

Kasper Pitkänen

Virtuaalisoitinrakennus

Sample-pohjainen soitinmallinnus Kontakt 5 -ympäristössä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Medianomi AMK

Elokuvan ja television tutkinto-ohjelma

Opinnäytetyö

13.4.2018

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Kasper Pitkänen Virtuaalisoinnarakennus – Sample-pohjainen soitinmallinnus Kontakt 5 -ympäristössä 29 sivua 13.4.2018
Tutkinto	Medianomi AMK
Koulutusohjelma	Elokuvan ja television tutkinto-ohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Äänen suuntautumisvaihtoehto
Ohjaaja(t)	Lehtori Taneli Bruun
<p>Nykyään monet ammattisäveltäjät, musiikin harrastajat ja keikkamuusikot käyttävät virtuaalisia, tietokoneella käytettäviä instrumentteja soittamiseen ja kappaleiden säveltämiseen. Viimeisten vuosikymmenten aikana soitinmallinnuksen taustalla oleva tekniikka on kehittynyt suurin harppauksin ja sävyero aitojen soitinten ja virtuaalisoitinten välillä on kaventunut. Virtuaalisoitinten ”rakentamisesta” onkin kehittynyt alati kasvava toimiala.</p> <p>Virtuaali-instrumentteja tehdään ohjelmoimalla ja äänittämällä sampleja eli digitaalisia ääninäytteitä, joita käytetään materiaalina instrumenttien teossa tarkoitukseen kehitetyissä ohjelma-alustoissa. Sample-pohjainen soitinmallinnus toteutetaan pääsääntöisesti softwaresamplerilla, jotka emuloivat samplerien toimintaperiaatteita. Softwaresampleria käytetään liitännäisinä digitaalisen äänen työasemissa tai itsenäisinä ohjelmina. Kontakt 5 on käytetyin ja markkinoita hallitseva softwaresampleri.</p> <p>Opinnäytetyön tarkoituksena on perehtyä siihen, miten sample-pohjaisia virtuaalisoitimia tehdään Kontakt 5 -ympäristössä ja mitä asioita on huomioitava autenttiseen lopputulokseen pyrittäessä. Opinnäytetyötä varten rakennettiin virtuaalinen kitara, jotta soitinmallinnuksessa vastaantulevia haasteita ja työvaiheita voitaisiin ymmärtää konkreettisesti.</p> <p>Työn teoriaosassa käsitellään äänen ja musikaalisen äänen ominaisuuksia, analysoidaan äänimateriaalia ja tarkastellaan erilaisten instrumenttien äänentuoton perusteita. Lisäksi siinä perehdytään samplerien historiaan ja käsitellään Kontakt 5 -softwaresamplerin perusominaisuuksia. Teoriaosuuden loppuosassa tutkitaan lähemmin virtuaalisoitimen tekoprosessia ja siinä vastaantulevia haasteita.</p> <p>Opinnäytetyön lopputuloksena havaittiin, kuinka suuri merkitys monipuolisesti ja huolellisesti toteutetulla ohjelmoinnilla ja äänityksillä sekä käyttöliittymän suunnittelulla on toimivan ja aidon virtuaalisoitimen teossa. Opinnäytetyötä varten tehdyn virtuaali-instrumentin rakentaminen osoitti, kuinka aikaa vievää ja tarkkuutta vaativaa soitinten tekeminen käytännössä on. Projektin työvaiheisiin ja suunnitteluun käytetty lyhyt aika sekä rajalliset resurssit määrittivät ratkaisevasti, minkälainen virtuaali-instrumentista loppujen lopuksi rakentui.</p>	
Avainsanat	Virtuaali-instrumentti, samplerit, soitinmallinnus

