihtoehto valkoiselle kohinalle: Manning, 53; Loy, 144; Voss & Clarke 1978.

118 Roads & Greenspun, 1112.

mielellään vielä hitaammin¹¹⁹, mutta videokuvan tapauksessa ruutu vaihtuu kymmeniä kertoja sekunnissa. Sovelsin visuaalisen äänisynteesin tekniikkaa teoksen tarpeisiin sopivaksi nostamalla kolumnien lukutaajuutta huomattavasti videon kuvataajuutta nopeammaksi. Sopivaksi lukutaajuudeksi löytyi korvakuulolta kuudestoistaosa äänisignaalin näytteistystaajuudesta, eli $44100 \text{ Hz}/2^4 = 2756,25 \text{ Hz}$. Lukema kertoo, kuinka monta kertaa sekunnissa kukin kuva luetaan. *UPIC*-järjestelmän reaaliaikainen versio tietokoneelle vuodelta 1991 pystyi lukemaan ruudun nopeimmillaan kuudessa millisekunnissa, taajuudeksi muutettuna 166,666... Hz.¹²⁰ Edellä mainitulla menetelmällä videon perättäinen kuvamateriaali muuntuu aikamuuttuvaksi suotimeksi, jonka perustana on kahden eri spektrin – lähdesignaalin toimivan kohinan ja kuvasta johdetun suodinsignaalin – amplitudien välinen kertolasku.

Käytin videokuvan RGB-väriavaruutta taajuuskaistojen panorointina: punainen ja sininen väri vastaa stereoäänentoiston oikean ja vasemman kaiuttimen signaalia, vihreä vastaa molemmista kaiuttimista tulevaa monosignaalia lokalisoituen stereokaiuttimien keskelle. Menetelmän avulla sain teokseen äänikuvallista elävyyttä yksinkertaisesti. Tätä konseptia Robert Normandeu kutsuu käsitteellä *timbre spatialisation*¹²¹; käytin tekniikkaa huomattavasti laajemmin portfolion toisessa audiovisuaalisessa teoksessa *A Journey into the Consciousness of*.

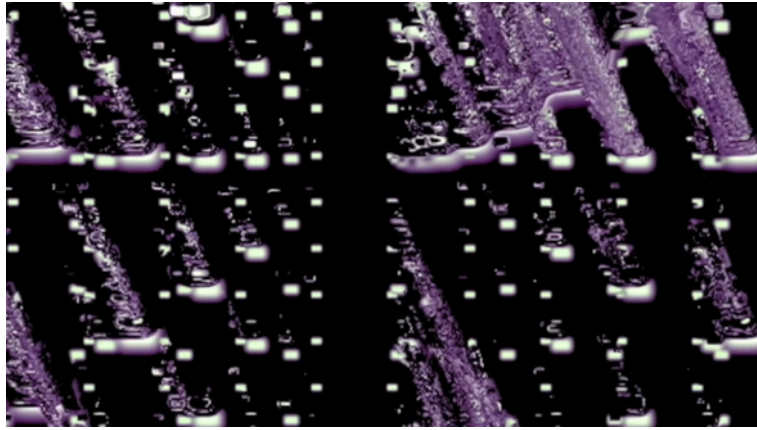
Äänen jälkikäsitteilyn olennaisimmat osat ovat äänen harmonisoija¹²² sekä keinotekoinen kaiunta. Koska kuva-äänimuunnoksesta syntynyt ääni on itsessään aika karkean ja raa'an kuuloinen, päätin vahventaa sitä monistamalla sen spektriä vertikaalisesti harmonisoijalla sekä peittää ja pehmentää harmonisoitua ääntä vielä keinotekoisella kaiunnalla. Tämä prosessoitu ääni takaisinkytketään signaalin jälkikäsitteilyketjuun, jonka johdosta äänimassa kerrostuu entisestään.

119 *Time stretch* -tekniikka: Charles, 91.

120 Roads & Greenspun, 333.

121 Normandeu 2009.

122 Nopean Fourier'n muunnoksella saavutettava taajuusavaruuden muutos siirtää alkuperäistä ääntä korkeammalle tai matalammalle.



Kuva 13: Musiikinteoria ja teknologia kohtaa teoksessa Doors; musiikillisen joukko-opin graafinen sovellus

Harmonisoinnin lähtökohtana on äänen koko spektrin siirtäminen vertikaalisesti. Kun harmonisoituun signaaliin sekoitetaan alkuperäistä signaalia, syntyy mielikuva alkuperäisen signaalin ääneksien vahvistamisesta. Jokaista teoksen neljää visuaalista tilaa vastaa eri harmonisointi-intervalli. Takaisinkytkennän ansiosta tämä intervalli monistuu muodostaen symmetrisen intervallipinon, mutta maltillisesta vahvistamisesta johtuen vaikutelma on hienovarainen. Idea toisaalta eriyttää visuaalisen ja äänellisen tilan toisistaan luoden niille omat karakterinsä, mutta toisaalta yhdistää ne takaisinkytkentätekniikan perusteella toisiinsa: tämä on teoksen kantava ajatus ja tarkkaan harkittu perusta audiovisuaaliselle integraatiolle ja eriytymiselle, joka luo teokselle sen esteettisen vaikutelman.

Kuvaprosessoinnin musiikillinen tavoite on luoda sointeja ja harmonista liikettä matriisitransformaatioilla. Pikseliruudukon skaalaus saa soinnin muuttumaan. Musiikinteoreettisesti tämän prosessin voi ajatella kuuluvan musiikillisen joukko-opin *multiplication*-tekniikkaan: perusjoukkoa vakiolla kertomalla voi saada aikaan erilaisia symmetrisiä intervallipinoja.¹²³ Takaisinkytkennän soveltaminen taas viittaa *pitch multiplication* -tekniikkaan, jonka esitteli Pierre Boulez.¹²⁴ Täten pikseliruudukko muodostaa eräänlaisen graafisen karteesisen tulon ruudukon skaalausvektorin kanssa. (Kuva 13) Takaisinkytkennän, kerrostuksen ja affiinitransformaatioiden liike elävöittää ruudukon liikkumaan ajassa luoden pientä harmonista liikettä sointiväreille.

123 Rahn, 53.

124 Pierre Boulez, 79-80.

Tässä teoksessa esiintyvä geometrinen rakenne viittaa myös konsertin osien erottajana toimivan väläanimaation samankaltaiseen kolmiulotteiseen rakenteeseen sillä erotuksella, että teoksessa *Doors* tuo geometrinen rakenne taipuu elastisesti ajassa; ilmiö, joka viittaa taiteellisen tutkimuksen yhteen sen perusosasta, laskennan reaaliaikaisuuteen ja sen ilmenemismuotoihin, sekä toiseen, kaaosteoriaan. Väläanimaation geometrinen rakenne on taas vastakohta edellä mainitusta: sitä voi tarkastella ajassa eri näkökulmista ilman, että sen sisäinen rakenne vääristyy.

3.2.2. *A Journey into the Consciousness of* (2014)

Siinä missä teoksen *Doors* lähtökohta oli kuvassa, on tämän teoksen lähtökohta äänessä. Myös tässä teoksessa kuvan ja äänen välillä on kausaalinen yhteys, mutta perustaltaan asetelma on päinvastainen: lähdeäänien analysoimisesta syntyvän kuvan prosessointi muodostaa teoksen visuaalisen osan, jonka seurauksena syntyvä videokuva vastavuoroisesti syntetisoidaan takaisin ääneksi. Teos käy läpi erilaisia tiloja ja asteittaisia siirtymiä vain palatakseen siihen tilaan, mistä teos alun perin lähtikin. Teoksen kesto on 9'00 ja se koostuu videokuvasta sekä kahdeksankanavaisesta äänestä.

Teoksen vaikutteina ovat Jonathan Harvey'n sävellys *Mortuos Plango, Vivos Voco* (1980) sekä Robert Normandeau'n sävellys *StrinGDberg* (2001-2003). Molemmat sävellykset hyödyntävät äänispektrin muokkaustekniikoita tallennettuun ääneen. Harvey'n teos on hyvä esimerkki säveltämisestä analyysi-informaatiota manipuloiden¹²⁵: sävellyksessä äänen spektriä hajotetaan sarjallisesti¹²⁶, spektriä moduloidaan toiseen spektriin glissandon avulla¹²⁷ ja äänispektristä luodaan kahdeksankanavainen immersio kuulijan ympärille¹²⁸. Normandeau'n teoksen äänilähteinä ovat kaksi jousi-instrumenttia, jotka kerros kerrokselta esiintyen rakentavat sävellyksen muodon. Käyttäen *timbre spatialisation* -termillä kutsumaansa tekniikkaa, sävellyksen hajotettu äänispektri rakentuu itse konserttitilassa 16 kaiuttimen kautta hitaasti aueten täyteen spektriinsä.¹²⁹

125 Roads et al., 146.

126 Downes, 22.

127 Manning, 201; Whittall, 27.

128 Emmerson, 157.

129 Normandeau 2009.

Kiteytetysti ilmaistuna teoksen *A Journey into the Consciousness of* tekninen perusidea on kontrolloida äänispektriä sarjallisesti muokkaamalla äänen aika-avaruutta matriisitransformaatioiden keinoin. Lähdeäänenä käytin muutaman sekunnin pituista stereoäänitettä, joka sisälsi yhden fraasin intialaisen *sitar*-kielisoittimen soittamana. Soittimella on rikas yläsävelsarja ja se sopii näin ollen varsin hyvin spektrimanipuloinnin lähdemateriaaliksi.

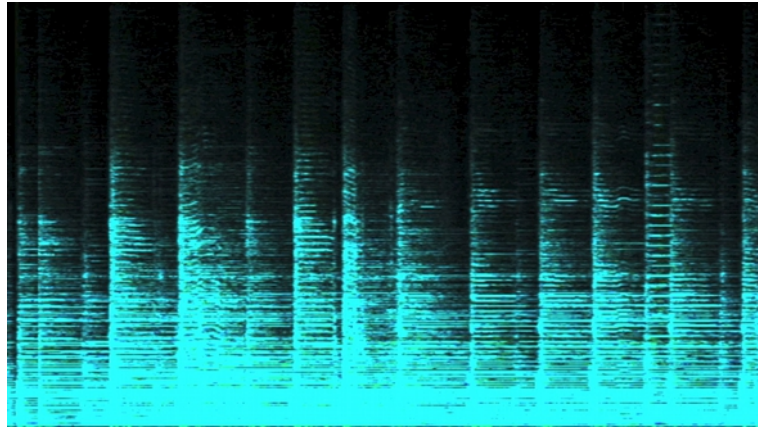
Stereoäänitteen molempien kanavien nopean Fourier'n muunnoksen tuloksena syntyvät reaali- ja imaginääriosat – eli magnitudit ja vaihe-erot – sopivat kätevästi yhteen matriisiin, joka on ARGB-tyyppiä¹³⁰. Se koostuu neljästä erillisestä tasosta, joista kukin on täysin alkuperäisen matriisin kokoinen. Matriisit ovat 32-bittisiä liukulukumatriiseja, joiden kunkin resoluutio on 512 x 1024. Näin ollen neljän tason sisältämä pikselimäärä on 2 097 152. ARGB-matriisi on käytännöllinen valinta, koska OpenGL-rajapinnan tekstuurinprosessointikieli tukee suoraan tätä matriisityyppiä. OpenGL-rajapinta on ollut olemassa jo yli kaksi vuosikymmentä, joten valmiita tekstuurialgoritmeja on valtava määrä. OpenGL:n käyttö poistaa myös kuormaa tietokoneen suorittimelta, sillä se käyttää tietokoneen näytönohjainta prosessien laskemiseen.

Äänen analyysistä syntyvää kuvaa kutsutaan sonogrammiksi. (Kuva 14) Sen graafinen prosessointi ajassa muodostaa teoksen videokuvan. Kukin ruutu toimii uutena versiona alkuperäisestä sonogrammista. Syntynyt videokuva syntetisoidaan käänteisellä nopealla Fourier'n muunnoksella takaisin ääneksi. Vaikuttamista spektriin analyysin ja synteessin välissä kutsutaan *phase vocoder* -tekniikaksi.¹³¹ Jean-François Charles on kehittänyt *phase vocoder* -tekniikkaa graafista prosessointia hyödyntäen Max/MSP/Jitter -ohjelmointiympäristössä.¹³² Monet käyttämäni algoritmit ovat sovelmia hänen yksityiskohtaisessa artikkelissaan esitellyistä algoritmeista, minkä lisäksi olen kehittänyt omia graafisia prosesseja edellä mainitun tekniikan perusteella. Myös IRCAM:issa kehitetty *AudioSculpt*-ohjelma toteuttaa graafisia operaatioita äänispektrille, mutta ei-reaaliajassa.

130 ARGB on lyhenne englanninkielen sanoista *alpha, red, green* ja *blue*.

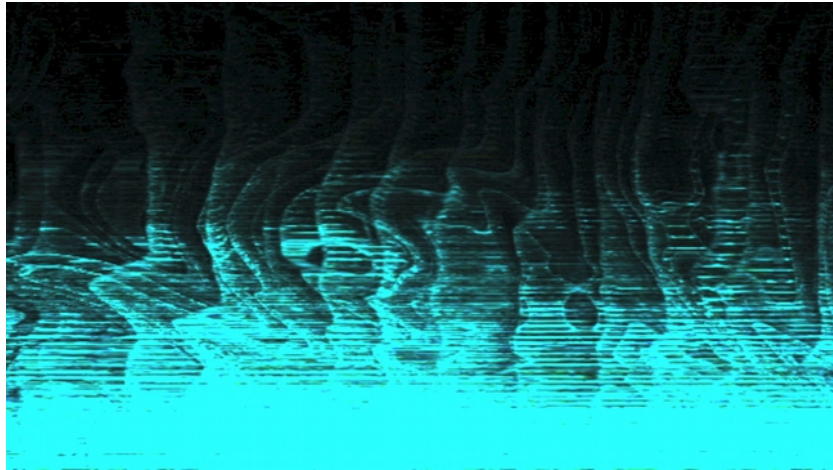
131 Dolson 1986.

132 Charles 2008.



Kuva 14: Lähdeäänien sonogrammi –
kuvaprosessoinnin lähtökohta teoksessa *A Journey into
the Consciousness of*

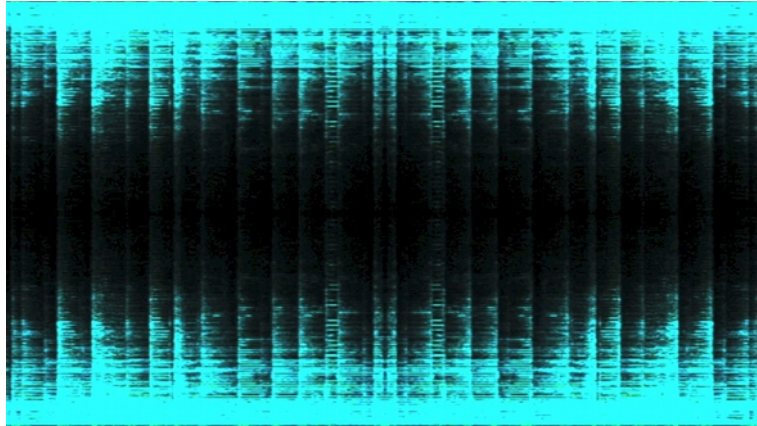
Teoksessa *Doors* käytettyjen affiinitransformaatioiden lisäksi olen käyttänyt rotaatiota sekä peilausta. Näiden lisäksi olen käyttänyt muita graafisia prosesseja, joilla on merkittävä vaikutus äänispektriin. Äänesten suodatuksen voi nähdä kohinanpoistona: tämä tapahtuu suodattamalla kuvamatriisista tiettyä arvoa pienemmät tai suuremmat pikselin arvot kokonaan pois, jolloin tuloksena kuvamatriisiin jää ainoastaan haluttu amplitudiarvojen alue. Teos alkaa tällä prosessilla niin, että konsertin ensimmäisestä osiosta, jonka päättää *Bird Convection*, siirrytään harvennetun äänispektrin selkeiden sinusoidien kautta asteittain kohti tämän teoksen äänen täyttä spektriä. Liikkeenpehmenys keskiarvoistaa peräkkäisten kuvaruutujen pikselien valoisuutta ja tekee liikkeestä sekä äänestä pehmeämmän. Yhtä lailla pehmennykseen vaikuttaa matriisien resoluution interpolaatio etenkin skaalaustilanteissa, joissa tietty alue alkuperäisestä matriisista suurennetaan. Interpolaatio häivyttää kuvan pikselöitymistä ja sitä kautta äänen kvantisoitumisen edesauttaen alkuperäisen ääneksien muodon säilymistä. Lopuksi olen siirtänyt pikseleitä spatiaalisesti kontrollimatriisin avulla: tämä prosessi luo mielenkiintoisia äänispektrin tila-ajan muokkauksia (kuva 15) – kontrollimatriisiksi valitsinkin eräänlaisen fraktaalisen kaksiulotteisen kuvan. Kontrollimatriisiin tulee olla mustavalkoinen, sillä se kertoo ainoastaan määrän, millä kukin vastaava pikseli siirretään x- ja y-akselin suhteen.



Kuva 15: Äänispektriä siirretään spatiaalisesti fraktaalisen kontrollimatriisin avulla

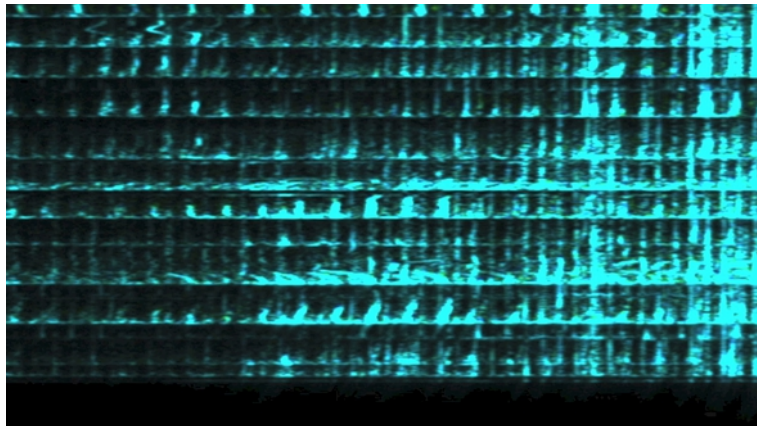
Teoksen säveltäminen tapahtui reaaliajassa. Analysoitua spektriä luetaan syklisesti äänitiedoston alkuperäisellä nopeudella tai käyttäen hyväksi *time stretch* -tekniikkaa. Samaan aikaan äänispektriä voi muokata graafisilla prosesseilla. Tallensin videokuvan ja siitä syntetisoidun äänen samaan aikaan, jolloin teoksen säveltäminen oli itse asiassa performanssi: olin tallentanut aikaisemmin kuvan ja äänen prosessoinnista vastaavien parametrien arvoja esiasetuksiin, joita vaihtamalla teos sai muotonsa. Tämä metodi on samanlainen kuin teoksessa *Doors*, mutta eroaa seuraavanlaisesti: parametrien eri arvot liukuvat uusiin arvoihin ajassa synnyttäen asteittaista liikettä. Jotta liike arvosta toiseen olisi sulava, käytin arvojen välisissä interpolaatioissa kosinifunktiota. Liikkeen ansiosta eri tilojen väliset suhteet – ja tätä kautta myös teoksen kantava abstrakti idea – tulevat katsojalle selvemmiksi. Koska koko prosessin laskeminen ja tallentaminen reaaliajassa vaati paljon resursseja tietokoneelta, tallennettu video kuva on alinäytteistettyä verrattuna laskennassa käytettyyn resoluutioon.

Se, millä tavalla olen soveltanut sarjallisessa musiikissa yleisesti käytettyjä rivioperaatioita – kuten inversio, rapuliike ja rapuliikkeen inversio – spektrin käsittelyyn on hyvin suoraviivainen: kääntämällä matriisin y-akselin suhteen saadaan aikaan inversio; kääntämällä x-akselin suhteen saadaan rapuliike ja kääntämällä molempien akselien suhteen saadaan rapuliikkeen inversio. Kuva 16 on otos teoksen yhdestä tilasta ja siinä voi nähdä alkuperäisen matriisin (vasen alakulma) lisäksi kaikki edellä mainitut operaatiot. Kuva on myös palindromi molempien ulottuvuuksiensa suhteen.



Kuva 16: Äänispektri ja sen rivioperaatiot

Matriisitransformaatiot mahdollistavat myös sarjallisten operaatioiden yleistyksen tarjoten lukuisia muita mahdollisuuksia musiikillisen materiaalin muokkaamiseen.¹³³ Kääntäen matriisia 90 astetta vaihtavat aika-avaruus ja taajuusavaruus paikkaa. (Kuva 17) Näin taajuuden korkeudesta tulee ajan mitta ja ajasta taajuuden määre.



Kuva 17: Rotaation myötä aika- ja taajuusavaruus vaihtavat paikkaa

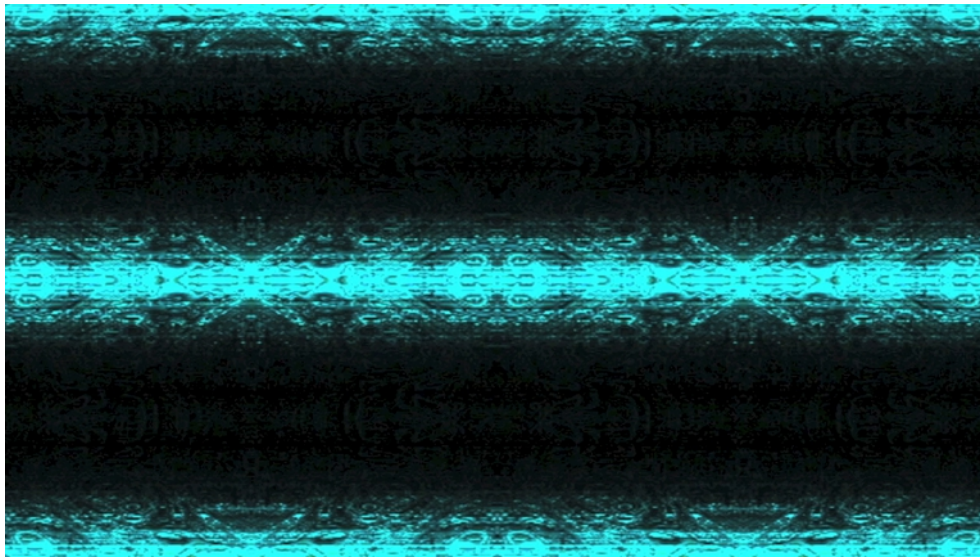
Teoksen ollessa audiovisuaalinen eräs teoksen lähtökohta olikin sumentaa näiden kahden modaalisuuden näennäistä eroa toisistaan. Peilauksen ja rotaation avulla lähdekuvasta on mahdollista rakentaa symmetrisiä ja toisteisia kuvioita, joita kutsutaan matematiikassa tasosymmetrioiksi. Näitä kuvioita esiintyy arkkitehtuurissa, eri kulttuureille ominaisissa ornamenttikuvioissa, arabialaisessa taiteessa sekä kuvataiteessa¹³⁴. Käyttäen analyyttistä viitekehystä sekä musiikinteoriasta että tasosymmetrioiden luokittelusta¹³⁵, kuvan 18 sisältämä

133 Musikaalisen notaation suhteen näistä musiikillisen joukko-opin ilmiöistä ovat teoretisoineet Eimert (1950) sekä Schillinger (1941).

134 Esimerkkinä mainittakoon M. C. Escherin *Designs from Ravello*.

135 Symmetriaryhmät standardoi *International Union of Crystallography* vuonna 1952.

informaatio voidaan tulkita seuraavin tavoin. Kuvassa on kaksi eri *frieze*-symmetriaryhmää¹³⁶: keskimmäisen kuvion ryhmä on *pmm* ja reunoilla olevien ryhmä on *pm*.¹³⁷ Musiikinteoreettisesti ajatellen äänen spektri harmonisoidaan intervallilla, joka on puolet äänen näytteistystaajuudesta. Tälle kokonaisuudelle tehdään inversio näytteenottotaajuuden puolikkaan toimien peilauspisteenä. Spektrin ajallista kestoa tiivistetään useita kertaluokkia ja se peilataan päätepisteessään horisontaalisen akselinsa ympäri symmetrisesti niin, että se muodostaa palindromisen ja toisteisen ketjun. Analyysimetodien tiiviys hämmästyttää erilaisuudellaan, vaikkakin analyysin kohde on identtinen.



Kuva 18: Frieze pattern -muokkaus kuvan 15 äänispektristä; kuvan muodostaa kaksi päällekkäistä kuvaprosessia – symmetriakuviointi ja alkuperäisen kuvamatriisin fraktaalisuus

Teoksen staattisia ja meditatiivisia tiloja korostaen päätin tehdä teoksen äänestä monikanavaisen, jolloin kuuntelija ikään kuin asettuu äänen ja visuaalisten tilojen sisään. Lähdeäänien ohella myös syntetisoitu ääni on kaksikanavainen, jota käytin monikanavaistamisen lähtökohdaksi. *Timbre spatialization* -tekniikan avulla hajotin äänen spektrin kuulijan ympärille. Graafisen prosessoinnin ja nopean Fourier'n muunnoksen avulla ääneksien hajottaminen ja allokointi eri äänikanaviin onnistui kätevästi niin ikään matriisien avulla. Ohjelma analysoi jo valmiiksi äänitetyn syntetisoidun äänen sykliseen puskuriin reaaliajassa. Äänikanavan spektri voidaan jakaa 1-1024 eri taajuuskaistaan ja allokoida nämä satunnaisesti neljän eri kaiuttimen välillä. Kun sama toistetaan myös toiselle kanavalle, stereokuva säilyy näennäisesti kahdeksan kaiuttimen välillä ja äänienergia jakautuu tasaisesti kanavien välille. Kahden kanavan hajonneet

136 *Frieze*, suom. friisi, tarkoittaa rakennuksen vaakasuoraa koristekuviointia.

137 Schattschneider 1978.

spektrin osat voidaan myös laittaa oskilloimaan puolelta toiselle. Äänekset sekoittuvat tilaan entistä paremmin liikkeen ansiosta ja tuo tarvittavaa vaihtelua kokonaisäänen kokemiseen, sillä konserttitilanteessa yleisö istuu yleensä paikallaan ja kuulisikin näin ollen vain staattisen ääneksien komposition. Teoksen monikanavaisuuden luominen tapahtui myös reaaliajassa kontrolliparametrien arvoja vaihdellen. Lopputuloksen äänitin kahdeksankanavaisena wav-tiedostoon.

Äänen synteesipuolella käytin *time stretch* -tehostetta taiteellisena tehokeinona. Jotta hidastuksesta johtuva äänen diskreetti siirtymä analyysi-ikkunasta toiseen saataisiin eliminoitua, ikkunoita järjestyksessä lukevaan muuttujaan lisätään stokastinen elementti, joka sumentaa tätä siirtymää. Teknisesti tämä tapahtuu lisäämällä skaalattua, äänen näytteistystaajuuksista kohinaa ikkunan indeksimuuttujaan, mikä on laskennallisesti tehokas ja korkealaatuinen metodi tämän tehosteen saavuttamisessa. Kohinan amplitudin skaalainta muuttamalla on mahdollista vaikuttaa sumennuksen laajuuteen.¹³⁸

Lopuksi mikksasin alkuperäisen äänitiedoston ja kahdeksankanavaisen spatialisoinnin yhteen. Käytin alkuperäistä äänitiedostoa niissä kohdissa, missä videokuvassa näkyy vain äänen muokkaamaton spektri. Tämä johtuu siitä tosiasiasta, että nopeassa Fourier'n muunnoksessa äänen laatu kärsii hieman – ja halusin korostaa lähdeäänien ja prosessoidun äänen välistä eroa; tosiasiallisen ja muunnellun tajunnantilan välistä kuilua.

3.2.3. *Piano-noise* (2014)

Sävellysportfolion nuorin teos on *Piano-noise*, jonka sävelsin täydentämään konsertin muuta ohjelmistoa. Olin päättänyt käyttää teoksessa käyttämäni sävellystekniikkaa jo aiemmin, mutta konsertin muusta sisällöstä riippuen muotoilin tämän teoksen konserttikokonaisuuteen sopivaksi viimeisenä. Teoksen rooli konsertissa on tärkeä. Se sijoittuu heti konsertin puolivälin jälkeiselle osalle ja poikkeaa energisyydessään ja ytimekkyydessään muista teoksista tuoden kontrastia – ja säilyttäen näin yleisön mielenkiinnon.

Teos on sävelletty mekaaniselle pianolle, joka toistaa MIDI-informaatiota. Teos on tallentuneena MIDI-tiedostoon, joka määrittelee ajassa etenevien musikaalisten sävelten sijainnin, korkeuden,

138 Charles, 92-94.

voimakkuuden ja keston. Esitystilanteessa tämän tiedoston sisältämä informaatio johdettiin Yamaha Disklavier Grand Pianoon, jonka kautta teoksen sävelinformaatio realisoitui konserttitilaan. Teoksen kesto on 3'30.

Teoksessa sekä sen toteutuksessa voi havaita useita minimalistisen musiikin piirteitä ja sävellystekniikoita.¹³⁹ Konsonanttisen harmonian asteittainen rakennus teoksen alussa johdattaa kuulijaa minimalismin tyyllille tyypillisellä tavalla. Läpi teoksen asteittaista muutosta voi havaita myös teoksen dominoivimmassa piirteessä, toisteisessa rytmikuvioinnissa. Minimalismin tyylistä kuitenkin poiketaan käyttäen äkkinäisiä muutoksia, dissonanttisia harmonioita sekä selkeää progressiota kohti rakenteellisesti merkityksellisiä hetkiä, jotka erottuvat ympäröivästä, toisteisesta tekstuurimassasta. Teoksessa on selkeästi minimalismille ominaisia prosessuaalisia piirteitä, mutta sen muoto on ytimekäs ja ennen kaikkea narratiivinen. Lyyrinen melodia minimalistisen kudoksen päällä ei myöskään kuulu niin ikään minimalistiseen tyyliin, mutta on varsin laajalti käytetty sävellyksellinen tekniikka, jota hyödynsin teoksen loppupuolella.¹⁴⁰

Toisteisuus on olennainen osa teoksen muotokieltä ja sen vaikutteina ovat olleet elektronisen tanssimusiikin estetiikka ja tyyli sekä yleisemmin minimalismi, joka teoksen edetessä kuroutuu kohti *maksimalismia*¹⁴¹. Näitä tyyllilajeja yhdistää rytmisen monimuotoisuus toisteisuudessa sekä prosessuaalinen luonne. Musiikillista joukko-oppia soveltaen olen käsittänyt teoksen harmonisen viitekehyksen 12-säveljärjestelmän sijaan pantonaalisuutena ja erityisesti teoksen instrumentin huomioonottaen 88-tonaalisen musiikkina. Koko pianon klaviatuurin tarjoama kromatiikka muotoutuu suodattaen symmetrisiksi intervallikentiksi. Algoritmisesti tiivis lähestymistapa harmonian generointiin tuottaa kuvainnollisesti ilmaistuna maksimaalisesti vaihtelevan lopputuloksen.

Piano-noisen sävellysmetodi perustuu Iannis Xenakiksen *Formalized Music* -teoksessa esitettyyn algoritmiseen lähestymistapaan, jonka lähtökohta on pseudosatunnaisessa funktiossa ja perusidea sen käsittelemisessä erilaisin rajoituksin ja painotuksin.¹⁴² Käsittelemisestä vastaaviin prosesseihin voi vaikuttaa muuttujien arvoilla, jotka muodostavat kunkin harmonisen ja rytmisen

139 Johnson 1994, 748, 750-751.

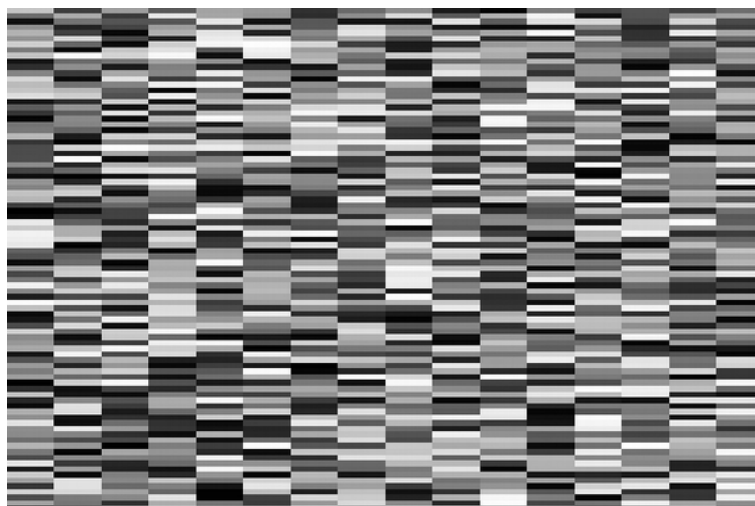
140 Johnson 1994, 751-753, 762.

141 Warburton 1988; tässä artikkelissa mainitaan kaksi säveltäjää, Milton Babbitt ja Louis Andriessen, jotka kuvailevat omaa musiikkiaan mieluummin termillä maksimalismi. *Piano-noisen* tapauksessa maksimalismi merkitsee enemmänkin kielikuvaa prosessille, joka kasvaa minimalismista aikeenaan saavuttaa jonkinlainen musikaalisen materiaalin saturaatiopiste.

142 Xenakis 1992; Roads et al., 340.

tilan sekä määrittelevät ajalliset prosessit. Kokeilin tässä teoksessa ohjata sävellyksen reaaliaikaista muotoutumista muuttujien tekstipohjaisella numeerisella sekvensoinnilla, joka on perinteinen tapa määritellä algoritmisen musiikin partituurikieli.¹⁴³

Teoksen lähdemateriaalina on yksi matriisi. (Kuva 19) Se on yksitasoinen – eli mustavalkoinen – 8-bittinen 16 x 88 matriisi, joka pitää sisällään näytteen pseudosatunnaista valkoista kohinaa¹⁴⁴. Tasaisesti koko näytteen alalle jakautunut kohina antaa kullekin pikselille satunnaisen arvon väliltä 0-255, joka skaalataan alueelle 0-127 MIDI-protokollaa varten. Pikselin arvo määrittelee nuotin voimakkuuden. Matriisin x-akseli on aikaulottuvuus ja koko matriisi kuvaa yhden tahdin, joka on kvantisoitu 16-osanuoteiksi. Y-akseli on sävelavaruus, joka kattaa tasavireisen pianon ambituksen, eli 88 nuottia. Yksi kohinamatriisi tuottaa yhden tahdin verran 16-osanuotteja satunnaisella voimakkuudella: täten lähdematriisissa on 1408 eri nuottia. Matriisin valitsin korvakuulolta sen jälkeen, kun olin käyttänyt prosessointia lähdematriisiin.



Kuva 19: Teoksen Piano-noise lähtökohta on yksi matriisi pseudosatunnaista valkoista kohinaa

Tässä tekstin osiossa useasti mainitut matriisitransformaatiot ovat niin ikään käyttämäni sävellystekniikan keskiössä. Transformaatioiden avulla lähdematriisin tila-aikaa ja pikselien arvoja muokataan ennalta määritellyn sekvenssin mukaisesti, josta kerron tuonnempana.

Matriisin horisontaalinen ulottuvuus vastaa sävelkudoksen rytmikasta. Kuvaa luetaan vasemmalta oikealle kolumni kerrallaan. Muutos pikselin arvossa horisontaalisesti aiheuttaa MIDI-nuotin syttymisen kyseiseltä sävelkorkeudelta ja kyseisellä voimakkuudella: täten nuotin

143 Roads et al., 111-113.

144 Ibid., 335-336, 881.

pituus määrittyy pikselin arvon muutoksista. Teoksen nopeus on 120 iskua minuutissa ja sen tahtilaji on 4/4, joka jakautuu pienimmillään 16-osanuotteihin¹⁴⁵. Teoksessa on epäsäännöllinen hypermetriikka¹⁴⁶, jonka olen määritellyt vapaasti algoritmista. Tämä kompensoi tahtien tasolla ilmenevää toisteista rytmikuviota tuoden vaihtelua teoksen rytmiseen ilmeeseen tahtia suurempien yksiköiden epäsymmetrialla. Tahtien sisäisen rytmiiän muokkausta ilmenee ainoastaan teoksen puolivälissä klusteriosion loppupuolella: matriisin x-ulottuvuuden uudelleennäytteistäminen pienempiin kokonaislukuihin alkuperäisestä 16:sta saa aikaan rytmikudoksen hidastumisen, joka uudelleen näytteistettynä saattaa jakaa matriisin epätasaisesti pyörityksestä johtuen. 16 eri osaa ei approksimoisi esimerkiksi viiteen jaettua osaa riittäväällä tarkkuudella. Näin ollen rytmikudos jää edelleen kvantisoiduksi 16-osanuottien tasolle.¹⁴⁷

Teoksen määrittelevin prosessi on matriisin y-akselin skaalaus, jota käytän suodinmatriisin muodostukseen. Ensimmäiseksi määrittelen suotimen lähtökohtana toimivan matriisin, joka jaetaan horisontaalisesti mielivaltaisesta kohdasta mustaan ja valkoiseen osaan. Skaalaamalla tätä suodinmatriisia syntyy useita mustia ja valkoisia horisontaalisia viivoja, joiden paksuuteen, määrään ja vertikaaliseen sijaintiin voi vaikuttaa muuttamalla prosessointiketjun parametrien arvoja. Muodostunut kuva harmonisoi suodattamalla kaistoja kohinamatriisista. Käytännössä tämä tapahtuu matriisien välisellä kertolaskulla.

Kiteytettynä menetelmä on sovellettua vähentävää synteesiä¹⁴⁸ vertikaalisesti symmetristen suotimien (kuva 20) avulla MIDI-informaationa tulkittavasta kuvamatriisista.¹⁴⁹ Kun skaalatusta suodinmatriisista otetaan y-akselin suhteen modulo 88, syntyy symmetrisiä intervallikenttiä.¹⁵⁰ Operaatio monentaa suodinkaistan pitämällä läpipäästetyn energian vakiona, sillä alkuperäisen suodinmatriisin koko myös skaalautuu samassa suhteessa. Siirtämällä suodinmatriisia

145 Tämä on totta, mikäli huomioon ei oteta teoksen aivan lopussa tapahtuvaa rytmistä tihentymistä, jonka rakensin MIDI-sekvensserissä jälkikäteen.

146 Krebs, 54-55. Epäsäännöllisen hypermetriikan voi havaita kuvan 23 toisesta kolumnista, joka kertoo tahtien määrän kullekin parametrisarjalle (1, 6, 9, 13, ...).

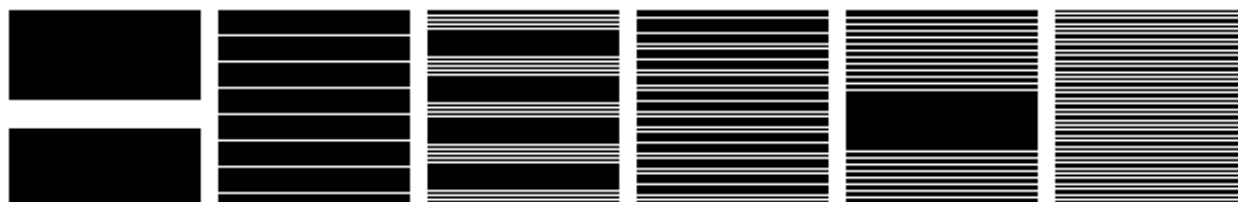
147 Ilmiön hahmottaa ryhmitellyn ja jakavan rakenteen perustavanlaatuinen eroavaisuus; kuva 4.

148 Roads et al., 184-185.

149 Ranskalainen *syter*-instrumentti harmonisoi äänisignaalia niin ikään kaistanpäästösuotimien avulla, joiden korkeat q-arvot vahvistavat haluttua äänen taajuutta; Roads et al., 197. Tässä samaa ideaa on sovellettu MIDI-informaatioon.

150 Samankaltaisista intervallikentistä ja niiden soveltumisesta 12-sävelrivien sykliisiin permutaatioihin on teoretisoinut Rothgeb 1967; erityisesti taulukko 1, sivu 180. Skaalojen generoinnin yleistyksen modulo-operaatioon perustuen tarjoaa sittemmin Carey ja Clampitt artikkelissaan "Aspects of Well-Formed Scales" (1989). Erotuksena mainittakoon, että omassa tekniikassa generoin samaa periaatetta käyttäen suotimen, jonka avulla kohinasta suodatetaan halutut nuotit.

vertikaalisesti syntyä mielikuva harmonisesta liikkeestä samaan tapaan kuin teoksessa *Doors*.



Kuva 20: Kohinan harmonisoinnissa on käytetty erilaisia generoituja suotimia

Toinen tärkeä matriisiprosessi on pikselin suodatus sen arvon mukaan. Käytännössä tämä tapahtuu valitsemalla numeerinen alue, kuten $0,547-0,774$ ¹⁵¹, jonka ulkopuolella olevat pikselit suodatetaan pois logiikkaoperaatioiden avulla. Suodatus tapahtuu yhtenäisesti koko matriisin alalle. Läpi päässeet pikselit muodostavat harmonisoitavan matriisin. Yhtenäiselle arvojen suodattamiselle on monta perustetta. Toisaalta sitä voi käyttää taiteellisenä tehokeinona, toisaalta se on välttämätön prosessi ottaen huomioon teoksen esittämisessä käytettävän tekniikan. Suodatetun alueen koko vaikuttaa suoraan nuottiavaruuden tiheyteen: se toimii samalla sekä polyfonian että rytmisen tiheyden kontrollimuuttujana. Sen säätäminen on olennaista, jotta äänikuva saadaan muutettua miellyttävämmäksi kakofonisesta alkutilanteesta. Suodatus on myös välttämätöntä MIDI-väylän hitaudesta sekä mekaanisen pianon toisto-ominaisuuksista johtuen.¹⁵² Näille tekniikoille 88 yhtäaikaista nuottia – teoksen sävellystekninen ja -teoreettinen yläraja – on ehdottomasti liikaa ja jäi teknisistä syistä saavuttamatta. Teoksen puolivälissä kuultavassa nuottiavaruuden kromaattisessa tihentymässä voi havaita hienovaraista hidastumista tai nykimistä.