Author(s) Title	Kasper Pitkänen Art of Building Virtual Instruments – Sample-Based Virtual Instrument Creation in Kontakt 5
Number of Pages Date	29 pages 13 April 2018
Degree	Bachelor of Culture and Arts
Degree Programme	Film and television
Specialisation option	Sound
Instructor(s)	Taneli Bruun, Senior Lecturer
<p>Nowadays, the majority of professional composers and music producers or even live-musicians take advantage of using virtually produced instruments for playing and composing music. During the last decades, the evolution of technology has made virtual-instrument creation a lot easier and more innovative, which has also made the instruments sound more authentic and more like their real-life counterparts. Thus, building virtual instruments has become a fast-expanding market.</p> <p>Virtual-instruments are created with programming and with the use of digital audio samples. Software samplers, which emulate the principal functions of a sampler, work as the base for which the virtual instruments are mainly created for. Software samplers are used as plugins in digital audio workstations or as independent applications. Kontakt 5 is the most popular and the market-leading software sampler today.</p> <p>The purpose of this Bachelor's thesis is to study how sample-based virtual instruments are made with Kontakt 5 and which aspects one should focus on when creating an authentic-sounding virtual instrument. For the study, the author produced a virtual guitar so that he would understand concretely the process of virtual instrument creation and all the challenges involved with it.</p> <p>This thesis covers the basic information of the physics of sound and musical sound and also ways to analyze sound. In addition, it explains the basic principles of sound-processing of musical instruments and also goes through the history of samplers and gives an introduction to Kontakt 5. After the basic theory, the thesis goes into detail about the actual virtual instrument creation.</p> <p>As the result of this study, the author found out how thorough and multi-sided programming and precise recordings as well as GUI design bears a great importance in the making of virtual instruments. The virtual instrument project made the author realize how time-consuming and meticulous the creation process is and how the lack of time and resources shaped the tone of his own virtual instrument.</p>	
Keywords	Virtual instrument, samplers, instrument modeling

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Sointi tekee soittimen	2
2.1	Ääni ja tila	2
2.2	Musikaalinen ääni ja äänianalyysi	3
2.3	Instrumenttikohtaisten erojen huomioiminen	5
3	Samplaaminen, samplerit ja softwaresamplerit	7
3.1	Samplereiden historia	7
3.2	Softwaresamplerit ja Kontakt 5	10
4	Virtuaalisoitinten tekoprosessi ja haasteet	11
4.1	Valmistautuminen ja suunnittelu	12
4.2	Tavoitteet oman virtuaalisoitimen teossa	13
4.3	Prototyypin luonti ja skriptaus	14
4.3.1	Legato	16
4.3.2	Round-robin	17
4.3.3	Artikulaatioiden käyttöönotto	18
4.3.4	Releaseäänitteet	19
4.4	Äänitys ja editointi	19
4.5	Samplejen asettelu ja soittimen viimeistely	20
4.6	Kehitysmahdollisuudet	22
5	Soitinmallinnuksen tulevaisuus	24
6	Lopuksi	25
	Lähteet	27

1 Johdanto

Kautta aikojen musiikilla on ollut valtavan suuri merkitys ihmiselämässä tunteiden välittäjänä ja ihmisiä yhdistävänä tekijänä. Niin musiikin kulutuksen- kuin tuottamisenkin tavat ovat kokeneet suuria muutoksia aikojen saatossa, ja etenkin viime vuosikymmenillä kehitys on ollut äärimmäisen nopeaa. Melkein pä minkä tahansa musiikin kuunteleminen ja säveltäminen on nykyään mahdollista kaikille ja kaikkialla — musiikki ei ole kenenkään yksinoikeus.