Kuva 21: Kohinan muokkaus suotimilla. Otos on teoksen yksi toistetuimpia tahteja.

151 Liukulukujen tapauksessa arvojen vaihdella välillä 0 ja 1.

152 Roads et al., 643-650, 672, 1007, 1009.

Huomionarvoista on, että alkuperäisen kohinan pikselien arvot luovat sävelkudoksen rytmit sekä polyfoniset melodiat, joita voi etsiä kohinasta muuttujien arvoja vaihtamalla. Kohinamatriisin pysyessä samana sen hienovaraiset muokkaukset ja siirtymät korreloivat riittävästi keskenään tuoden yhtenäisyyttä musikaaliseen kehittelyyn. Kuva 21 on otos teoksen toisesta pääasiallisesta ja usein toistuvasta yhden tahdin mittaisesta sävelrakenteesta, jonka kuulokuvaa voi luonnehtia kvarttipinojen kaltaiseksi. Tämän rakennelman aikaansaamisessa on käytetty teoksen molempia suodatinprosesseja. Yhtenäisellä suodatuksella rajataan pikselimäärää, mikä selkeyttää rytmistä ja polyfonista kudosta. Tulosta harmonisoidaan vertikaalisella symmetrisellä suotimella, jonka voi nähdä kuvan 20 oikeassa reunassa. Harmonisoiva suodin pitää sisällään kaikki muut sävelluokat paitsi d-sävelen ja on järjestäytynyt peräkkäisiin moduloiviin pentatonisiin duuriasteikkoihin (kuva 22).



Kuva 22: Kuvan 20 oikeanpuolimmaisimman suotimen säveltasot notatoituna

Teoksen muodosta vastaava sekvenssi koostuu joukosta parametrien arvoja, jotka lisäsin tekstipohjaiseen taulukkoon. (Kuva 23) Taulukko koostuu parametrisarjan indeksistä, tietyssä tahdissa tapahtuvasta muutoksesta sekä kuvaprosessoinnista vastaavasta parametrisarjasta. Sekvenssi toistuu identtisenä kerta toisensa jälkeen ja toimii generatiivisen prosessin ohjausinformaationa. Tallensin muodostuvan sävelkudoksen MIDI-tiedostoon yksityiskohtien myöhempää muokkaamista varten varsinaisessa MIDI-sekvenssissä¹⁵³. Tämän yhdistelmämetodin avulla on mahdollista tuoda ilmaisuvoimaa kompleksisiin, generoituihin sävelrakenteisiin myöhemmällä vapaalla työstämisellä.

153 Ableton Live.

```

1 1, 23 0 51. 32 1 1 2 1;
2 6, 23 1 51. 32 1 1 2 0;
3 9, 23 2 51. 32 1 1 2 0;
4 13, 23 3 51. 32 1 1 2 0;
5 19, 23 10 51. 32 1 1 2 0;
6 26, 23 0 51. 32 1 1 2 0;
7 29, 23 17 51. 32 1 1 2 0;
8 33, 26 17 51. 32 1 1 2 0;
9 36, 37 17 51. 32 1 1 2 0;
10 37, 31 21 51. 32 1 1 2 0;
11 41, 23 26 51. 32 1 1 2 0;
12 45, 35 28 51. 32 1 1 2 0;
13 47, 25 36 51. 32 1 1 2 0;
14 49, 40 35 52 32 1 1 2 0;
15 53, 50 88 52 32 1 1 2 0;
16 54, 70 88 52 32 1 1 2 0;
17 55, 88 88 52 32 1 1 2 0;
18 56, 47 12 1 32 1 1 2 1;
19 59, 45 12 1 32 32 1 1 2 0;
20 60, 37 12 1 16 32 1 1 2 0;
21 61, 34 14 1 16 32 1 1 2 0;
22 62, 30 14 1 10 32 1 1 2 0;
23 63, 25 16 1 8 32 1 1 2 0;
24 64, 20 18 1 6 32 1 1 2 0;
25 65, 15 16 1. 5 1 1 2 0;
26 66, 7 16 1. 4 1 1 2 0;
27 67, 0 0 0 3 1 1 2 0;
28 68, 40 35 52 32 1 3 2 0;
29 71, 40 35 52 32 1 3 2 16;
30 73, 30 1 52 32 1 1 2 96;
31 79, 40 88 51 32 1 1 2 82;
32 82, 7 88 7.41 32 1 1 2 0;
33 85, 7 88 7.41 32 1 1 2 0;
34 87, 7 88 7.41 8 1 1 2 1;
35 90, 14 88 7.41 4 1 1 2 1;
36 92, 23 1 51. 32 1 1 2 128;
37 103, 23 0 51. 32 1 1 2 0;
38 104, 0 0 0 32 1 1 2 0;

```

Kuva 23: Teoksen Piano-noise muodosta vastaava sekvenssi

Piano-noisen jälkityöstämisessä tärkein ilmaisuvoimaan vaikuttava tekijä on nuottien voimakkuuksien muuttaminen, jonka kautta on mahdollista korostaa tärkeitä iskuja sekä selkeyttää teoksen fraaseja. Teoksen loppupuolen suvantovaiheen erotin ympäröivästä sävelkudoksesta laskemalla osion voimakkuutta huomattavasti, jotta MIDI-kosketinsoittimella päälle äänittämäni suomalaisen kansanlaulun melodia¹⁵⁴ kuuluisi selkeästi. Perinteisen melodian lisäys generatiivisen kudoksen päälle on myös eräänlainen musikaalinen vitsi, sillä se tuo yllättävän kontrastin ja täysin toisenlaisen viitekehyyksen koko konsertin ohjelmistoon sekä tuo toisaalta esiin generatiivisen ja vapaan säveltämisen välistä eroavaisuutta, toisaalta harmonian ja melodian välistä kytköstä.

154 *Kotimaani ompi Suomi*, säv. trad.

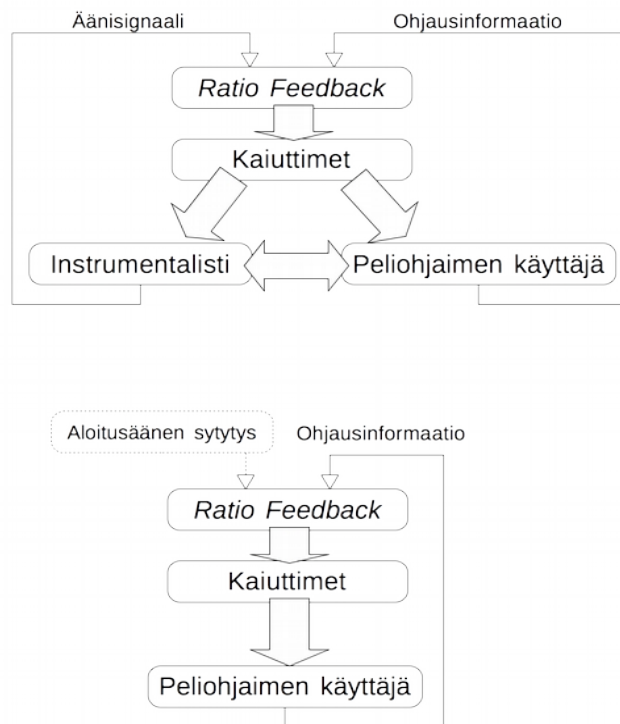
Teoksen reaaliaikainen generointi ja tallentaminen oli hieman vaivalloista, eikä prosessin reaaliaikaisuudelle ollut erityisiä perusteluita. MIDI-väylän hitaudesta johtuen jouduin rajoittamaan reaaliaikaisesti generoitavien MIDI-nuottien yhtäaikaista määrää. Toisaalta MIDI-väylän kapasiteetin testaaminen reaaliaikaisesti osoittautui käteväksi, sillä parametrin käyttökelvottoman arvon pystyi heti hylkäämään ja muuttamaan sopivammaksi. Parametreihin tutustuminen ja merkityksellisten arvojen etsiminen oli myös kätevää reaaliaikaisesti, sillä esimerkiksi hiirellä arvoa muuttaen on mahdollista saada vaste saman tien äänikuvassa ja täten hienosäätää arvoa halutun musikaalisen vaikutelman saavuttamiseksi. Prosessoinnista vastaavien muuttujien arvoja etsin kokeilemalla ja tallensin esiasetuksiin tai varsinaiseen sekvenssiin. Jotta en joutuisi kuuntelemaan jokaisen muutoksen jälkeen sekvenssiä alusta, rakensin askelsekvensserin, jonka avulla pystyin hyppäämään sekvenssin indeksistä toiseen ja aloittamaan toiston haluamastani kohdasta.

Musiikillisesti kakofoniasta, teoksen lähtökohdasta, edetään harmoniaan, josta edetään polyfonisuuteen ja tästä edelleen melodiaan. Käyttämäni verbi *edetä* kuvaa mainiosti teoksen proseduraalista ja abstraktia perusideaa eikä väritä prosessin puhtaasti teknistä luonnetta moraalaisella argumentilla, kuten esimerkiksi sana *kehittyä* voisi näin tehdä. Suodattamalla kakofoniaa yhtenäisesti kaiverretaan esiin materiaalin itsensä erilaisia hahmoja ja jatkaen harmonisilla suotimilla edetään asteittain määritellympään sointimaailmaan. Prosessoimalla järjestys lisääntyy ja aistittu satunnaisuus vähenee. Teoksen yksi tutkimuskohteista onkin kohinan sisältämien musiikillisten ominaisuuksien tutkiminen sekä musikaalisten muokkausprosessien löytäminen lähtökohtana toimivalle satunnaisuudelle.

3.3. *Balance Game* (2011-2014)

Balance Game on teos langattoman peliohjaimen käyttäjälle. Teoksen perusidea on äänen prosessointiketjun eleellisen kontrolloinnin ja sen tuottamien äänien välinen vuorovaikutus. Eleiden ja äänien välinen vastavuoroinen kausaalisuus johtaa jatkuvaan musiikillisen kognition takaisinkytkentään, jonka välittäjänä eleohjaimen käyttäjä toimii. Ohjaimen avulla käyttäjä muuttaa prosessointiketjun parametreja sekä tärkeimpänä ketjun takaisinkytkennän määrää. Tämä on teoksen *Balance Game* ydin: vahvistaako vaiko vaimentaako takaisinkytkentää, vai muuttaako prosessoinnin tilaa. Teoksen tarkoitus on vahvistaa käyttäjän reaktiivisuutta, luovuutta

sekä keskittymiskykyä tämän yksinkertaisen ja suoran kytkennän kautta.



Kuva 24: Balance Game -teoksen vuorovaikutteisuuden dynamiikka kaksin tai yksin käytettäessä

Maisterikonserttia varten *Balance Game* muotoutui teokseksi instrumentalistille sekä langattoman peliohjaimen käyttäjälle. Instrumentalistin tuottamat äänet kulkeutuvat mikrofonin kautta tietokoneohjelmaan, jota kaukosäätimen käyttäjä ohjaa eleiden ja valintojen kautta. Muokattu ääni toistetaan kaiuttimien kautta takaisin esiintymistilaan. Teoksen musikaalinen sisältö muotoutuu pääsääntöisesti improvisoinnin kautta, jonka merkkipaaluina toimivat ennalta määritellyt äänen prosessointitilat. Teoksen keston tulisi olla suunnilleen 10'00 ja sen tulisi koostua muutamasta selkeästi erilaisesta jaksosta.

Teoksen keskiössä on peliyhtiö Nintendon kehittämä langaton peliohjain Wii Remote Plus. Sen ominaisuuksiin lukeutuu asento- ja kiihtyvyytunnistimet, infrapunatunnistin sekä useita eri painikkeita. Tässä teoksessa en käytä infrapunatunnistinta lainkaan. Kommunikointi tietokoneen kanssa tapahtuu langattoman Bluetooth-tiedonsiirtoväylän kautta. Peliohjain on käteen sopiva, kaukosäätimen kaltainen ja sen käsittelemisestä on tehty intuitiivista ja ergonomista. Näiden ominaisuuksien johdosta peliohjain soveltuu mainiosti kokeellisen elektronisen instrumentin

ohjausrajapinnaksi sekä erityisesti eleinformaation tulkitsemiseen.

Balance Game lähti alun perin tarpeesta kontrolloida generatiivisia järjestelmiä. Tällaisesta osittain automatisoidusta systeemistä voidaan käyttää termiä *active instrument*¹⁵⁵, jossa generatiivinen systeemi tuottaa materiaalia ja käyttäjä muuttaa sen toimintaa erilaisten ohjausrajapintojen kautta reaaliaikaisesti. *Balance Game* ei kuulu tähän kategoriaan, sillä siitä puuttuu generatiivinen osio. Toinen teoksen muotoutumiseen olennaisesti vaikuttanut seikka oli kokeilu akustisen takaisinkytkennän taiteellisesta käytöstä, jossa useita harmonisoituja viiveitä käyttäen muokkasin mikrofonin ja kaiuttimien välillä kiertävää ääntä. Äänen prosessointi miellytti, mutta kokeilusta ilmeni takaisinkytkennän kontrolloimisen tarve. Tasapainopisteen löytäminen on haaste takaisinkytkennän akustisessa käytössä, sillä tämänkaltainen dynaaminen systeemi varsin helposti joko kasvaa hallitsemattomasti tai pienenee kuulumattomiin. Lopulta yhdistin nämä kaksi lähestymistapaa. Prosessointiketjun takaisinkytkennän kontrollointi peliohjaimen avulla osoittautui olevan helppoa, mieltä stimuloivaa ja hauskaa sekä täytti osittain generatiivisuuden määritelmän monentamalla ääntä prosessoinnin ja takaisinkytkennän avulla.

Teoksen erityislaatuinen luonne on siinä, että käyttäjä ei vaikuta suoraan äänilähteeseen ja äänen syntyyn, kuten perinteisesti instrumenteilla on tapana, vaan ainoastaan äänen muokkausprosesseihin. Tästä syystä teos soveltuu minkä tahansa äänilähteen kanssa käytettäväksi, jolloin teoksen instrumenttinen luonne on enemmänkin *augmentoidun instrumentin*¹⁵⁶ kaltainen: prosessoinnin kautta teos vahvistaa, harmonisoi ja monentaa äänilähteen ääneksiä, venyttää ja toisteistaa sen ajallista ulottuvuutta ja luo tilavaikutelmia ääneen. Prosessoinnin avulla äänilähteestä tulee polyfoninen instrumentti, tai se toimii ikään kuin solistina ja *Balance Game* imaginäärisenä orkesterina kapellimestarineen. Konserttia ajatellen halusin tuoda tämän aspektin esille teoksesta *Balance Game*; sen, kuinka se soveltuu perinteisen instrumentin kanssa ja perinteisen instrumentin tavoin musiikin muodostamiseen, mutta täydentäen sitä omine vahvuuksineen ja luonteenpiirteineen. Ohjelman voi katsoa myös soveltuvan tietokoneavusteisen säveltämisen paradigmaan, jossa rajoitteiden kautta muodostetaan tietty sävelkielen avaruus.¹⁵⁷ Ohjelma avustaa käyttäjäänsä monentamalla ääntä ja tarjoamalla vuorovaikutteisen ja ohjattavan ympäristön.

155 Chapel, 16-23.

156 Newton & Marshall 2011.

157 Anders & Miranda 2009.

Tämän teoksen systeemillinen idea vastaa hyvin paljolti Agostino Di Scipion artikkelissaan kuvaamaa omaa taiteellista työtään ja ajattelutapaa, joka on hyvin vahvasti systeemiteoreettista. Hänen monissa töissään reaaliaikaisen vuorovaikutuksen rajapinta on ympäristön akustiikka ja ääni itsessään. Digitaalisen signaaliprosessoinnin avulla äänestä ja tilasta muodostetaan dynaaminen ekosysteemi.¹⁵⁸ Taiteellisenä esikuvana rakentamalleni instrumentille voidaan pitää ranskalaista *Syter*-instrumenttia: aikamuuttuvat kymmenet kaistanpäästösuotimet 'harmonisoivat' lähdemateriaalia suotimien korkeiden q-arvojen kautta. Suotimien resonanssitaajuudet pystyi määrittelemään musikaalisten sointujen ja klustereiden tuottamiseksi lähdemateriaalista ja äänikuvaa pystyi elävöittämään kampasuotimien ja vaiheistuksen avulla.¹⁵⁹ Instrumenttia pystyi ohjaamaan sekä eleellisesti että Fourier'n analyysin tuottaman informaation perusteella.¹⁶⁰

Ilman ulkopuolista äänilähdettä *Balance Game* ei tuota ääntä, sillä se ainoastaan muokkaa sitä. Tästä syystä yksin käytettäessä teoksen luonne muuttuu hieman. *Balance Game* alkaa, kun käyttäjä sytyttää lyhyen, alle sekunnin kestävänsä sinusoidimaisen äänen peliohjaimen *Home*-painikkeesta. Tavoitteena on pitää ääni hengissä niin pitkään kuin mahdollista, tai kun käyttäjä kokee tarvetta. Takaisinkytkennän luonteesta johtuen ääni saattaa kadota, jolloin on syytä aloittaa *Balance Game* alusta sytyttämällä sinusoidi uudelleen. Teoksen pelimäinen puoli tulee ilmi tässä kohtaa: vaatii taitoa pitää ääni hengissä ja luoda samalla esteettisesti miellyttävä ja monipuolinen äänikompositio. *Balance Game* ei ole vain taiteilua äänen ja äänettömyyden välillä, vaan myös riskinoton ja esteettisen lopputuleman välillä.

3.3.1. Teoksen *Balance Game* ohjelman toiminta ja eleohjaus

Taiteellisen tutkimuksen abstrakti perusta tämän teoksen osalta on geometrisen sarjan soveltamisessa harmonisoituihin viiveisiin. Rakensin *Ratio Feedback* -pääohjelman (kuva 27), jonka *Polyratio*-alihjelma (kuva 28) vastaa varsinaisesta harmonisoitujen viiveiden prosessoinnista. Aliohjelmia on vain 8 instanssia, koska tietokoneen laskutehon yläraja tuli vastaan; käsitellessäni tässä siis ainoastaan kahdeksan eri yksikön kokoisia geometrisia sarjoja. Laskutehon rajallisuus ilmenee vasta parametriarvojen liukumissa, mutta ei äänen prosessoinnin staattisissa tiloissa. Rajoittaminen on ehdotonta, sillä peliohjaimen kautta käsiteltävän äänen

158 Di Scipio 2003.

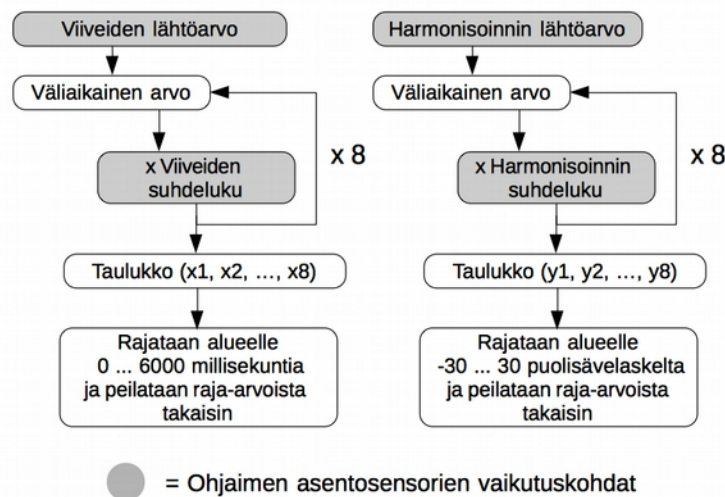
159 Roads et al., 197.

160 Emmerson, 104.

tulee vastata liikkeisiin sulavasti. Ohjaamisen ominaisuuksien ymmärtämistä ja kytköstä äänentuottomekanismiin voidaan havainnollistaa erilaisten kuvantamistekniikoiden kautta, joista kerron kappaleen loppupuolella.

Geometrinen sarja teoksen abstraktina mallina

Harmonisoitujen viiveiden parametrien laskeminen tapahtuu kuvan 25 mukaisella iteroituvalla proseduurilla, jonka muuttujina ovat lähtöarvo ja suhdeluku. Proseduurin tulos on kahdeksan arvon joukko, joka generoidaan erikseen viiveille ja harmonioijille. Arvot allokoidaan sen indeksiä vastaavaan *Polyratio*-aliohjelman instanssiin ja ohjataan kuvassa näkyviin viivelinjaan ja harmonisoijaan.