Musiikin tuottamisen saralla uudet tekniikat ovat mahdollistaneet sen, että vähäisilläkin soitto- ja musiikinteoriataidoilla on mahdollista luoda omaa musiikkia. Toki musiikin opiskeleminen on edelleen arvossa ja antaa paljon työkaluja säveltämiseen, mutta nykypäivänä ei ole enää välttämätöntä viettää vuosia musiikkiopistoissa ja -kouluissa voidakseen tuottaa tasokasta ja laadukasta musiikkia. Iso kehitysaskel on ollut se, että soittimia voidaan mallintaa tietokoneelle sampleja eli digitaalisia ääninäytteitä käyttäen sekä ohjelmointia ja syntetisointia hyödyntäen, jolloin käytännössä minkä tahansa soitinten soittaminen on mahdollista kaikille – tietokoneen avulla. Soitinten mallintamisesta onkin kehittynyt jo suhteellisen iso toimiala, sillä sekä musiikin kuuntelijoita että musiikin tekijöitä löytyy lukematon määrä maailman jokaisesta kolkasta.

Yksi tärkeimmistä soitinvalmistajien kohderyhmistä ovat toki alan ammattilaiset. Hyvin usein nykypäivän mediasäveltäjillä peliyrityksissä, mainostoimistoissa ja vaikkapa elokuva-alalla ei ole tarpeeksi resursseja tai aikaa suurien äänityssessioiden järjestämiseen, joten virtuaalisoitinten käyttö on huomattavasti halvempaa ja melkein pä välttämätöntä. Ja vaikka resurssit riittäisivätkin äänityssessioihin, soitinkirjastojen käyttö on todella hyödyllinen ja aikaa säästävä keino kappaleiden hahmotteluvaiheessa.

Alkuaikoina virtuaalisoittimet oli helppo erottaa niiden oikeista vastineista, mutta viime vuosina on onnistuttu kehittämään soitinkirjastoja, joiden sointia on vaikea enää väittää epäaidoksi ja joilla on mahdollista soittaa liki kaikki samat nyanssit ja artikulaatiot kuin oikeilla soittimillakin. Virtuaalisoitinten maailmassa on myös mahdollista toteuttaa asioita, joita fyysisten soitinten kanssa ei välttämättä voitaisi tehdä ollenkaan.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena onkin tutkia, miten sample-pohjainen instrumentti toteutetaan ja mitä asioita on huomioitava, kun tavoitteena on toteuttaa aidonkuuloinen

virtuaalisoitin. Tutkimus keskittyy ensisijaisesti Native Instrumentsin Kontakt 5 - ympäristössä tehtävään soitinmallinnukseen, sillä se on markkinoiden käytetyin alusta ja se oli minulle ennestään tuttu. Analysoin samalla, mitä haasteita realistisen ja moniulotteisen sample-pohjaisen virtuaali-instrumentin suunnittelussa on ja miten niiltä voidaan välttyä. Tutkimusta varten äänitin ja tuotin pienimuotoisen sample-pohjaisen sähkökitaran, jotta voisin konkreettisesti ymmärtää virtuaalisoitinten teon työvaiheita ja selvittää vastaantulevia ongelmakohtia. Tarkastelun tukena hyödynnän lähdemateriaaleja virtuaalisoitinvalmistajien verkkosivuilta, videomateriaaleja ja -haastatteluja verkosta sekä kirjoituksia musiikkilehdistä ja muusta aihetta käsittelevästä kirjallisuudesta.

Opinnäytetyön aluksi käsittelen äänen ja musikaalisen äänen fysiikkaa sekä peruspiirteittäin soitinten ominaisuuksia, joiden perusteet on hyvä tuntea soitinmallinnukseen lähdettäessä. Tämän jälkeen käsittelen samplereiden historiaa ja soitinmallinnuksessa käytettäviä pääalustoja eli softwaresamplereita, mistä siirryn tarkastelemaan käytännön työprosesseja ja haasteita virtuaali-instrumenttien teossa. Tämän osion pohdinnan tukena hyödynnän sekä oman virtuaalisoitimen tekoprosessia että muita soitinkirjas-toesimerkkejä. Lopuksi käsittelen soitinmallinnuksen tulevaisuutta ja teen johtopäätöksiä tutkimani perusteelta.