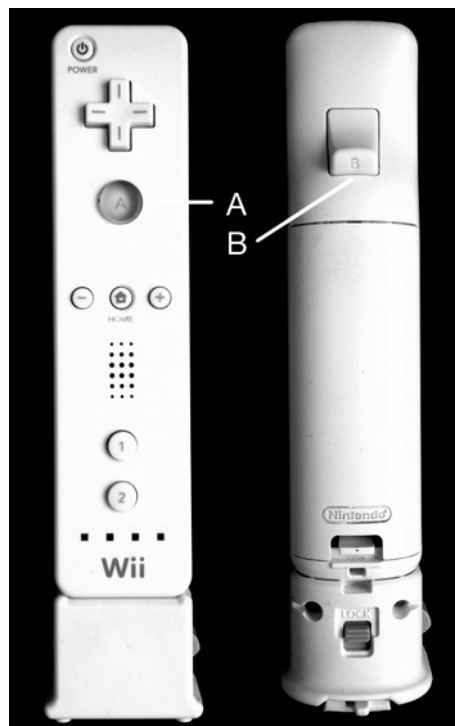


Kuva 25: Teoksen Balance Game harmonisoitujen viiveiden arvojen generointi

Itoimisen myötä joukko on geometrinen sarja, millä on monipuolisia ominaisuuksia soveltuena näin varsin hyvin polyfonisten äänellisten tilojen perustaksi. Joukko konvergoituu, mikäli suhdeluku r kuuluu väliin $-1 < r < 1$. Joukko divergoituu, mikäli r on suurempi kuin 1 tai pienempi kuin -1. Mikäli $r = 1$, joukon kaikki arvot ovat samat ja mikäli $r = -1$, joukko oskilloi kahden arvon välillä ollen näin vuorotteleva sarja. Sarja voi olla myös yhdistelmä näistä, esimerkiksi vuorotteleva ja konvergoituva, mutta ainoastaan harmonisoinnin kohdalla, jonka arvot voivat vaihdella nollan molemmin puolin. Viiveiden tapauksessa tämä ei ole mahdollista, sillä ajalla on meidän aikaperspektiivissä vain yksi suunta, jolloin negatiivisia viiveitä ei tarvita. Kuvasta 25 käy myös ilmi parametriavaruuden rajat, joista arvot peilataan takaisin.

Ohjausrajapinnan toiminnallisuus

Nintendo-peliyhtiön peliohjain Wii Remote Plus (kuva 26) soveltuu mainiosti eleohjattavan instrumentin rajapinnaksi langattomuuden, lukuisten riittävän tarkasti eleinformaatiota tulkitsevien sensoreiden ja useiden painikkeiden vuoksi. Tunnistimet mahdollistavat eleinformaation tulkitsemisen riittävän tarkasti ja painikkeet tuovat kätevän lisän ääniohjelman monipuoliseen ohjaukseen. Vaikka ohjain rekisteröi asennon ja kiihtyvyyden kolmessa ulottuvuudessa, ääntä ohjataan eleellisesti pääasiassa asentotunnistimen kahden ulottuvuuden, pituus- ja poikittaiskallistuksen avulla. Lyöntieleen kohdalla on tärkeää rekisteröidä isku kaikissa mahdollisissa kulmissa, jolloin on tarpeen rekisteröidä kiihtyvyys kolmessa ulottuvuudessa. Painikkeiden avulla käynnistetään itse *Balance Game*, valitaan ja tallennetaan äänen prosessoinnista vastaavia esiasetuksia ja muutetaan ohjelman toimintaa. Hieman vastaavanlainen, mutta monipuolisempi rajapinta on McGillin yliopistossa kehitetty *T-Stick*, jossa noin metrin mittaisen ontton putkilon sisältämien kahden kiihtyvyyssensorin, kahden paineenvaihtelua mittaavan sensorin, kontaktimikrofonin ja lukuisten kapasitiivisten sensorien avulla ohjataan digitaalista signaalinkäsittelyalgoritmia.¹⁶¹



Kuva 26: Wii Remote Plus -peliohjain on teoksen *Balance Game* ohjausrajapinta

161 Malloch & Wanderley 2007; Pestova et al. 2009.

Pituuskallistus ohjaa takaisinkytkennän määrää vaihdellen positiivisesta negatiiviseen. Äänen prosessointiketjun toiminta on säädetty tarkasti niin, että takaisinkytkentä on balanssissa ohjaimen ollessa sen neutraalissa asennossa, eli ohjaimen infrapunatunnistimen osoittaessa eteenpäin sen painikkeet ylöspäin suuntautuneena. Tällöin mahdollinen ääni on staattisessa tilassa kuuluen, muttei vaimentuen tai kasvaen. Ohjaimen käyttäjällä on kaksi vaihtoehtoa: vahvistaa äänen prosessoinnin takaisinkytkentää osoittamalla ohjainta ylöspäin, minkä johdosta äänen voimakkuus ja prosessoinnin määrä kasvaa, tai alaspäin, joka johtaa negatiiviseen takaisinkytkentään ja äänen katoamiseen.

Poikittaiskallistus ohjaa prosessointiketjusta tulevan stereoäänen painotusta stereofonisessa kentässä. Näin ääneen on mahdollista saada tilallista elävyyttä eleohjauksella. Stereofonisessa kentässä liikkuvaan ääneen lisätään tämän jälkeen keinotekoista kaiuntaa. Monikanavaisessa äänentoistossa olisi tavoiteltavaa säilyttää äänen kaksipuoleisuus jakamalla kaiuttimet kahteen ryhmään, oikeaan ja vasempaan, keinotekoisien kaiunnon kanavien vastaten äänentoistojärjestelmän kaiuttimien lukumäärää. Tämä onnistuu äänisignaalin reititinmatriisin avulla. Poikittaiskallistus ohjaa myös harmonisoitujen viiveiden parametreja kuvan 25 mukaisesti. Oikealle kallistamalla suhdeluku kasvaa, vasemmalle kallistamalla lähtöarvo. Muuttujat pienenevät vastakkaisiin suuntiin kallistamalla. Ohjaimen painikkeilla A ja B valitaan kallistuseleen vaikutus viiveisiin ja harmonisointiin: kallistuksen muutoksen määrä lasketaan siitä hetkestä, jolloin painike painetaan pohjaan. Muutos summataan kunkin parametrin alkuperäiseen arvoon, kunnes painike vapautetaan. Tämän menetelmän myötä äänen prosessointitilaa voi vaihtaa yksinkertaisella vääntöliikkeellä.

Pituus- ja poikittaiskallistus eivät ohjaa edellä mainittuja äänen aspekteja suoraan, vaan ne ovat ristikytkettyneenä toisiinsa: pituuskallistus skaalaa poikittaiskallistuksen määrää. Tämä kytkös on välttämätön, sillä ohjaimen tulee yhtä aikaa ohjata sekä takaisinkytkennän määrää yksinään, että oikean ja vasemman kanavan välistä eroa. Kytkös mahdollistaa myös tilanteen, jossa takaisinkytkentää lisätään tai vähennetään ilman oikean ja vasemman kanavan välistä eroavaisuutta. Yhdessä tämä riippuvaisuus mahdollistaa esimerkiksi eleen, missä ääni liikkuu vasemmalta oikealle voimistuen ja vaimentuen.

Kiihtyvyystunnistimella on teoksen *Balance Game* ohjauksessa ainoastaan yksi toiminto. Tietyn arvon ylittävä kiihtyvyys rekisteröidään kolmessa ulottuvuudessa, joista ainoastaan ensimmäinen ylitys rekisteröidään. Tämä laukaisee tapahtumasarjan: lyöntiele satunnaistaa harmonisoitujen

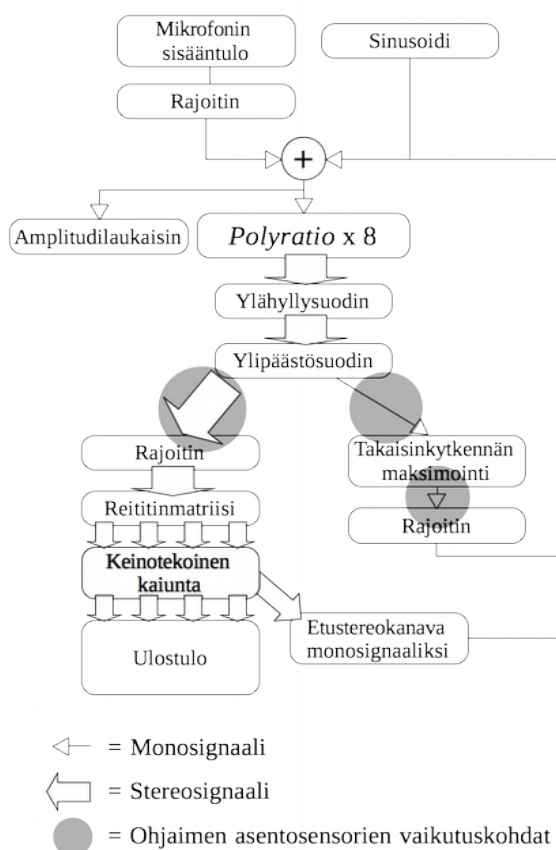
viiveiden parametrit ja liukuman keston, *Polyratio*-aliohjelman kaistanpäästösuotimien taajuuden, q-arvon ja niiden liukumien keston sekä valitsee satunnaisesti keinotekoisen kaiunnan ja sen moduloinnin esiasetukset. Lyöntieleen merkitys itse teoksessa on jokseenkin kahtalainen: toisaalta se tarjoaa kätevän ja näyttävän ratkaisun erinäisiin äänellisiin tilanteisiin ja saattaa yllättää käyttäjän, mutta toisaalta satunnaisuus tekee lyöntieleestä hieman arvaamattoman ja ohjaamisesta kaikkiaan vähemmän hallittavan. Satunnaistamiseksi merkitys on kuitenkin perusteltu, kun ottaa huomioon teoksen ytimen, tasapainottelun; ele haastaa reagoimaan yllätyksellisyyden ja ennustettavuuden väliseen dialogiin.

Peliohjaimen painikkeet ovat tärkeä lisä ohjelman kokonaisvaltaiseen käyttämiseen, sillä kaikkia ohjelman toimintoja ei voi eleellistää, eikä tämä olisi edes mielekäästä soittotilannetta ajatellen. Home-painike sytyttää sinusoidimaisen äänen. A- ja B-painikkeet vaikuttavat viiveisiin ja harmonisointiin kallistuseleen myötä. Painike 1 vaihtaa viiveen suhdeluvuksi 1 ja painike 2 harmonisoinnin suhdeluvuksi -1: näiden tarkoitus on mahdollistaa vertikaalisen ja horisontaalisen symmetrian kytkemisen niin halutessaan. Miinus-painike nostaa *Polyratio*-aliohjelman viivelinjosten sisäisen takaisinkytkennän määrää, jonka seurauksena äänet jäävät toistamaan itseään. Plus-painike kytkee harmonisoitujen viiveiden arvojen väliaikaisen muutoksen pois ja päälle: A- ja B-painikkeen irti päästäminen kallistuseleen jälkeen palauttaa arvon muutoksen lähtöarvoon. Äänen parametrikokoelma eli esiasetukset sisältävät harmonisoitujen viiveiden arvot, keinotekoisen kaiunnan parametrit sekä yhden liukuma-ajan. Esiasetukset tallennetaan tekstitiedostoon ja niitä hallitaan peliohjaimen nuolinäppäimillä. Oikea ja vasen painike vaihtaa esiasetuksen indeksia, alaspäin osoittava painike laukaisee valitun esiasetuksen ja ylöspäin osoittava tallentaa esiasetuksen kyseiseen indeksiin.

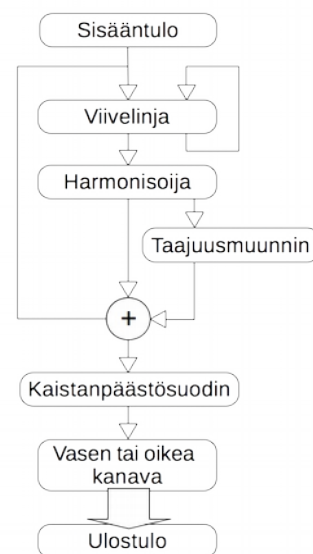
Pelimäinen kontrolli hämärtää tarkoituksellisesti rajaa instrumentin soittamisen ja pelaamisen välillä; siksi teoksen nimessä on peliä tai leikkiä tarkoittava englanninkielinen sana *game*. Käyttäen hyväksi uusinta teknologiaa on mahdollista tuoda musiikin luomisen mahdollisuus jokaisen ulottuville, sillä peliohjain on intuitiivinen ja monipuolinen käyttää. Tämä on mielestäni moderni tapa rakentaa instrumentti, mutta siinä piilee myös haaste: kuinka yhdistää intuitiivisuus monipuolisuuteen? Tämän yhtälön ratkaisee kuvantamistekniikat, joiden avulla on mahdollista edetä yksinkertaisista suorista kytköksistä ohjausparametrien ja äänen parametrien välillä kompleksisempiin kytköksiin. Kuvantamistekniikoista kerron tarkemmin myöhemmin, sillä sen ymmärtäminen vaatii käsityksen koko ohjelman toiminnasta.

Äänentuotto-ohjelman toiminta

Ratio Feedback -ohjelman vastuulla on pääasiassa pitää *Polyratio*-aliohjelmien takaisinkytkennät tasapainossa, mahdollistaa äänen ja ohjausinformaation sisäänmeno, laskea äänenkäsittelyn parametrien arvot ja huolehtia äänen jälkikäsittelystä. *Polyratio*-aliohjelma hoitaa äänen varsinaisen prosessoinnin ja sen instanssien määrä on suoraan verrannollinen saavutettavaan äänen polyfoniaan.¹⁶² Instanssien määrä oli tietokoneen laskunopeuden takia rajoitettava kahdeksaan. Rajoittuneisuus tulee esiin ainoastaan parametrien liukumissa, mutta ei staattisissa tiloissa parametrien ollessa muuttumattomia: muutos vaikuttaa äänen prosessoinnin kuormittavuuteen. Instanssien rajoittaminen liukumien sujuvuuden perusteella on ensisijaista, sillä eleohjauksen instrumentaalinen luonne ei tulisi muuten esille.



Kuva 27: Ratio Feedback -pääohjelman rakenne



Kuva 28: Polyratio-aliohjelman rakenne

Äänen prosessoinnin keskiössä ovat harmonisoidut viivelinjat. *Polyratio*-aliohjelma havainnollistaa niiden suhdetta toisiinsa sekä ympäristöön. Kukin aliohjelma pitää sisällään kaksi takaisinkytkentää, viivelinjan sisäisen sekä hieman laajemman, lokaalin. Näiden eleohjauksesta

¹⁶² Takaisinkytkennän kautta on myös mahdollista kasvattaa äänen polyfoniaa.

kerron myöhemmin. Kullakin aliohjelmalla on yksilöity kaistanpäästösuodin, jonka satunnaiset taajuusarvot voivat vaihdella logaritmisella välillä 50-5000 Hz¹⁶³ ja q-arvot lineaarisella välillä 0-2. Kukin instanssi allokoidaan joko vasempaan tai oikeaan ulostuloon riippuen siitä, onko instanssin indeksi parillinen vai pariton. Menetelmä maksimoi stereokuvan leveyden, mikä on tärkeää eleohjauksen ja äänikuvan vaikuttavuuden synnyttämiseksi.

Äänen harmonisoinnilla tarkoitan tässä yhteydessä¹⁶⁴ tekniikkaa, missä äänen spektriä siirretään taajuusvaruudessa nopealla Fourier'n muunnoksella. Englannin kielellä menetelmästä käytetään ilmaisua *pitch shifting* tai *frequency scaling*. Tekniikassa äänisignaalin spektri voidaan transponoida määritellyn intervallin verran haluamaan suuntaan skaalaimella, joka määrää transponoinnin määrän: kertomalla esimerkiksi kokonaisluvulla 2 siirtyy alkuperäinen äänisignaali oktaavin ylös ja vastaavasti kertomalla murtoluvulla 0,5 siirtyy äänisignaali oktaavin alas. Laadukas harmonisointi säilyttää yläsävelten väliset lukusuhteet, jolloin äänen sointi säilyttää luonteensa transponoinnin jälkeen sopien näin hyvin musikaalisiin tarkoitukseen. Tämän teoksen kohdalla käytän transponoinnin perustana tasavireistä järjestelmää, jolloin transponointiskaalain pitää suhteuttaa tähän järjestelmään, mikä käytännössä tapahtuu kaavalla $2^{n/12}$, eli jakamalla oktaavi 12 yhtäsuureen askeleeseen niin, että se noudattaa ihmisen kuulojärjestelmän logaritmista luonnetta säveltasojen havaitsemisessa.

Viivelinjojen pituutta voi muuttaa dynaamisesti ajassa. Viiveen arvon muutos ajassa saa äänen käyttäytymään *doppler*-ilmiön tavoin: viiveen pienetessä ääni muuttuu korkeammaksi, suurettaessa ääni muuttuu matalammaksi ja nopea muutos aiheuttaa kuultavan transientin, jonka terävyys riippuu niin ikään muutoksen nopeudesta. Näitä ominaisuuksia käytän taiteellisesti hyväkseni. Peräkkäisiä viiveiden arvoja interpoloimalla syntyy mielikuva glissandoista, jotka kukin etenee omaa suuntaviivaansa pitkin muodostaen polyfonisen ja jatkuvan tekstuurin. Muutos tuo myös kuultaviin viivelinjojen syklisen luonteen. Iskuääni, joka muodostuu viivelinjassa olevasta materiaalista ja muutoksen nopeudesta, tuo vuorostaan kaivatun kontrastin hitaasti eteneviin ja paikallaan pysyviin tekstuureihin.

Harmonisoitujen viiveiden jälkeen ääneen voidaan lisätä taajuusmuuntajaa. Erona edellä mainittuun harmonisointiprosessiin taajuusmuuntaja siirtää äänen spektriä halutun hertsimäärän

163 Logaritmit ovat perusteltuja äänen fundamentaalien korostamisen, sekä ihmiskuulon sävelkorkeuden hahmottamisen vuoksi.

164 Tarkasti ilmaistuna käsite harmonisointi viittaa tilanteeseen, jossa muuntamattomaan ääneen lisätään taajuusmuutettua ääntä; konsertin tapauksessa muuntamaton ääni kuuluu akustisesti yleisölle.

verran ylös- tai alaspäin taajuusavaruudessa. Tällä prosessilla on omalaatuinen merkitys prosessointiketjussa: jos *Polyratio*-aliohjelmiin syötetyn signaalin äänenvoimakkuus ylittää tietyn amplitudin tason (kuva 27: amplitudilaukaisin), laukaistaan viisi sekuntia kestävä satunnaiskulkeva sekvenssi, jonka arvot ohjaavat taajuusmuuntajan hertsimäärää. Kasvattamalla takaisinkytkentää, eli suuntaamalla peliohjainta ylöspäin, voimistuu tämä prosessi koko ketjussa. Nämä kaksi menetelmää, amplitudilaukaisin sekä eleohjaus, vaikuttavat taajuusmuuntimen käynnistymiseen sekä sen voimakkuuteen. Prosessilla on toisaalta vaikutus takaisinkytkennässä kiertävän äänen voimakkuuden maksimoimiseen, mutta toisaalta sen vaikutus on taiteellinen: äänen ja eleinformaation intensiteetin kasvun myötä prosessoitu ääni alkaa elää hetkellisesti.

Polyratio-aliohjelman kaikki yksittäiset prosessit itsessään mahdollistavat takaisinkytkentäpiirin äänen voimakkuuden kasvattamisen, mutta olennaisinta ovat ne kertoimet ja tavat, millä eleohjaus on näihin eri prosesseihin ja takaisinkytkentäpisteisiin kytketty. Ristikytkenät ovat tarpeellisia myös erillisten toimintojen välillä. Harmonisoinnin ja taajuusmuuntajan voimakkuudet ovat kääntäen verrannollisia, muttei lineaarisesti. Pituuskallistuksen alue 0-1 – alhaalta ylös – skaalataan harmonisoinnin kohdalla käänteisesti välille 1-0,7. Taajuusmuuntajan kohdalla pituuskallistuksen väli 0-0,5 pysyy arvossa 0 ja väli 0,5-1 skaalataan välille 0-0,3. Näin ääni elävöityy voimistumisen myötä, harmonisoituu hiljenemisen myötä ja prosessien summautuessa äänen voimakkuus pysyy suhteellisen tasaisena. Ohjaimen ollessa neutraalissa asennossa taajuusmuuntaja on siis kuulumattomissa. Aliohjelman sisäisen takaisinkytkennän (kuva 28: vasemmanpuoleinen takaisinkytkentä) määrä kasvaa myös ohjainta ylös osoitettaessa, mutta epälineaarisesti. Sisäisen takaisinkytkennän arvo ohjaimen neutraalissa asennossa on 0,382, mutta arvo kasvaa nopeasti. Arvo rajoitetaan myös välille 0-1.

Aliohjelman sisäinen takaisinkytkentä eliminoituu, kun viivelinjojen sisäinen takaisinkytkentä (kuva 28: oikeanpuoleinen takaisinkytkentä) aktivoidaan peliohjaimen miinus-painikkeella.¹⁶⁵ Tällöin sisäisen takaisinkytkennän arvo ohjaa kääntäen verrannollisesti viivelinjojen sisäisen takaisinkytkennän määrää; ohjainta alas osoitettaessa takaisinkytkennän määrä kasvaa. Miinus-painike nostaa varsinaisen viivelinjan sisäisen takaisinkytkennän arvon varsin lähelle lukemaa yksi, joka toimii tehosteena: ääni jäätyy toisteisena paikalleen, kun ohjain on keskitason alapuolella, mutta ylös nostettaessa ääni palaa normaaliin tilaan.

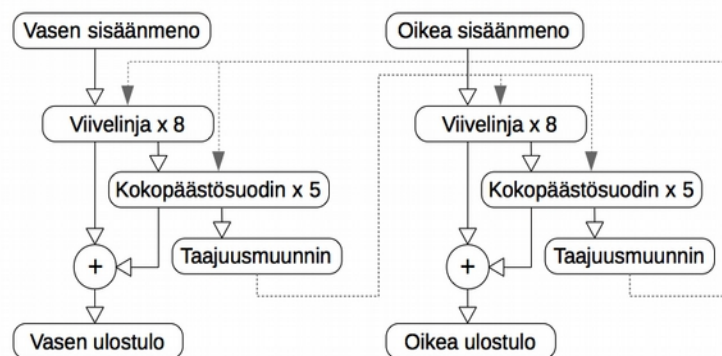
¹⁶⁵ Lähtökohtaisesti viivelinjojen sisäinen takaisinkytkentä on pois päältä, sillä itse aliohjelman sisäinen takaisinkytkentä niputtaa *harmonisoidun viiveen* yhdeksi funktionaaliseksi kokonaisuudeksi.

Tasapainon säätelyyn osallistuu vielä kaksi prosessia, mutta näiden luonne eroaa aikaisemmista siinä, että ne analysoivat äänisignaalia ja muuntavat tämän analyysin ohjausinformaatioksi, jota sovelletaan vuorostaan äänen prosessointiin. Takaisinkytkennän maksimointi (kuva 27) on käytännössä itse rakentamani äänen voimakkuuden rajoitin, joka skaalaa äänisignaalin takaisinkytkentää sisääntulevan signaalin maksimivoimakkuuden analyysin perusteella. Skaalain on sisääntulevaan signaaliin kääntäen verrannollinen, epälineaarinen sekä ajassa keskiarvoistettu, jolloin prosessilla on tasapainottava vaikutus äänen voimakkuuden kasvuun. Ohjausinformaatio vaikuttaa tämän prosessin molemmiin puolin: ensin pituuskallistus muuttaa äänisignaalin amplitudiskaalainta, jota vuorostaan skaalaa signaalin amplitudin epälineaarinen ja käänteinen analyysi, jonka jälkeen poikittaiskallistus vaikuttaa äänen lokalisaatioon. Pituuskallistus skaalautuu huomattavasti yli alkuperäisen alueen välille 0,7-3. Äänen lokalisaatiosta vastaava poikittaiskallistus skaalataan välille 0-8: tämä skaalain toimii koko systeemin takaisinkytkentäohjauksen herkkyysparametrina, joka pätee myös suotimien jälkeen vasemmalle ohjautuvaan stereosignaaliin (kuva 27). Ohjausinformaatio muutetaan äänisignaaliksi, jotta vältyttäisiin muuten kuultavista napsahduksista, sillä ne aiheutuvat ohjausinformaation karkeammasta tarkkuudesta äänisignaaliin verrattuna. Lopuksi käyttämäni ohjelmiston oma äänenrajoitin huolehtii siitä, että takaisinkytketty äänisignaali ei pääse kasvamaan hallitsemattomasti. Olennaisinta on kuitenkin ohjauksen epälineaarisuus sekä herkkyys digitaalisen äänisignaalin amplitudin rajoissa $-1...1$, jonka implementoimani menetelmä mahdollistaa. Skaalainten arvot löysin kokeilun kautta.

Toinen ääntä analysoiva ja ääneen vaikuttava prosessi on kuvan 27 amplitudilaukaisin. Äänen maksimivoimakkuuden analysoinnin tuloksena amplitudilaukaisin lähettää arvon 0,5 ylittäessä käskyn taajuusmuuntajalle käynnistää viiden sekunnin kestävän satunnaiskulkevan sekvenssin. Arvo on säädetty tuohon nimenomaiseen kohtaan, jotta se reagoisi äänenvoimakkuuden kasvuun, muttei enää uudestaan musikaalisesti voimakkaissa kohdissa. Vastaavasti intensiteetin laskiessa laukaisin ei reagoi arvoa alittaessa, mutta on jälleen käytettävissä signaalin mennessä arvon alle.

Välittömästi *Polyratio*-aliohjelmien jälkeen niiden summatut signaalit kulkevat suotimien läpi kuvan 27 mukaisesti. Ylähyllysuotimet vaimentavat äänen kirkkautta noin kuuden desibelin verran 2000 hertsistä alkaen; ylipäästösuotimet leikkaavat loivasti alle 30 hertsin taajuudet. Ylähyllysuotimet toimivat lähinnä äänikuvan miellyttävyyden takia, ylipäästösuotimet taas takaisinkytkennän tehostamisen takia, jotta vältyttäisiin 0-signaalin sekä ihmiskorvan vaikeasti kuultavien alataajuuksien kumuloitumiselta.

Äänikuvan elävöittämisen ja monikanavaisuuden saavuttamisen vuoksi rakensin oman version keinotekoisen kaiunna standardista, Schroeder-Moorer -algoritmista¹⁶⁶. Kahdeksankanavainen kaiunta koostuu neljästä stereofonisesta yksiköstä (kuva 29), jotka kukin jakaantuu toiminnaltaan ja parametreiltaan itsenäisiin kahteen kanavaan: viivelinjojen ja kokopäästösuotimien ketjuun. Viivelinjojen sekä kokopäästösuotimien viiveiden pituudet saavat kukin uniikin satunnaisen arvon esiasetuksen vaihtumisen myötä. Viivelinjojen vahvistukset laskevat lineaarisesti kertoimella 1/8 ja kokopäästösuotimien vahvistusta voi muuttaa. Näiden kahden prosessin voimakkuuksien suhdetta voi niin ikään muuttaa. Tämän lisäksi molemmat kanavat ovat ristikytketty takaisinkytkennän kautta toisiinsa, mikä näkyy harmaina pisteviivoina kuvassa 29. Ennen ristikytkentää kokopäästösuotimien ulostuloa moduloidaan valkoisella kohinalla, jonka parametreina ovat amplitudi sekä näytteenoton taajuus. Nämä ominaisuudet yhdessä mahdollistavat keinotekoisen kaiunna sisäisen takaisinkytkennän kasvattamisen sekä resonanssien minimoimisen diffuusin äänikentän saavuttamiseksi. Kokopäästösuotimien ulostulon modulointi luo myös huomiota herättäviä äänellisiä ilmiöitä sen parametrien ääripäissä. Kaikki edellä mainitut parametrit ovat tallennettavissa esiasetuksiin. Huomionarvoista tässä algoritmista on se, että kukin parametri interpoloi määritellyssä ajassa kosini-funktion mukaisesti seuraavaan arvoon. Tämä on se syy, miksi halusin rakentaa oman version kaiunna-algoritmista; yksilöllistäminen, mikä vaatii algoritmin periaatteihin käsiksi pääsemistä.

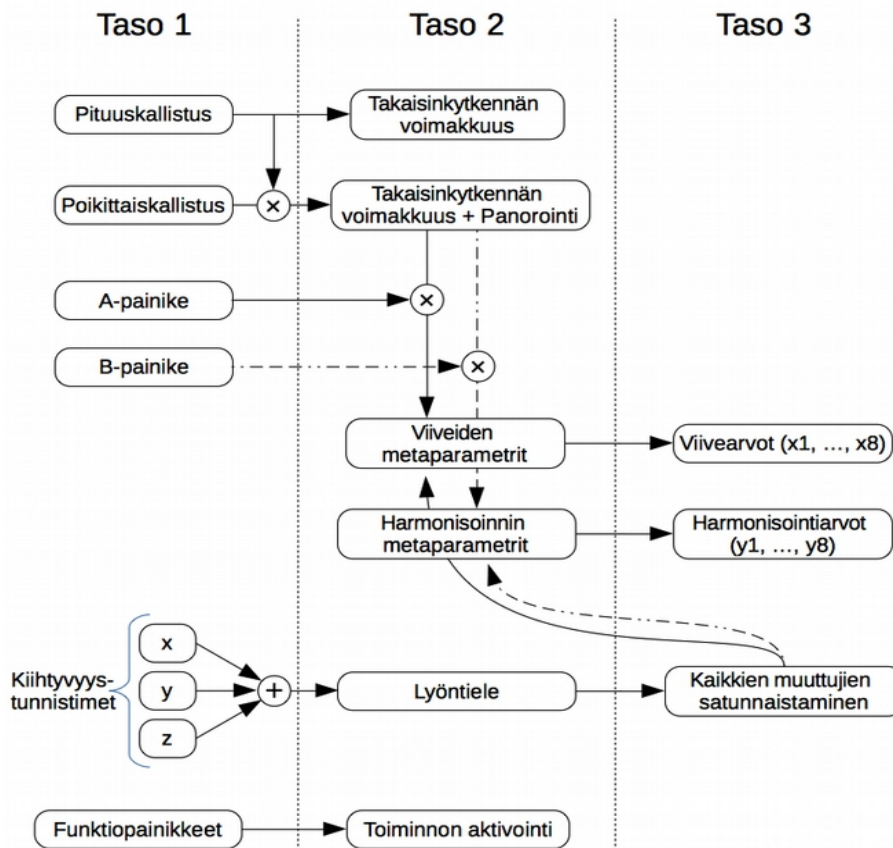


Kuva 29: Keinotekoisesti rakennettujen kaiunna rakenne

166 Roads et al., 479-485.

Kuvantaminen ohjausparametreista äänentuottomekanismiin

Kuvantamisen voi määritellä tavaksi, miten kahden eri joukon elementit suhteutuvat toisiinsa; tämän työn tapauksessa ohjausparametrien suhteena äänen muokkausparametreihin. Ohjauksen ulottuvuudet voivat suhteutua monin tavoin äänen ulottuvuuksiin, minkä mahdollisuudet Hunt ja Wanderley (2002) kiteyttävät oivasti. Valittu kuvantamisen lähestymistapa on vakioida sisään- ja ulostulon suhde eksplisiittisesti ja tehdä siitä mahdollisimman yksinkertainen, jotta ohjaus pysyisi intuitiivisena. Kuva 30 havainnollistaa teoksen *Balance Game* ohjausparametrien ja äänen muokkausparametrien suhdetta.



Kuva 30: Eleohjauksen kolmivaiheinen kuvaus äänen parametreihin

Kuvantamista voi tapahtua useissa eri vaiheissa ja se voi olla luonteeltaan yksinkertaista (*yksiyhteen*) tai kompleksista (*moni-moneen*); kuvantamista voi luokitella edellä mainittujen ominaisuuksien perusteella.¹⁶⁷ Käyttämässäni kolmevaiheisessa kuvantamisessa ohjausinformaatiosta muodostetaan ensin keskitason parametreja, joita kutsutaan abstrakteiksi tai käsitteellisiksi parametreiksi. Näistä edetään toisen kuvantamistason kautta varsinaisiin äänen

¹⁶⁷ Hunt & Wanderley 2002; Hunt et al. 2000.

parametreihin. Esimerkkinä mainittakoon poikittais- ja pituuskallistuksen muodostaman käsitteellisen parametrin (kuva 30: Takaisinkytkennän voimakkuus + Panorointi) sekä A-painikkeen välinen yhteisvaikutus geometrisen sarjan metaparametreihin, joiden avulla lasketaan varsinaiset äänen prosessointiin vaikuttavat viivearvot. Kytkenämäärät voidaan luokitella yksittäisen tai useamman parametrin mahdollisilla kytkennöillä muihin parametreihin. Esimerkiksi tilanteessa *moni-yhteen* kiihtyvyydestunnettimen kaikki ulottuvuudet rekisteröivät tietyn arvon ylittävän kiihtyvyyden, joista ensimmäisenä ylittyvä (tämä on kuvan 30 *Lyöntieleen* määritelmä) lähettää käskyn muuttujien satunnaistamiselle, joista kullakin on omanlaisensa satunnaisavaruus. Tilanne *yksi-moneen* ilmenee esimerkiksi satunnaistamiskäskyn vaikutuksena viiveiden, harmonisoinnin, suotimien sekä kaiunnan parametrien muutokseen. *Yksi-yhteen* -tilanne on selkeimmin havaittavissa ohjaimen muiden painikkeiden vaikutuksena ohjelman yleisempään toimintaan, kuten esiasetusten tallentamiseen ja laukaisemiseen. *Moni-moneen* -tilanne ilmenee poikittais- ja pituuskallistuksen sekä A- ja B-painikkeiden yhteisvaikutuksena geometrisen sarjan metaparametreihin täyttäen näin kompleksisen kuvantamisen määritelmän.

3.3.2. Teoksen *Balance Game* teoreettiset viitekehykset

Musiikinteoreettisesti teos käsittelee geometrisen sarjan muodostamia tila-aikaintervalleja sekä äänenvärejä, jotka muodostuvat geometrisen sarjan ja takaisinkytkentäprosessin kautta. Kummallakin äänen ulottuvuudella on oma sarjansa, joten ne eivät ole integraalisesti kytköksissä toisiinsa. Tilaintervallit määrittelevät transponoitavan intervallin tasavireisessä järjestelmässä, missä yhden kokonaisluvun muutos tarkoittaa puolisävelaskeleen muutosta, mutta myös mikrintervallit ja glissandot ovat mahdollisia äänen prosessoinnissa käytetyn harmonisointitekniikan avulla. Aikaintervallien ero on pienimmillään millisekunnin, mutta suurimmillaan kuusi sekuntia. Äänien toistonopeudet lasketaan sarjan lähtöarvon perusteella ja rytmikudoksen aika-arvojen laajuus sarjan suhdeluvun kautta.

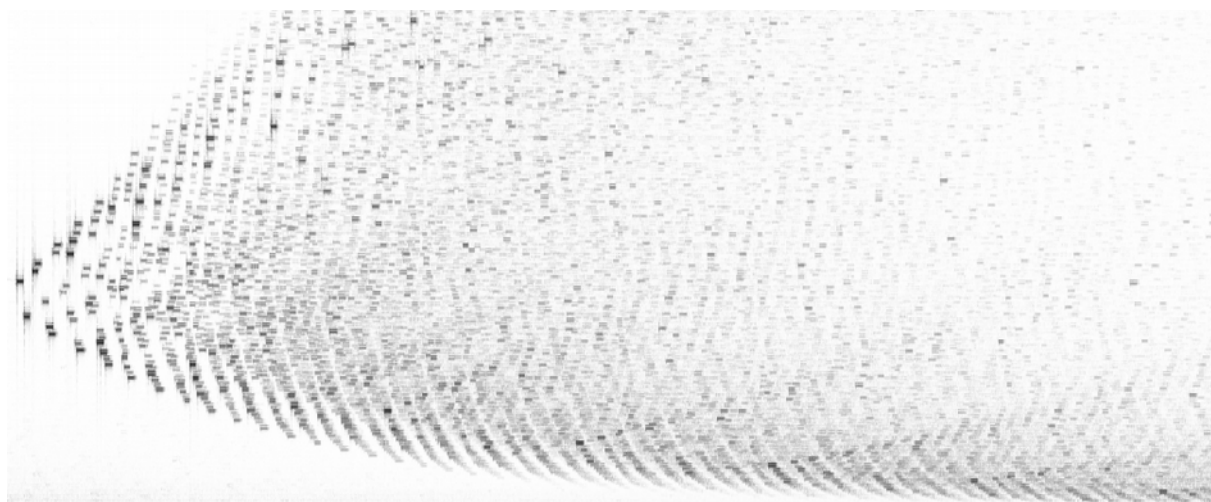
Eroavaisuus teoksien *Piano-noise* ja *A Journey into the Consciousness of* musiikinteoreettisiin abstraktioihin hahmottuu minulle käytetyn sävelikön ja generatiivisten menetelmien kautta. Siinä missä *Piano-noise* käsittelee lineaarisia tila-aikaintervalleja tasavireisessä järjestelmässä ja *A Journey into the Consciousness of* integraalisia tila-aikatransformaatioita yläsäveljärjestelmässä¹⁶⁸, *Balance Game* täydentää edellä mainituissa teoksissa käytetyt

168 Fourier'n muunnoksen – ja vielä yleisemmin harmonisen analyysin – väistämätön ominaisuus.

sävelavaruudet mikrointervalleilla ja glissandoilla, jotka puolestaan ilmentävät varsin hyvin epälineaarisen geometrisen sarjan kuvantamista.

Takaisinkytkennät ovat teoksen keskeisin taiteellinen ja tekninen tutkimuskohde, johon teoksen nimi *Balance Game* viittaa. Takaisinkytkentöjä on lukuisia ja ne ilmenevät useissa eri tasoissa. Menetelmä on tehokas ohjelmointitekninen tapa kasvattaa ja kompleksistaa lähdemateriaalia, sekä mielenkiintoinen metodi musikaalisen materiaalin tuottamiseen ja kontrollointiin. Teoksessa on myös akustinen takaisinkytkentä mikrofonin ja kaiuttimien välillä, mutta tämän merkitys teoksen äänikuvan muodostamisessa ei ole kovinkaan suuri, mutta syytä ottaa huomioon. Teknisten ja fyysisten takaisinkytkentöjen lisäksi teoksessa on kenties kiinnostavampana musiikillisen kognition takaisinkytkentä, jossa instrumentalistin ja äänen muokkaajan improvisointi yhtyvät tietokoneohjelmassa muodostuvan yhteisen äänimassan kautta, joka toimii näin uutena syötteenä kognitiiviselle takaisinkytkennälle ja reaktioiden ketjulle. Takaisinkytkentä ja tasapainottelu teoksen teemana näyttäytyy varsin perusteltuna sen monitasoisuuden ansiosta.

Takaisinkytkennän kautta syntyvät sävelet muodostavat karteesisen tulon itsensä kanssa ja rakenteen haarat laajenevat eksponentiaalisesti joka iteraatiolla. Teoksessa *Doors* voi havaita myös graafisen karteesisen tulon olevan mahdollinen geometrinen analogia musikaalisesta joukko-opista, etenkin *pitch multiplication* -tekniikasta, mutta tämän teoksen abstrakti rakenne poikkeaa siitä olemalla suhteessa itseensä, eikä sen skaalausvektoriin, kuten teoksessa *Doors*. Rakenteen geometria muotoutuu ajassa.



Kuva 31: Sonogrammi yhden sinusoidin käynnistämästä ketjureaktiosta

Systeemiteoreettisesti *Balance Game* tutkii kompleksisuuden, eri takaisinkytkentäsystemien ja jatkumon välisiä suhteita. Äänenprosessointimekanismin kautta iteroituva deterministinen ja invariantti äänirakenne divergoituu puumaisesti yhdestä äänestä epälineaarisen takaisinkytkentävaiheen kautta saturoituu äänikenttään ja lopulta entropiaan. (Kuva 31) Äänikerrannaisten määrä kasvaa jokaisella iteraatiolla huimaa vauhtia. Konvergoitumisen mahdollisuutta on pienennetty äänenprosessointimekanismeilla, jotka estävät yhden taajuuden liiallisen kumuloitumisen. Ohjelman sisäinen suljettu systeemi vuorovaikuttaa avoimen systeemin – soittotilan akustiikan ja soittajien eleiden – kanssa, jotka voivat rikkoa iteroituvan rakenteen jatkumon omalla toiminnallaan. Rikotun rakenteen lokaalia käyttäytymistä on miltei mahdoton ennustaa, joten soittajat muodostavat syntyvälle äänelle oman jatkumon omien kognitiivisten prosessien kautta. Deterministinen rakenne kohtaa valinnanmahdollisuuden. Yhdessä nämä systeemit muodostavat kompleksisen systeemin.¹⁶⁹

Balance Game on sävellysportfolion eleellisin teos, sillä se on konkreettisesti kiinni äänen synnyssä, kehityksessä ja kuolemassa. *Balance Game* on myös sovellukseltaan erilainen konsertin muista teoksista, vaikkakaan se ei poikkea systeemin rakentamisen kannalta muista. Reagoiminen yllättävään ja tuntemattomaan, jonka deterministisen – mutta rikkaan – rakenteen rikkominen tuottaa, on juuri sillä alueella, millä tasapainottelu synnyttää taiteellisen kompleksisuuden kiinnostavimman ja suorastaan esoteerisen osan.

3.4. Konsertista

Huolimatta varsin teoreettisesta ja teknologisesta lähestymistavastani musiikkiin, tarkoitukseni oli tehdä kuitenkin musikaalinen konsertti. Teknologiat muodostavat oman poeettisen virtauksen taiteellisen sisällön oheen ja nämä kaksi näennäisesti erilaista elementtiä vuorovaikuttavat ja täydentävät toisiaan. Suunnittelin teosten järjestyksen ja konsertin muodon aika pitkälle yleisön mielenkiinnon ja keskittymisen manipuloimisen pohjalta; milloin nukahdetaan, milloin yllätytään, milloin hämmennytään tai kiinnostutaan – ja taas nukahdetaan. Konsertti oli pääasiallinen motivaatio koota sävellysportfolio. Tämän kirjallisen työn painoarvo on kuitenkin enemmän itse portfolion ja sen teoriakokonaisuuden tutkimusprosessissa.