2 Sointi tekee soittimen

Soittimen, kuten minkä tahansa muun asian mallintamisessa, olipa sitten kyseessä aivokemian tai vaikkapa rakennuksen mallinnus, täytyy ymmärtää ja analysoida sekä mallinnettavan kohteen ominaisuuksia että mallinnuksen ympäristöä hyvin tarkkaan. Musikaalisen instrumentin virtualisointiin tulee lähteä tutustumalla soittimen perusolemukseen eli sointiin ja äänentuottoperiaatteeseen sekä ottamalla huomioon, miten ja missä äänilähteestä syntyvää ääntä havainnoidaan ja taltioidaan. Seuraavaksi käsittelen lyhyesti peruseriaatteita aiheen taustalla, eli mitä ääni sekä musikaalinen ääni ovat ja miten niitä voidaan analysoida.

2.1 Ääni ja tila

Ääni on aaltoliikettä, joka syntyy jonkun kappaleen värähtelystä ja joka etenee erilaisissa väliaineissa, yleisimmin ilmassa. Fysikaalisesti ääntä voidaan kuvata kolmen perusmuuttujan avulla, jotka ovat voimakkuus (taso), sointikorkeus (taajuus) sekä aika. Äänen sointi on siis yhdistelmä, joka muodostuu useista yhtäaikaista värähtelyistä,

taajuuksista ja niiden keskinäisistä ajallisista eroista. (Laaksonen 2013, 4–5.) Kun siirytään pois teoreettisista määritelmistä, ääntä useimmiten kuvaillaan subjektiivisten hyvä–huono-muuttujien avulla.

Akustiset esteet vaikuttavat äänen kulkuun sen mukaan, mikä on äänen aallonpituus, esteen koko, rakenne ja massa. Tilassa ääni kimpoaa seinistä heijasteena, jolloin heijaste liittyy alkuperäiseen ääneen viiveellä ja nämä kaksi ääniaaltoa, suora ja heijastunut, voivat yhdistyä toisiinsa myötä- tai vastavaiheessa. Usein ääni heijastuu eri pinnoista useita kertoja, jolloin syntyy monikertaisten heijasteiden ja niistä syntyvien viiveiden muodostama äänikenttä eli jälkikaiunta. (Laaksonen 2013, 4–5, 18, 262.)

Käytännön tasolla ääni kuulostaa läheiseltä, kun siinä on vähän tai ei ollenkaan ensiheijastuksia ja jälkikaiuntaa ja kun siinä on runsaasti sekä korkeita että matalia taajuuksia. Ääni kuulostaa puolestaan etäiseltä silloin, kun siinä on runsaasti ensiheijastuksia ja paljon äänitysakustiikasta johtuvaa jälkikaiuntaa sekä mahdollisesti vähän korkeita ja matalia taajuuksia, etenkin jos äänite on tallennettu ulkona. Huoneakustiikka saattaa aiheuttaa myös matalien taajuuksien korostumia. Läheiseltä kuulostava ääni on muihin ääniin verrattuna voimakas ja etäiseltä kuulostava on hiljainen. (Laaksonen, 4–5 & 262 ja 18, 2013.) Nämä ovat tärkeitä asioita, jotka on hyvä tiedostaa ja ottaa huomioon äänityksiä tehdessä.