169 Johnson 2009.

Sävellysportfolion julkisessa esittämisessä on käytetty monipuolisesti esitystekniikkaa. (Taulukko 2) Monikanavainen äänentoistojärjestelmä on teknologia, jonka kautta voidaan tuoda tilan tuntua teoksiin. Kaiuttimet jakautuvat kahteen ryhmään: kahdeksan kaiuttimen muodostamaan ympyrään sekä sitä täydentäviin lisäkaiuttimiin. Kaiutinympyrä on jaettu niin, että neljä kaiutinta asettuu yleisön molemmin puolin puolipallon muotoon: neljä oikealle ja neljä vasemmalle puolelle. Teoksen *Balance Game* diffusoinnin harjoittelun olemattomuuden vuoksi käytin kaiutinympyrän ohjaamiseen *butterfly*-konfiguraatiota kaiuttimia ohjaaviin mikseriliukuhihin, sillä konfiguraation käyttö on mielestäni hyvin intuitiivista ja soveltuu erinomaisesti improvisointiin.¹⁷⁰ Muut kaiuttimet koostuvat neljästä stereoparista: yksi etäällä edessä ja käännettynä seinää vasten, jotta ääni leviäisi laajemmalle ja kuulostaisi näin vielä etäisemmältä; kapeampi ja leveämpi pikkukaiutinpari yleisön edessä tuomaan määrittelevyyttä ja terävyyttä ääneen; sekä viimeisenä stereoparina salin etuosan kaiutintornit, jotka sijoittuvat etä- ja lähiparien väliin ylös katonrajaan. Nämä 16 kaiutinta antavat yleisölle mielikuvan sekä estradista että ympäröivästä tilasta.

	Doors	Etude 5	Bird Convection	A Journey into the Consciousness of	Piano-noise	Prime Numbers	Balance Game
elektroninen ääni	x	x	x	x		x	x
- stereofoninen	x	x	x			x	
- 8-kanavainen				x			x
- diffusointi			x			x	
eloelektroniikka			x				x
mekaaninen piano		x			x	x	
videokuva	x			x			
instrumentalisti							x

Taulukko 2: Maisterikonsertin teokset eroavat esitystekniikoiltaan ja -tavoiltaan taulukon mukaisesti

Konsertin kolmessa teoksessa soi mekaaninen flyygeli Yamaha Disklavier. Instrumentti toistaa äärimmäisen tarkasti yksityiskohdat, joita tarvitaan teoksien *Prime Numbers* ja *Etude 5* esittämisessä. Teokset ovat elektronisen nauhan ja pianon unisono, ja jokaisen nuotin alku, pituus ja voimakkuus ovat tarkoin määriteltäviä. *Piano-noise* hyödyntää mekaanisen pianon rytmisiä ja polyfonisia mahdollisuuksia vielä laajemmin.

170 Symmetrisen kahdeksankanavaisen äänentoistojärjestelmän takakaiuttimet osuvat mikseriliu'uille lineaarisesti järjestettyjen kahdeksan sormen mukaisesti niin, että takakaiuttimia ohjaa pikkurillit (mikserin kanavat 1 ja 8), nimettömät ohjaavat taaimmaita sivukaiuttimia (kanavat 2 ja 7), keskisormet ohjaavat etummaisista sivukaiuttimia (kanavat 3 ja 6) – ja loppuviimein etusormet ohjaavat etummaista stereoparia, eli mikserin kanavia 4 ja 5.

Videoprojektori heijastaa kahden audiovisuaalisen teoksen kuvan konserttisalin etuseinällä olevalle valkokankaalle. Visuaalisuus on tärkeä osa teoksia, sillä niissä ääni ja kuva ovat tiukasti kytkeytyneinä toisiinsa. Teosten lisäksi sain idean jaksottaa konsertin osiot äänettömillä välanimaatiolla. Tämä heijastaa kuvan ja äänen aistinvaraista eroavaisuutta sekä jaksottaa konsertin osioita.

Konsertti jakautuu neljään osioon välanimaatioiden avulla. Konsertti alkaa myös animaatiolla: yhdestä pisteestä kasvaa kuution muotoon asettuneiden pallojen kokoelma. Temaattisesti välanimaation kolmiulotteinen rakenne luo käsityksen loogisesta ja järjestäytyneestä rakenteesta, jonka yksiköt symboloivat kunkin konsertin osion yhtä mahdollisuutta kaikkien niiden teorioiden yhdistelmistä, joita olen tutkinut. Tämä on viittaus abstraktin maailman ristikytkentöjen lukuisiin mahdollisuuksiin. Rakennetta ei tule ottaa kirjaimellisesti, vaan sillä on ainoastaan symbolinen merkitys. Ennen konsertin viimeistä teosta *Balance Game* esitetään animaation viimeinen osa, jossa rakenteesta peräännyttään sen jäädessä kaukaisuuteen.

Ennen kuin olin tehnyt päätöksen järjestää konsertti, kokonaan valmiit teokset olivat *Prime Numbers*, *Etude 5* ja *Doors*. Päätöksen jälkeen hienoista jatkotyöstämistä vaati viimeaikaisen sävellysmetodiikan, eli ääniveistämisen, jälkijunassa syntynyt *Bird Convection*. Viimeistelin myös jo pidemmän aikaa kehkeytyneen teoksen *Balance Game* vuorovaikutuksessa huilisti Jenny Metsälän kanssa, mikä oli varsin hyödyllinen prosessi. Konserttia varten erityisesti sävelletyt teokset ovat konsertin toisen osion teokset *A Journey into the Consciousness of* ja *Piano-noise*. Lopuksi hahmonsin konserttiosioiden välanimaatiot ja sekvenssoin ne sekä teokset samaan Pro Tools -tiedostoon, joka toistaa teokset, monikanavaisine äänineen ja videokuvineen, konserttitilanteessa.



Kuva 32: Maisterikonsertin ohjelmalehtinen

Konsertin avaa audiovisuaalinen ja maltillinen *Doors*. Akusmaattiseen traditioon viitaten sen nimi ja kuvasto viittaa oviin, mutta sen ääni ei – ainakaan suoraan. Suunnittelin teoksen lopullisen ilmeen vasta, kun konserttikokonaisuus alkoi olla jo valmis. Teoksen videokuva heijastetaan etäälle konserttisalin etuseinämään; päätin sijoittaa tässä teoksessa äänen ainoastaan kaukasiin etukaiuttimiin korostamaan äänen jo valmiiksi tilaisaa mielikuvaa. Etäisyyden tunnun lisäksi teoksen matalat taajuudet korostuvat, mikä suurentaa aistitun tilan kokoa entisestään. Konsertin aloittavana teoksena se esiintyy etäisenä ja hyvin kaksiulotteisena.

Etude 5 jatkaa vaivihkaa siitä, mihin edellinen jäi. Matalan ja voimistuvan sinusoidin myötä toin teoksen äänen jo huomattavan lähelle yleisöä lähimpiin etukaiutinpareihin. Teoksessa esittelen myös uuden elementin, mekaanisen pianon. Elektroninen ääni sitoo pianon äänet syntetisoidun äänen jatkumoon soittamalla unisonossa yhdessä pianon kanssa. Teos on lyhyt, täsmällinen ja johdattelee kirkkailla äänillään ja eleillään ensimmäisen osan viimeiseen teokseen.

Bird Convection on ensimmäinen pitkä teos. Se avaa vihdoin koko konsertin tilan käyttäen hyödykseen koko äänentoistojärjestelmän ulottuvuutta. Teos alkaa aggressiivisilla ja tiheillä

tekstuureilla ja nopeilla tilaliikkeillä. Yleisö kuulee koko teoksen heti alkuun jo useaan kertaan sävellysvaiheessa tehdyn ajallisen prosessoinnin myötä: tarkoituksenmukaista on viestiä hämmennystä sekä tuoda kontrastia muuten rauhalliseen konsertin ensimmäisen osaan. Teoksen alku on tarkoituksella pitkäkö, jotta yleisön muisti ikään kuin pyyhkiytyisi tyhjäksi, tai satunnaistuisi, ja olisi näin vastaanottavaisempi jatkon hienovaraiselle polyfonialle. Diffusointi saa äänet sekä esittäjän elämään: olen yrittänyt tehdä teoksesta mahdollisimman hauskan esittää. Teoksen monet äänitekstuurit ja vaiheet antavat mielestäni riittävästi ideoita sen diffusointiin, joten sen kummempaa suunnitelmaa diffusoinnista en nähnyt tarpeelliseksi tehdä.

A Journey into the Consciousness of jatkaa konsertin ensimmäisestä osiosta harvennetun äänispektrin selkeiden sinusoidien kautta asteittain kohti tämän teoksen äänen täyttä spektriä – ja konsertin toiseen osaan. Teoksen tunnelma on luonteeltaan rauhallinen ja staattinen: nämä ovat juuri niitä ominaisuuksia, joita halusin viestiä yleisölle heti ensimmäisen pitkän ja massiivisen teoksen *Bird Convection* jälkeen. Audiovisuaalisena teoksena tämä luo kontrastin edelliseen, jonka aistiympäristö on puhtaan äänellinen. Teokset ovat kuitenkin molemmat immerssiivisiä sekä akusmaattiseen traditioon viittaavia.

Piano-noise alkaa samankaltaisilla toisteisilla äänikerroksilla, kuten alkoi myös *A Journey into the Consciousness of* selkeine sinusoideineen, mutta rytmisen täsmällisesti ja pianon äänen kautta. Teos käyttää Yamaha Disklavierin koko dynamiikkaa ja kapasiteettia, sekä minua aina miellyttäneitä symmetrisiä intervallipinoja. Teos viittaa osin pelimusiikin teknologian kehitykseen, mutta jättää visuaalisen informaation pois, jolloin huomio kiinnittyy pelkästään kuulokuvaan. Teos on luonteeltaan hyvin metrinen, teknomusiikkimainen ja sen tarkoitus onkin manipuloida yleisön energiatasoa edellisen hitaan ja staattisen teoksen jälkeen. *Piano-noise* syntyi heti teoksen *A Journey into the Consciousness of* jälkeen kuvamatriisien ohjelmoinnin vanavedessä portfolion viimeisimpänä teoksena. Teokset muodostavat yhdessä konsertin toisen osan, joka sijoittuu ajallisesti konsertin puoliväliin. Konsertin kokonaisuutta ajatellen sijainti on kriittinen, sillä se luo sillan tutustumis- ja päätösjaksojen välillä. Tästä syystä jätin sen muotoilemisen viimeiseksi.

Prime Numbers aloittaa konsertin loppuosuuden. Teos on konsertin taitekohdassa, jolloin yleisö saattaa jo tiedostaa konsertin kääntyneen kohti loppua, mikä antaakin teokselle erityistä painoarvoa. Olin jo etukäteen suunnitellut jättäväni tämän teoksen heti konsertin puolivälin jälkeen; isoa muotoa ajatellen kultaisen leikkauksen kohdille. Teos vaatii keskittyneisyyttä ja

tästä syystä sitä edelsikin tiivis ja äänekäs *Piano-noise*. Tässä teoksessa mekaaninen piano ja elektroninen ääni soi jälleen unisonossa viitaten näin konsertin alkuun, teokseen *Etude 5*. Liikuttelin elektronista ääntä yleisön edessä ja sivuilla elävästi musikaalisia fraaseja mukaillen. Teos vaatii keskittymistä, sillä se on hyvin herkkä, hiljainen ja ajassa 'varovaisesti' etenevä.

Omassa osiossaan on myös muista poikkeava *Balance Game*, jonka sijoitin konsertin viimeiseksi teokseksi. Esitin sen reaaliaikaisesti yhdessä huilisti Jenny Metsälän kanssa hänen toimiessa solistina ja itse ohjaten imaginääristä digitaalista orkesteria peliohjaimen avulla. Esityksemme oli lähinnä improvisaatiota reaaliaikaisesti vuorovaikuttaen, mutta esityksen muoto oli etukäteen suunniteltu. Suunnitelma toteutettiin sopiviksi nähtyjen kuuden esiasetuksen perusteella, jotka valitsin peliohjain Wii Remoten kautta. Suunnitelma toi esitykseen rakennetta ja varmisti sen, että ohjelman pääasialliset äänitilat tulivat esiteltyä. Käytin esityksessä kahta tietokonetta: toinen vastaanotti peliohjaimen lähettämää informaatiota, käänsi sen OSC-rajapinnan kautta MIDI-infomaatioksi ja ohjasi sen päätietokoneelle, joka vastasi varsinaisen ääniohjelman suorittamisesta. Huilistin tuottamat äänet kulkivat mikrofonin kautta tietokoneohjelmaan, jossa ne muokattiin kahdeksankanavaiseksi äänimassaksi yleisön ympärille. Teos jäi viimeiseksi konsertissa lähinnä siksi, että tietokoneohjelman vaihtaminen kesken konsertin olisi rikkonut sen tarkkaan harkitun ajallisen etenemisen. Toinen syy on taiteellinen: halusin jättää yleisölle myös jotakin uutta mitä odottaa minulta esiintyvänä artistina. Tällä tavalla *Balance Game* toimii viittauksena myös siitä, mihin suuntaan olen tutkimuksissani etenemässä.

Konserttitaltiointi antaa kokonaiskuvan sävellysportfoliosta, mutta on valitettavasti – ei pelkästään huonolaatuisuudellaan, vaan myös äänikuvan stereofonisuudella – kapea kuvaus sävellysportfolion elämyksellisistä mahdollisuuksista. Yleisön ympärillä olevan kaiutinorkesterin, akustisen flyygelin sekä ison videokankaan tuoma monitasoisuus sekä teoksien yksityiskohtien määrittelevyys ei voi mitenkään toistua tarkoituksenmukaisesti pelkkien stereoäänen ja tietokonekameran välityksellä. Taltiointi on vain viitteellinen kuva konsertista, jolla on lähinnä dokumentaristinen merkitys.

4 . P Ä Ä T E L M Ä T

Tämän taiteellis-teknisen työn luonne on hermeneuttinen, teknisesti ilmaistuna iteratiivinen, ja sen vuorovaikutuksellinen luonne on yhtä vaikeasti määriteltävissä, kuin systemaattisesti määriteltyjen kaoottisten sekä kompleksisten systeemien käyttäytyminen on. Tässä työssä nämä tekniset seikat sekoittuvat tarkoituksella ilmaisullisiin olioihin, mikä viestii yhtä lailla kiinnostuksen kohteistani kuin oman työni synteettisestä luonteesta. Työmenetelmät, tutkimuskohteet sekä käytetyt laskentatekniikat voidaan kaikki nähdä saman asian eri ilmiänsuuna.

Musiikinteorian kehittymiseen vaikuttaa kunkin aikakauden teknologia ja sen hyödyntämisen tavat. Jaetut rationaaliset tavoitteet ja toisaalta kollektiivinen alitajunta vaikuttavat sen hetkiseen suuntaan, mihin taide kehittyy. Taide kun voi pitää sisällään kaiken kuvitellun ja kuvittelemattoman; kaikenlaisten kombinaatioiden mahdollisuuden.

Generatiivinen taide on havainnollisesti – aistielimien kautta ymmärrettynä – kompleksista. Kuulo- ja näköaistit toimivat hieman eri tavalla. Hahmopsykologisten Gestalt-periaatteiden kautta on mahdollista kuroa umpeen tilan ja ajan hahmottamisen eroja sekä kehittää uusia lähestymistapoja.

"At the turn of the twentieth century, the cognition of art was investigated by the German Philosopher/Psychologist, Christian von Ehrenfels. - - - Ehrenfels recognised that Gestalten involving spatial shape could be analogous to Gestalten involving objects that have a complexity that is extended in time."¹⁷¹

Ariza kuvaa toisenlaisen hahmottamisen tavan, jonka kaksi perusmallia, *top-down* ja *bottom-up* kuvaavat tiedon organisointitapoja: "The concept of micro and macro structures closely relates to what Eduardo Reck Miranda (2000) calls bottom-up and top-down organizations, where bottom-up composition begins with micro structures, and top-down composition begins with macro structures."¹⁷² Sanotaan, että toinen lähtee yksityiskohtien perusteella kohti isompaa tai yleisempää yksikköä, ja toinen rakentaa yhdestä perusprinsiipistä yksityiskohdat. Mitä näillä

171 Lyons, 206-207.

172 Ariza 2005.

oikeastaan tarkoitetaan? Onko näillä jotakin vastaavuutta logiikan käsitteiden, induktion ja deduktion, kanssa? Miten käsittää mallin ääripäät, yksityiskohdat tai laaja muoto? Onko laaja muoto se yksi yksikkö, josta lähdetään liikkeelle purkamaan tai rakentamaan, vai onko nuotti se kokonaisuus, jonka purkamisen (kuten spektrimusiikissa) tai rakentamisen (kuten sarjallisuudessa) kautta organisointi tapahtuu? Yksikön kun voi määritellä missä tahansa kertaluokassa, kuten voi määritellä myös purkamisen ja rakentamisen suunnan. Miten tieto *aposteriori* suhteutuu hahmottamisen eri malleihin? Ilmiötä voidaan tarkastella ulottuvuusmuunnoksien kautta, minkä Lyons nivoo hahmopsykologiaan:

"- - - perception initially presents a unified whole or Gestalt which then reveals layers of elements in structured relationships. This approach to knowledge is based on the ideas of Phenomenology, and with its various derivative schools of thought, Phenomenology constitutes a highly effective philosophy to employ in the creation of Gesamtkunstwerke. It provides the only tool with which to solve the problem of dimensional translation intrinsic to the successful realisation of the Gesamtkunstwerk. The Gestalt tradition in particular suggests various means by which to create strong associations between aural and visual phenomena in order to create profound illusions of unity."¹⁷³

Jos ei aivan synestesia, niin aistiristeymä ja aistien välinen analogia on tullut laajempaan tietoisuuteen teknologian kehittyessä.¹⁷⁴ Siinä missä yläsävelsarjan lukusuhteista voidaan muodostaa temporaalinen analogia, voidaan myös kuvalle muodostaa äänellinen vastine. Aika ja tila sekä kuva ja ääni ovat aistimuksellisesti eriäviä fysikaalisia tosiasioita. Invarianssin löytäminen näiden kahden todellisuuden luonteen välillä näyttää olevan itselleni luontainen tapa hahmottaa asioiden välisiä suhteita ja yhtäläisyyksiä: tässä kirjallisessa raportissa *kuva*-kantaisia sanoja esiintyy asian kuin asian yhteydessä. Myös useimpiin teoksiin vaikuttaneiden teorioiden ja teemojen takana on suoria visuaalisia vaikutteita ja lopputulemia: generatiivisten teosten *moiré*-kuviot, kuvaus lintumetsästä teoksessa *Bird Convection*, äänispektrin ja kuvamanipulaation visuaalinen yhteys, sarjallisten rivioperaatioiden visuaalinen vastine *frieze*-kuvioissa, pianon klaviatuurin mittaiset säteiden muodostamat geometriset kuviot sekä viimeisenä eleellisyyden tuominen yleisön nähtävälle kompleksisen äänien tuottamisen ja äänien reaaliaikaisen

173 Lyons, 207.

174 Joseph Schillinger on laatinut taiteen aistimuksellisesta luonteesta, yleisemmin taiteesta teoretisoidessaan, systemaattisen matriisin kaikkien ihmisaistien välisten mahdollisten ristikytkeiden pohjalta; Schillinger 1976.

augmentoinnin ohjaamisen kautta.

Musiikki tarjoaa mahdollisuuden kokea ja tuntea matemaattisia asioita. Musiikki on matemaattisten olioiden aikasidonnainen muoto ja visuaalinen taideteos taas sen tilasidonnainen. Vaikkakin kuvataideteoksen kokeminen muodostuu ajassa tarkkailemisesta, on se olemassa ajasta riippumatta. Kiinnostava yhdistelmä näistä on liikkuva kuva, joka on yhtä aikaa tilaa ja aikaa.¹⁷⁵ Myös laskenta tapahtuu sekä tilassa että ajassa. Laskutehon kasvamisen myötä laskennallinen objekti voi näyttää tapahtuvan ajasta riippumatta, mutta vastaan tulevat ihmisen aistielinten rajat, jotka saavat toisiaan lähellä olevat objektit näyttäytymään kokemuksellisesti yhtäaikaisina.

Informaatioteorian kehittyminen vuorovaikuttaa eittämättä myös kovien tieteiden kehityksen kanssa. Käytännössä vuorovaikutus on hypoteettisten mallien testausta laskennallisesti – tulosten kautta oppimista ja postuloimista. Missä määrin laskennan tuottamat ratkaisut ovat sitten sovellettavissa suoraan fysikaalisiin malleihin? Onko todellisuus digitaalinen, analoginen vai hybridi? Miten matematiikka, klassinen ja moderni fysiikka sekä informaatioteoria suhteutuvat toisiinsa? Onko fysiikka silkkaa laskentaa? Asiaa pohti perustavanlaatuisesti Konrad Zuse kirjassaan *Rechnender Raum*, joka on käännetty englanniksi *Calculating Space*. Hän esittää systemaattisia pohdintoja laskennan luonteesta ja esimerkiksi deterministisen soluautomaatin soveltamista fysiikan sääntöihin. Kirjassa myös taulukoidaan osuvasti klassisen fysiikan, kvanttifysiikan ja laskennan 'tilojen' ominaisuudet, joita vertailemalla voi saada käsityksen, missä kulkevat relaatioiden rajat, sekä kuinka mielekäästä on dedusoida uutta tietoa suoraan laskennallisista malleista. Selvitys on tarpeen laskennallisen taiteen perusteiksi kaikille niille, jotka ovat kiinnostuneita tieteen, taiteen ja kosmoksen varsin likeisestä suhteesta.¹⁷⁶

4.1. Teoksien analyysiä ja luonnehdintaa

"... if a process is used to generate material for musical compositions and we want the material to possess some unique and astonishing properties, then we cannot design it in detail ourselves because that way we would introduce our own

175 Tähän jaotteluun en lue kuuluvaksi yhden aistin kautta tapahtuvaa tila-ajan hahmotusta, esimerkiksi tilaääntä.

176 Zuse 1969.

predilections.”¹⁷⁷

Sävellyksen muodostaman teoreettisen viitekehyksen ajattelen kokonaisuutena, jolle on ominaista tuottaa juuri tietynlaisia säännönmukaisuuksia ja kuvioita, tekstuureja. Äärellisestä joukosta voidaan muodostaa mahdollisesti ääretön määrä yhdistelmiä, jotka muodostavat laadullisesti uusia kuvioita, joita voi niin ikään yhdistellä... Prosessia voi jatkaa *ad infinitum*. Säveltämistäni kuvaa hyvin ajatus tekstuurien tilastollisesta jakautumisesta kunkin sävellyksen osalta, sillä eri tekstuureita monipuolisesti yhdistelemällä on mahdollista rakentaa varsin laajasti erilaisia spektromorfologisia objekteja, tiloja ja liikkumia sisältävä algoritmi. Kunhan algoritmin käyttäytyminen kattaa mahdollisimman laajan skaalan erilaisia mahdollisuuksia ja äärimmäisiä parametrien arvoja ja yhdistelmiä, niin on melkein pä yksi ja sama mitä ja kuinka paljon generoi, sillä jakauma on jo määrätty etukäteen, käyttää generaatiota sitten itsenään teoksena tai materiaalina sävellystyöhön. Se, että en ole formuloinut parametreja tilastollisiksi tarkoittaa, etten ole halunnut käyttää tilastollisia menetelmiä.

Tuttuus ja uutuus on käsitepari, jonka sisään kukin taiteen teos asettuu historiallisessa ja kulttuurisessa kontekstissa. Tämän laadun yleisö antaa teoksille. Sävellystä ajatellen tuttuus ja uutuus – sävelkielen yhtenäisyys ja variaatio – pätee myös peräkkäisiin musikaalisiin objekteihin. Yksi mahdollinen tekniikka korreloida mennyt ja tuleva, sekä musikaalisen rakenteen eri tasot, on takaisinkytkentä. Se, kuinka käyttökelpoinen ja laajasti soveltuva tämä tekniikka on, riippuu tarkastelijasta:

”... we must have a way to correlate past and future choices to the present before random choice techniques are of use in those musical styles that manipulate listener expectation.”¹⁷⁸

Taiteellis-tekniseen työskentelyyni kuuluu 'taiteellisten' algoritmien kehittäminen. ”Problems with electroacoustic music, computer music, computer-aided composition and so on, are the very problem of contemporary creativity. By suppressing the construction stages of sonic or musical objects and ascribing to software designers the assurance of musical acceptance, composers are receiving the key to enter a specific community and are risking their creative spirit.”¹⁷⁹ On

177 Holopainen, 362.

178 Loy, 343.

179 Ferraz & Aldrovandi 2000.

olennaista päästä käsiksi algoritmien periaatteisiin, jotta voi luoda omaleimaisen 'algoritmisen' sävelkielen. Tämä vaatii perehtyneisyyttä ja teknistä otetta, mutta laajentaa äänellisiä ja kuvallisia mahdollisuuksia. Teoskokonaisuuden kiinnostavuuden vuoksi on syytä rakentaa useita erilaisia, toisiaan täydentäviä algoritmeja, sillä yhden algoritmin tuottamat tulokset ovat usein varsin suppeita. Eri asia on tietenkin se, kun halutaan nimenomaan kuulla esimerkiksi sarja inventioita tai etydejä. Saman työkalun tai algoritmin käyttöä voisi luonnehtia tämän analogian avulla. Teoksien kirjon ja mahdollisten käyttäytymisten laajuuden määrittää ne vapausasteet, jotka sen algoritmiin sisältyy.

Musikaalisten algoritmien rajat ovat välttämättömät määritellä. Parametriavaruuksien säätäminen aistihavaintojen perusteella on työlästä, ja taipumus aistia toistuvuuksia ja kuvioita satunnaisuudessa voi tehdä prosessista vielä hankalampaa. Algoritmien iteratiiviseen työstämiseen kuuluva aistimusten, eli tulosten, kautta kehittäminen mahdollistaa jokaisen vaiheen kuulemisen ja näkemisen, joka puolestaan saattaa hämärtää alkuperäistä ajatusta ja sysätä kehitystä eri suuntaan. Tällä on tietenkin hyödyllisiä ominaisuuksia luovuuden kannalta, mutta kehittämisen systematiikka saattaa kärsiä menetelmästä. Myös työkalujen ei-optimaalinen valinta ja käyttö hankaloittaa ideoiden toteutusta. Teknologinen taide saattaa näyttäytyä loppuviimein työkalujen ominaisuuksien ja rajojen testaamisena:

"While engineers strive to maintain the illusion of transparency in the design and refinement of media technologies, artists explore the meaning of the interface itself, using the various transformations of the media as their palette."¹⁸⁰

Olenkin havainnut vasta jälkeenpäin, kuinka paljon yksityiskohtia teoksien algoritmeissa on loppuviimein niiden abstraktin perusrakenteen ohella. Nämä ovat ehkä vielä merkittävämmässä osassa taiteellisen lopputuloksen kannalta; luonnonjärjestyksestä rikotaan satunnaisilla elementeillä. Esimerkiksi teoksien *Prime Numbers* ja *Etude 5* taustalla on kuultavissa elektronisen nauhan harmonisoijaa, jolla ei ole minkäänlaista vaikutusta itse generatiivisen algoritmin käyttäytymiseen, mutta sitäkin enemmän lopputuloksen taiteelliseen vaikutelmaan. Myös muissa teoksissa on lukuisia yksityiskohtia: *Piano-noise* sai editoinnin kautta nuottien voimakkuuksien vaihtelua sekä aivan loppumetreille rytmistä tihentymää; *Bird Convection* altistui satunnaisuudelle ja mielivaltaisuuksille ääniveistämässä; teoksien *Doors* ja *A Journey into the Consciousness of* säveltämisessä on havaittavissa niin ikään ajassa aistittavaa

180 Rokeby, 133.

esiasetuksien valitsemista, mikä on altis säveltäjän mentaalisten tilojen flukтуаatiolle; *Balance Gamen* esittäminen on suurelta osin improvisoitua... Yksityiskohtien sijoittaminen suurten rakenteiden sisään on helpompaa manuaalisesti kuin algoritmisesti. Poikkeuksena tästä ovat tietenkin itsesamanlaiset rakenteet.

4.1.1. Teosvertailua

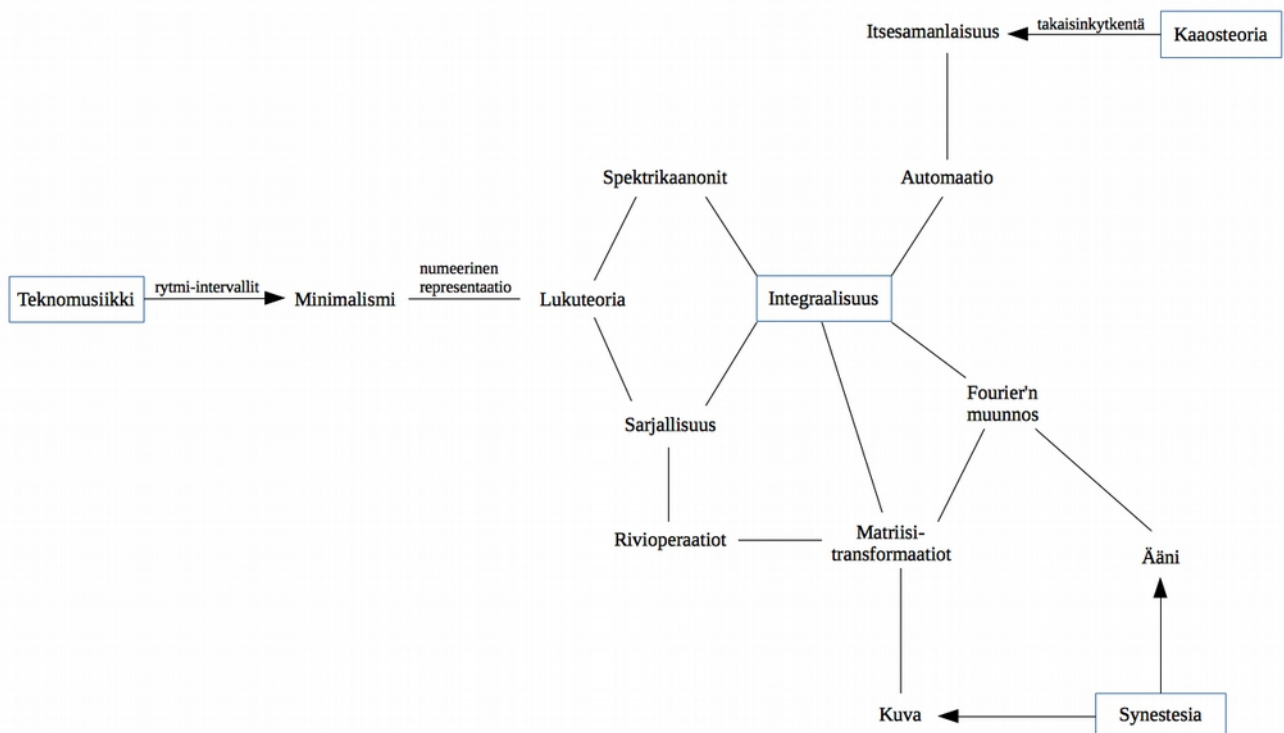
Teospari *Doors* ja *A Journey into the Consciousness of* edustaa kahta ristikkäistä puolta akusmaattisen musiikin perinteestä. Hyvin yleinen akusmaattisen musiikin teema, ovi, on tuotu nähtäväksi teoksessa *Doors*, mikä on ristiriidassa akusmatiikan periaatteen – piilottaa äänilähde – kanssa, mutta toisaalta kuultava ääni on elektroninen synteesi abstraktisesti muodostetusta digitaalisesta kuvaprosessoinnista, joka sattuu näyttämään ovelta. Asetelma on käännetty pääläelleen. Vastaavasti jälkimmäinen teos tästä parista ottaa lähtökohdaksi akusmaattisessa perinteessä yleisesti käytetyn tosimaailman äänen, tässä tapauksessa intialaisen *sitar*-instrumentin, jota muokataan sarjallisuudesta tutuilla abstrakteilla geometrisillä prosesseilla, mutta nuottiavaruuteen soveltamisen sijaan sitä sovelletaankin taajuusavaruuteen, ja vielä niin, että sen kaksiulotteisuus on merkityksetön seikka prosessoinnin kannalta: rakenne on isometrinen tila-ajassa; sarjallisuudessa kun tavataan noudattaa orjallisesti rivin horisontaalista järjestyneisyyttä.

Toinen vertailupari on *Piano-noise* ja *Balance Game*. Molemmat reaaliajassa laskettuna sekä molemmat symmetrisiä intervallipinoja ja musikaalista joukko-oppia käyttävinä ovat pohjimmiltaan kuitenkin varsin erilaisia. *Piano-noisen* kankea tekstipohjainen ja ennaltasuunniteltu, mutta silti reaaliaikainen toteutus sopii varsin oivasti pianon mekanistisuuteen ja sen tasapäiseen sävelavaruuteen, kun taas *Balance Game*, huilulle ja peliohjaimelle reaaliaikaisesti improvisoituna, tutkii tasapäisen sävelavaruuden sijaan saman ilmiön geometrista, epälineaarista rakennetta. Predestinoitu pseudosatunnaisuus vastaan improvisoitu kompleksisuus; mediaattorina toimii tasavälisesti rakennettu tila – tosin ensimmäisessä tilan yksiköiden väliset etäisyydet ovat vakio siinä missä jälkimmäisen tilan etäisyyden muutos on vakio: euklidinen avaruus kohtaa ei-euklidisen avaruuden.

Prime Numbers ja *Bird Convection* on sävellysportfolion kolmas vertailupari. Saman abstraktin ajatuksen perustalta rakennettu algoritmi on niin ikään syntynyt sarjallisuuden ja spektralismien

yhdistämiseksi, mutta teosten muotoutumisprosessi erottaa ne toisistaan: *Prime Numbers* rakentuu algoritmisesti generaatioautomaatin kautta indeterministisen kaottisesti, siinä missä *Bird Convection* rakentuu määrätietoisesti editointipöydällä – prosessi joka on jatkuvaa adaptaatiota satunnaisesti ladottujen äänitilanteiden sommittelemiseksi. Tämän perusteella kuuliija voi tehdä päätöksen, kumpi säveltää miellyttävämpää musiikkia kaottisen adaptaation kautta, tietokone vai ihminen.

Tämä luokittelu vertailupareihin eroaa konsertin järjestyksestä ja tämän kirjallisen osuuden jaottelusta teoreettisiin ja teknologisiin piirteisiin. Edellä mainitsemani vertailu osoittaa kuitenkin teknologioiden, teorioiden ja käytäntöjen mahdollisen taipumisen varsin monitahoisiin, jopa abstrakteihin, ristikykentöihin. Tästä voidaan huomata, kuinka sarjallisuutta ja spektraalisuutta voi löytää hyvin erilaisista asioista. Siksi ei ole tarpeen jättäytyä puristisiin mielikuviin siitä, mitä nämä ovat.



Kuva 33: Abstraktien sävellysideoiden lähtökohdat ja kehitys

Sävellysideat kehittyivät lähtökohdistaan osin inspiraation, osin tutkimisen tuloksena. (Kuva 33) Teknomusiikki ja minimalismi johdattivat rytmi-intervalleihin. Tämä taas johti numeeriseen representaatioon, josta etenin lukuteorian ja -sarjojen kautta spektrikaanoneihin ja lopulta integraalisuuteen. Minimalismille tyypilliset sykliset matriisit ja lukuteoria johtivat myös

sarjallisuuteen ja sen rivioperaatioihin, joita sovelsin laajemmin algoritmiseen ajatteluun. Kaaosteorian kautta päädyin takaisinkytkentään ja fraktaaleihin, joiden soveltaminen automaatioon toi kompleksisuutta sekä rikasti lähdemateriaalia. Integraalisuus ja musiikin moniulotteisuus johti hahmopsykologian ja kognition tarkasteluun. Synestesian käsitin muunnoksena visuaalisuudesta ääneksi; spektralismi ja sarjallisuus, sekä kuva ja ääni yhdistyivät matriisitransformaatioiden ja nopean Fourier'n muunnoksen kautta. Kuvan 33 perusteella tutkimukseni keskiöön asettuu integraalisuus sen laajassa merkityksessä. Kyseisestä kuvasta ilmenee myös sävellyksellisten abstraktioiden ja tekniikkojen keskinäiset ristikytkenät ja tutkimuksen osasia yhdistävät tekijät.

4.2. Reaaliaikaisuudesta

Reaaliaikaisuus on musiikin luomisen yhdistelmämetodi: se voi olla yhtä aikaa sekä sävellys, improvisaatio että esitys. Tietokoneen ja sen laskentajärjestelmien instrumenttimaisuus on jo itsestään selvää. Soittamisen ja säveltämisen paradigmat ovat lähestyneet toisiaan laskentatehon kasvamisen myötä; algoritmien reaaliaikainen todentuminen rajoitteiden puitteissa ei ole ainoa mahdollinen tutkimuksen suunta, vaan myös sävellysalgoritmien metatason parametrien ohjaaminen mahdollistaa uudenlaisen ajattelutavan syntymisen. On mahdollista yhdistää parametreja automatisoituihin generatiivisiin musikaalisiin algoritmeihin, jotka saavat informaationsa reaaliaikaisesti tosimaailman ilmiöistä.¹⁸¹

Reaaliaikainen systeemi on altis laskentanopeuden vaihtelun vaikutuksille. Jotta kuultava ja nähtävä lopputulos vaikuttaisi tunteen tasolla, tulisi sen olla aistimuksellisesti jatkuva. Puutteet tässä häiritsevät kokemusta:

"Though a CAAC system need not model traditional cognitive compositional activities (whether out-of-time or otherwise), a RT process model does enforce computational limits."¹⁸²

181 Chapel 2003.

182 Ibid.

Balance Game on sävellysportfolion reaaliaikaisesti merkityksellisin osa – varauksin myös indeterministisesti kaoottiset generaatiot. Muut teokset olisi varsin hyvin voinut toteuttaa ei-reaaliajassa. Yksi kysymys herää: mikä on johncagemaisten, aikaan ja mielentilaan sidottujen prosessien merkitys teoksien synnyssä, joiden sisältämät mahdollisuudet olen jo ohjelmoiden määritellyt, mutta joista päätän tehdä juuri tietynlaisen konstellaation säveltämisen hetkellä?

"The interactive system responds to the interactor, who in turn responds to that response. A feedback system is created in which the implications of an action are multiplied, much as we are reflected into infinity by the two facing mirrors in a barber shop."¹⁸³

Teokset *A Journey into the Consciousness of* ja *Doors* on molemmat improvisoitu reaaliajassa esiasetusten pohjalta: suunnitelma teoksen etenemisestä hahmottui mielessäni jo järjestelmän tutkimisen pohjalta. Hahmottelu manifestoitui esiasetuksina, tärkeinä pisteinä abstraktissa rakenteessa. *Balance Game* kuuluu myös samaan kategoriaan, mutta teoksen äänen todentaminen tapahtui reaaliajassa. *Prime Numbers* ja *Etude 5* ovat molemmat generoituja teoksia, joihin on vaikuttanut interpolaatioaikojen reaaliaikainen flukтуаatio, joka sysää kunkin generaation etenemisen omalle tangentilleen. *Piano-noise* on näin ollen ainoa teos, joka on puhtaasti ei-reaaliaikainen luonteeltaan. Viimeiseksi kysymysmerkiksi jää *Bird Convection*. Sen toteuttaminen pitää sisällään kaikki edellä mainitut prosessit: algoritmi tuotti generaatioita reaaliajassa, jotka muokkasin editointivaiheessa yhteen. Tästä syntyneitä uutta äänimateriaalia muokkasin reaaliajassa digitaalisen signaaliprosessoinnin kautta, minkä tuloksen editoin edelleen alkuperäisen materiaalin joukkoon.

Miten taiteellisen prosessin iteroituvuus vaikuttaa eri työstämisen tasoilla? Kysymykseen voisi löytää vastauksen musikologisen tutkimuksen kautta pureutuen taiteilijan itsensä arkitodellisuuteen ja työstämismenetelmiin, mutta olen itse kiinnostunut enemmänkin hahmottamisesta, luovuudesta ja kognitiivisten prosessien yleisyydestä.

Aistiristeymä toimii paremmin teoksessa *Doors* kuin *A Journey into the Consciousness of*, koska liikkuva kuva vastaa ajassa muuttuvaa ääntä: ensimmäisessä videokuva päivittyy kymmeniä kertoja sekunnissa, kun taas jälkimmäisessä ääni muodostuu kuvan suhteellisen hitaasta lukunopeudesta. Nopeuksien erosta johtuen jälkimmäinen menetelmä aiheuttaa kuultavan

183 Rokeby, 137.

epäjatkuvuuskohdan, kun sonogrammin kuva prosessoidaan liikkuvaksi kuvaksi. Teoksen *Piano-noise* tekstipohjainen sekvensointi oli hankala, ei pelkästään menetelmänä, vaan myös generoidessa: rakentamani ohjelmisto meni helposti jumiin liian monesta yhtäaikaisesta MIDI-nuotista. Tämä ei sinänsä haitannut, sillä Yamaha Disklavierin polyfonia on myös rajattu muutamaan kymmeneen yhtäaikaiseen nuottiin, mutta en saavuttanut sitä tavoitetta, jonka itselleni asetin, eli aukotonta systemaattisuutta. Kompromissi oli pakko tehdä. Onneksi kuitenkin kompromissia helpotti se, että valkoisen kohinan kuuntelu ei miellytä itseäni niin paljon kuin harvemmat, etenkin symmetriset nuottikuviot.

Kaava ja proseduuri, tila ja aika, generointi ja improvisointi ovat käsittepareja, joita en ole vielä ymmärtänyt kauttaaltaan. Materiaalin reaaliaikainen käsiteltävyys ja tuntuman saaminen parametreihin ja generatiivisiin prosesseihin on tapa konkretisoida abstraktiutta ja tutustua käsiteltävissä olevaan asiaan. Myös generatiivisten prosessien seuraaminen auttaa niiden konkretisoimisessa. Ilmiöiden havainnollistamisessa on merkityksellistä laskentatehon suhde niiden kokemuksellistamiseen: koska reaaliaikaisuus auttaa havaintojen teossa, niiden ymmärtämisessä sekä sävellysmateriaalin ja rakenteiden absorboimisessa, olisi sen hyvä olla aistimuksellisesti sujuvaa. Digitaalisten ilmiöiden tekninen laadukkuus on aina suhteessa tutkittavan materiaalin käsiteltävyyteen, sillä kuvan tai äänen laadukkuus ei ole edellytys aistimuksellisen oppimisen onnistumiselle.

Polyfonisen ajattelun osalta reaaliaikaista laskentatehoa rajoittaa käytettävissä olevien, yhtäaikaisesti laskettavien instanssien määrä. Tässä työssä laskennallisesti kuormittavimpiin digitaalisen signaalikäsittelyn prosesseihin lukeutuvat teoksien *Bird Convection* sekä *Balance Game* algoritmit. Näissä instanssien määrä rajoittui kymmeneen ja kahdeksaan. Ajattelu poikkeaa tilannepohjaisesta laskennasta, jossa kukin uusi parametrikokoelma määrää uuden sävelen tai musikaalisen tilanteen; polyfoninen ajattelutapa edellyttää, että kukin instanssi on käytettävissä joka hetki. Tietenkin prosessorin kuormitusta voi vähentää kytkemällä hetkellisesti pois ne instanssit, jotka eivät tuota informaatiota, mutta filosofisesti nämä lähestymistavat poikkeavat toisistaan: kompleksisuudessa osasien keskinäinen vuorovaikutus – vellonta samassa väliaineessa – on eri asia kuin tarpeen manifestoimat eristetyt musikaaliset hetket, mistä esimerkiksi käy vaikkapa sekvensserin toimintalogiikka. Sekvensserin polyfoniaa rajaa myös muistin määrä, mutta sen osasten kytkytyneisyys eroaa edellä mainitusta.

5 . LOPUKSI

Kaikkiaan uskon työni osoittavan laaja-alaista musiikinteorian hallintaa ja sen pohjalta tehtyjen useiden sovellusten ja teosten tutkimuksellista potentiaalia. Näiden pohjalta on syntynyt laajamittaista teoreettista pohdintaa musiikinteorian rajoista, suunnasta ja suhteesta teknologiaan. Äänen ja kuvan välinen kytkös herättää kysymyksiä aistimuksien välttämättömän väliaineen, ajan ja tilan, luonteesta. Työssä esitän esimerkkien kautta mahdollisen synteessin musiikinteorian ja visuaalisuuden yhteydestä taiteellisen kokemuksen luomista varten teknologian avulla.

“Probably the most important realization to come out of the accumulated experience with programming so far is that it is a problem of organizing and managing complexity - to a far greater extent than was initially realized.”¹⁸⁴

Muistan, kuinka kahdeksanvuotiaana istuin Macintosh SE -tietokoneen edessä leikkimässä notaatio-ohjelmalla ja piirtelemässä MacPaint-ohjelmalla tasosymmetrisiä p4m-luokkaan kuuluvia kuvioita – ja esittelin lukuisia generaatioita jo kauan sitten kyllästyneelle esipolvelle. 20 vuotta myöhemmin tilanne ei ole juurikaan muuttunut, vaan pysynyt varsin invarianttina. Aion jatkossakin ottaa selvää matematiikasta ja systeemeistä musiikinteoreettisen tietämykseni pohjalta, mutta miten paketoita ne taiteen muotoon, on sitten eri kysymys.

Hiljaisen tiedon aukikirjoittaminen itsereflektion kautta on tapa tarkastella omaa intuitiivisesti edennyttä työstö- ja tutkimusprosessia jälkikäteen. Dokumentaatio on tarpeellista muille, mutta myös itselle. Konsertti itsessään on motivoitunut jakamisen tarpeesta, mutta tutkiminen ja teosten työstäminen ei niinkään. Opinnäytetyön tekeminen on keino paketoita jo tehty tutkimus lähestyttävään muotoon.

“As computers become more deeply embedded in our society, the need to marry knowledge of computing with knowledge in other domains becomes more common.”¹⁸⁵

184 Ibid.

185 Roads et al., 79.

Olisi kiintoisaa testata, soveltuisiko tämän oppimisprosessin pohjalta tehty tiivistelmä käsittelemieni matemaattisten konseptien opettamiseen eri aistien kautta oppijoille. Informaatioteknologian perusteella on muodostunut nykyaikainen käsitys siitä, että tietokoneilla voi tehdä mitä vaan, *melkein* mitä vaan. Ideaali on kuitenkin vain ideaali, johon pyrkimys voi johtaa uuteen. Musiikin generatiivisuus tuskin tulee kaikkoamaan todellisuudestamme, sillä se on käypä hahmottamisen malli ja oiva työkalu. Sen musikaalinen merkitsevyys on kuitenkin aikakausi- ja kulttuurisidonnaista. Tässä mielessä näistä asioista kiinnostunut säveltäjä ei voi valita yleisön antamaa vastinetta ideoilleen, vaikka ideat saattaisivatkin olla kytköksissä universaaleihin totuuksiin.

”Methodological criticism, information theory, psychoacoustics, complexity theory, and other approaches discussed in this chapter are making important contributions to theoretical aesthetics that finally allow the dialogue about the nature of art to move beyond its fixation with Pythagorean proportionality. Perhaps the truest proportions in music are those that relate expectation, interest, entropy, and redundancy; perhaps the truest study of music structure requires understanding the nonlinearities of our perceptual and nervous systems as well as the self-organizing principles of nature.”¹⁸⁶

Hahmottamisen tutkimisessa ollaan päästy pisteeseen, jossa selvitetään Gestalt-psykologian hermostollista perustaa. Artikkelissa ”Gestalt Psychology and Cognitive Psychology” Luccio toteaa Gestalt-lähestymistavan olevan edelleen arvokas työkalu modernille kognitiiviselle psykologialle ja soveltuvan etenkin geometriseen psykologiaan, synergetiikkaan ja laskennallisiin Gestalt-periaatteisiin.¹⁸⁷ Hahmopsykologia kun antaa itsessään jo karkean luokittelun hahmottelun malleista – ajatus, joka kehittyi ennen kuin fysiologiset kuvantamistekniikat olivat kehittyneet. Modernissa kognitiivisessa psykologiassa käytetään kehittyneitä matemaattisia malleja (esimerkiksi Lie-algebraa ja epälineaarisia systeemejä) havainnoinnin kokonaisvaltaiseen ymmärtämiseen, vaikkakin keskustelu käydään edelleen pääasiallisesti visuaalisen havaintomaailman pohjalta.

Algoritmisen taiteen kannalta on tärkeää jatkaa formaalien rakenteiden tinkimätöntä tutkimista. Nihin on mielekästä yhdistää sekä suljetun järjestelmän itsesäätelyä että ulkoisten ärsykkeiden integroimista erilaisten sensorien välityksellä. Mahdollisuuksien kirjossa on kytkeä ihmiskehoa

186 Loy, 407.

187 Luccio 2011.

tarkkailevien fysikaalisten mittalaitteiden tuottama informaatio generatiivisiin, rakenteellisiin reaaliaikaisiin järjestelmiin, jolloin pääsemme käsiksi autonomisen hermoston ja automaattisen algoritmisen taiteen väliseen vuorovaikutukseen, jota toisinaan kutsutaan käsitteellä *biofeedback*. Onko tämä enää määritelmällisesti musiikkia? Onko esimerkiksi Benoit Mandelbrot'n nimellä kulkeva murtoluku-ulottuvuuden kuvaus taidetta? Konsensus lienee, että se on kaunis, mutta täyttääkö se taiteen määritelmän, on avoinna keskustelulle.

Miten voisin väittää, että tiedän, mitä en tiedä? Väite pitää sisällään tietämisen sen tiedon luonteesta, mitä ei tiedä. Taiteen ja tieteen välissä poukkoilleena vastaus kysymykseen näyttäytyy entistä epämääräisemmältä. Tietoteoriaan viitaten olisi varsin merkillistä, jos musiikin kautta voisi todistaa luonnontieteellisiä aksioomia.¹⁸⁸ Tämä ei kuitenkaan ole musiikin tarkoitus: taiteen ei tarvitse todistaa mitään, paitsi olemassaolonsa, jos sitäkään. Taiteen avulla voi kuitenkin hyvin selkeästi väittää: ”Tuolla ulkona on kyllä jotakin.” Jos taiteen kautta saavutetaan jotakin, mitä aistia, sen suhde aprioriseen tietoon on synergeettinen, ehkä jopa mimeettinen – ja kenties vielä kausaalinen, jos asiaa tarkastelisi laajemmin koko ihmiskulttuurin näkökulmasta ideoiden dialektisena liikkeenä. Kun asiaa ei tarkastele laajemmin, pisteet ja viivat näyttävät varsin mielenkiintoisilta.

"Musical form will no longer consist of frozen structures but of forces, and dynamisms. The old oppositions of container and content, of form and material will lose all meaning, since compositional process will have become an art of synthesis, born of a continuous movement from differentiation to integration."¹⁸⁹

188 Jotkut *die Reihe* -lehden kulttuuripiirissä vaikuttaneet säveltäjät väittivät rakentamiensa ääniohjelmien yltävän jopa matemaattisen teoreeman tasolle; Flynt 1993.

189 Murail, 135.

VIITTEET

- Alexander, A. and Collins, N. 2007. "Live Audiovisuals", in Collins, N. and d'Escriván, J. (eds.) *The Cambridge Companion to Electronic Music*. Cambridge: Cambridge University Press, 126-139.
- Anders, T. and Miranda, E. R. 2009. "Interfacing Manual and Machine Composition." *Contemporary Music Review*, 28(2), 133-147.
- Ariza, C. 2005. "Navigating the Landscape of Computer Aided Algorithmic Composition Systems: a Definition, Seven Descriptors, and a Lexicon of Systems and Research." *Proceedings of the International Computer Music Conference*. San Francisco: International Computer Music Association, 765-772.
- Benson, D. 2008. *Music: A Mathematical Offering*. PDF file. Aberdeen: University of Aberdeen, December 14, 2008. Accessed April 3, 2015, <https://homepages.abdn.ac.uk/mth192/pages/html/maths-music.html>
- Borgforff, H. 2006. *The Debate on Research in the Arts*. PDF file. January 31, 2006. Accessed April 26, 2015, http://www.pol.gu.se/digitalAssets/1322/1322713_the_debate_on_research_in_the_arts.pdf
- Boulez, P. 1971. *Boulez on Music Today*. Translated by Susan Bradshaw and Richard Rodney Bennett. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- Bushev, M. 1994. *Synergetics: Chaos, Order, Self-organization*. Singapore: World Scientific Publishing.
- Butler, M. 2001. "Turning the Beat Around: Reinterpretation, Metrical Dissonance, and Asymmetry in Electronic Dance Music." *Music Theory Online*, 7(2).
- Butler, M. 2006. "Hearing Kaleidoscopes: Embedded Grouping Dissonance in Electronic Dance Music." *Twentieth-Century Music*, 2(2), 221-243.
- Carey, N. & Clampitt, D. 1989. "Aspects of Well-Formed Scales." *Music Theory Spectrum*, 11(2), 187-206.

- Chapel, R. 2003. "Realtime Algorithmic Music Systems From Fractals and Chaotic Functions: Toward an Active Musical Instrument." Ph.D. Dissertation, Universitat Pompeu Fabra.
- Charles, J.-F. 2008. "A Tutorial on Spectral Sound Processing Using Max/MSP and Jitter." *Computer Music Journal*, 32(3), 87-102.
- Cornicello, A. 2000. "Timbral Organization in Tristan Murail's *Désintégrations* and Rituals by Anthony Cornicello." Ph.D. Dissertation, Brandeis University.
- Cowell, H. 1930. *New Musical Resources*. New York & London: A. A. Knopf. Reprinted, with notes and accompanying essay by David Nicholls, Cambridge [England] & New York: Cambridge University Press, 1996.
- Di Scipio, A. 2003. "'Sound is the Interface': from *interactive* to *ecosystemic* signal processing." *Organised Sound*, 8(3), 269-277.
- Dixon, G. 2009. *Turning Pitch into Rhythm: Henry Cowell and the Evolution of the Rhythmicon*. Perfect Sound Forever, October 2009. Accessed April 5, 2015, <http://www.furious.com/perfect/henrycowell.html>
- Dolson, M. 1986. "The Phase Vocoder: A Tutorial." *Computer Music Journal*, 10(4), 14-27.
- Dorin, A. 2001. "Generative Processes and the Electronic Arts." *Organised Sound*, 6(1), 47-53.
- Downes, M. 2009. *Jonathan Harvey: Song offerings and White as jasmine*. Farnham, England: Burlington, VT.
- Eimert, H. 1950. *Lehrbuch der Zwölftontechnik*. Wiesbaden: Breitkopf & Härtel.
- Emmerson, S. 2007. *Living Electronic Music*. Hampshire and Burlington: Ashgate.
- Ferraz, S. and Aldrovandi, L. 2000. "Loop-interpolation-random & gesture: déjà vu in Computer-aided Composition." *Organised Sound*, 5(2), 81-84.
- Flynt, H. 1994. *Against 'participation' – A Total Critique of Culture*. Accessed April 12, 2015, <http://www.henryflynt.org/aesthetics/totcritcult.html>
- Gilmore, B. 1998. *Harry Partch: A Biography*. Yale University Press.
- Griffiths, P. 2011. *Modern Music and After*. New York: Oxford University Press.
- Haddon, M. 2012. *The Curious Incident of the Dog in the Night-time*. London: Vintage.

- Holopainen, R. 2012. "Self-organised Sound with Autonomous Instruments: Aesthetics and experiments." Ph.D. Dissertation, Department of Musicology, University of Oslo.
- Hunt, A. & Wanderley, M. 2002. "Mapping Performer Parameters to Synthesis Engines." *Organized Sound*, 7(2), 97-108.
- Hunt, A., Wanderley, M. & Kirk, R. 2000. "Towards a Model for Instrumental Mapping in Expert Musical Interaction." *Proc. of the Int. Computer Music Conf. (ICMC'2000)*. ICMA: Berlin, Germany, 209-212.
- Johnson, N. 2009. "Chapter 1: Two's Company, Three is Complexity". *Simply Complexity: A Clear Guide to Complexity Theory*. Oneworld Publications, 3-18.
- Johnson, T. 1994. "Minimalism: Aesthetic, Style or Technique?" *Musical Quarterly*, 78(4), 742-773.
- Kaila, E. 1939. *Inhimillinen tieto: mitä se on ja mitä se ei ole*. Helsinki: Otava.
- Koenig, G. 1970. "Project 1: A Programme for Musical Composition." *Electronic Music Reports* 2, 32-34.
- Krebs, H. 1999. *Fantasy Pieces: Metrical Dissonance in the Music of Robert Schumann*. New York: Oxford University Press.
- Kreichi, S. 1995. "The ANS Synthesizer: Composing on a Photoelectronic Instrument." *Leonardo Music Journal*, 28(1), 59-62.
- Le Caine, H. & Ciamaga, G. 1967. "A Preliminary Report on the Serial Sound Structure Generator." *Perspectives of New Music*, 6(1), 114-118.
- Lerdahl, F. & Jackendoff, R. 1983. *A Generative Theory of Tonal Music*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Loy, G. 2006. *Musimathics – The Mathematical Foundations of Music*, Vol. 1. Cambridge: MIT Press.
- Luccio, R. 2011. "Gestalt Psychology and Cognitive Psychology." *Humana Mente*, 17, 95-128.
- Lyons, A. 2003. "Time Space Texture: An Approach to Audio-Visual Composition." Ph.D. Dissertation, Composition Unit, The University of Sydney.
- Malloch, J. and Wanderley, M. 2007. "The T-Stick: From Musical Interface to Musical Instrument." *Proceedings of the 2007 Conference on New Interfaces for Musical Expression*

(NIME07), New York City, USA, 66-69.

Manning, P. 2004. *Electronic and Computer Music*. New York: Oxford University Press.

Marino, G., Serra, M.-H. & Raczinski, J.-M. 1993. "The UPIC System: Origins and Innovations." *Perspectives of New Music*, 31(1), 258-269.

McLachlan, N. 2000. "A Spatial Theory of Rhythmic Resolution." *Leonardo Music Journal*, 10, 61-67.

Mitleton-Kelly, E. 2003. "Ten Principles of Complexity & Enabling Infrastructures", in Mitleton-Kelly, E. (ed.) "Complex Systems and Evolutionary Perspectives on Organisations: The Application of Complexity Theory to Organisations." Elsevier.

Moscovich, V. 1997. "French Spectral Music: An Introduction." *Tempo* 200, 21-27.

Murail, T. 2005. "The Revolution of Complex Sounds." *Contemporary Music Review*, 24(2/3), 121-135.

MusicMaker5376. 2007. *Harmonic Series*. Digital image. Wikipedia, January 27, 2007. Accessed April 4, 2015, http://en.wikipedia.org/wiki/File:Harmonic_Series.png

Nauert, P. 2007. "Division- and Addition-Based Models of Rhythm in a Computer-Assisted Composition System." *Computer Music Journal*, 31(4), 59-70.

Newton, D. & Marshall, M. 2011. "Examining How Musicians Create Augmented Musical Instruments." *Proceedings of the 11th International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME11)*.

Normandeau, R. 2009. "Timbre Spatialisation: The medium is the space." *Organised Sound*, 14(3), 277-285.

Partch, H. 1974. *Genesis of a Music*. Da Capo Press.

Perle, G. 1991. *Serial Composition and Atonality: An Introduction to the Music of Schoenberg, Berg, and Webern*. Sixth edition, revised. Berkeley: University of California Press.

Pestova, X., Donald, E. and Stewart, D. A. 2009. *The Digital Orchestra Project: Digital Musical Instruments and Performance Practice*. Centre for Interdisciplinary Research in Music, Media and Technology; Digital Composition Studios, Input Devices and Music Interaction Laboratory, McGill University.

- Polansky, L. 1983. "The Early Works of James Tenney: XI. Spectral Canon for Conlon Nancarrow for Harmonic Player Piano (1974)". *Soundings* 13: 223-227.
- Raatikainen, P. 2015. "Gödel's Incompleteness Theorems." *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. The Metaphysics Research Lab, Stanford University.
- Rahn, J. 1980. *Basic Atonal Theory*. New York: Longman.
- Reigle, R. 2008. "Spectral Musics Old and New", in Reigle, R. and Whitehead, P. (ed.) *Spectral World Musics: Proceedings of the Istanbul Spectral Music Conference*. Istanbul: 1-12.
- Richards, G. 2008. *Harmonic Partial on String*. Digital image. Wikipedia, July 8, 2008. Accessed April 3, 2015, http://en.wikipedia.org/wiki/File:Harmonic_partial_on_strings.svg
- Roads, C. & Greenspun, P. 1996. "Fourier Analysis", in Roads, C. (ed.) *The Computer Music Tutorial*. Cambridge, Massachusetts and London, England: The MIT Press, 1073-1112.
- Roads, C., Strawn, J., Abbott, C., Gordon, J. & Greenspun, P. 1996. *The Computer Music Tutorial*. Cambridge, Massachusetts and London, England: The MIT Press.
- Roederer, J. 1995. *Physics and Psychophysics of Music*. New York: Springer-Verlag.
- Rokeby, D. 1995. "Transforming Mirrors: Subjectivity and Control in Interactive Media", in Penny, S. (ed.) *Critical Issues in Electronic Media*. New York: State University of New York Press, 133-158.
- Rose, F. 1996. "Introduction to the Pitch Organization of French Spectral Music." *Perspectives of New Music*, 34(2), 6-39.
- Routio, P. 2005. *Tuotteiden tutkimuksen ja kehittämisen opas*. Taideteollinen korkeakoulu, Virtuaaliyliopisto, May 19, 2005. Accessed April 19, 2015, <http://www.uiah.fi/virtu/materiaalit/tuotetiede/index.html>
- Russell, B. 2014. "A Priori Justification and Knowledge." *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. The Metaphysics Research Lab, Stanford University, May 19, 2014. Accessed April 20, 2015, <http://plato.stanford.edu/entries/apriori/>
- Sandresky, M. 1981. "The Golden Section in Three Byzantine Motets of Dufay." *Journal of Music Theory*, 25(2), 291-306.
- Schattschneider, D. 1978. "The Plane Symmetry Groups: Their Recognition and Notation." *American Mathematical Monthly*, 85, 439-450.

- Schillinger, J. 1941. *The Schillinger System of Musical Composition*. New York: Carl Fischer.
- Schillinger, J. 1976. *The Mathematical Basis of the Art*. New York: Da Capo Press.
- Tenney, J. 1988. *A History of 'Consonance' and 'Dissonance'*. New York: Excelsior.
- Ventrella, J. 2010. *Divisor Drips and Square Root Waves – Prime Numbers are the Holes in Complex Composite Number Patterns*. Eyebrian Books.
- Voss, R. F. & Clarke, J. 1978. "1/f Noise in Music; Music from 1/f Noise." *Journal of Acoustical Society of America*, 63(1), 258-263.
- Warburton, D. 1988. "A Working Terminology for Minimal Music." *Intégral* 2, 135-159.
- Whittall, A. 1999. *Musical Composition in the Twentieth Century*. New York: Oxford University Press.
- Xenakis, I. 1992. *Formalized Music*. Revised edition. New York: Pendragon Press.
- Ylipää, J. 2012. "Applying the Harmonic Series to the Generation of Pitch and Rhythm." Bachelor's Thesis, Department of Music and Technology, Sibelius-Academy.
- Zuse, K. 1969. *Rechnender Raum*. Braunschweig:Friedrich Vieweg & Sohn.
- , 1970. "Calculating Space". MIT Technical Translation AZT-70-164-GEMIT, Massachusetts Institute of Technology (Project MAC), Cambridge, Mass. 02139.