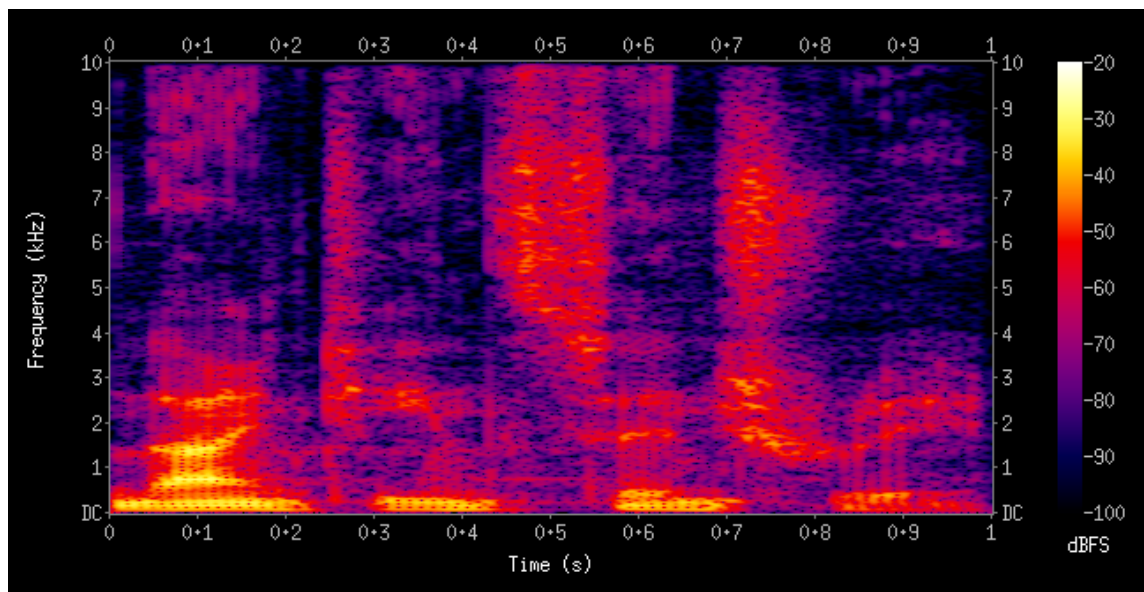
2.2 Musikaalinen ääni ja äänianalyysi

Musikaalinen ääni on yksinkertaisimmillaan siniääni, joka koostuu usein samaan aikaan soivista ylä- ja aläänistä. Soiva sävel voi olla harmoninen tai epäharmoninen sillä perusteella, miten näiden äänesten taajuudet suhtautuvat toisiinsa. Äänen spektri eli taajuussisältö havainnollistaa, minkä taajuisia osääneksiä sävel sisältää ja missä suhteessa. Harmonisella äänellä on tietty perustaajuus ja sen lisäksi usein useita yläääniksiä, jotka ovat taajuuksiltaan perustaajuuden kokonaislukukerrannaisia. Harmonisia yläääniksiä kuullaan mm. puhallinsoittimissa ja lauluäänessä ja epäharmonisia, jossa ylääänikset eivät ole kokonaislukusuhteessa, monissa lyömäsoittimissa kuten ksylofonissa ja kelloissa. (Eerola, Louhivuori & Moisala 2005, 243.)

Harmonisten soitinten osasävelet eivät kuitenkaan ole todellisuudessa aivan täydellisessä suhteessa toisiinsa, vaan saattavat olla lievästi epäharmonisia. Esimerkiksi pianon ylääänikset eivät ole täsmälleen perustaajuuden kerrannaisia, vaan hieman ylävi-

reisiä, mikä johtuu pianon äänentuottoperiaatteista ja tässä tapauksessa pianossa olevien kielten suuresta jännitysvoimasta ja jäykkyydestä. Soittimia luokitellaan useimmiten niiden äänentuottoperiaatteen mukaan kieli-, jousi-, puhallin- ja lyömäsoittimiin sekä sähköisiin soittimiin. (Eerola, Louhivuori & Moisala 2005, 243.) Soitinkohtaisista eroista ja niiden vaikutuksesta soitinmallinnukseen kerron enemmän seuraavassa alaluvussa.

Ääntä ja sen spektriä on mahdollista tarkastella erilaisilla analysaattoreilla, jolloin voidaan nähdä äänen karaktäärit visuaalisessa muodossa. Tästä esimerkkinä spektrogrammi ja Fourier-analyysi, joka on laskentamenetelmä eri taajuuksilla olevien sinikomponenttien osuuksien määrittämiseen äänestä (Eerola ym. 2005, 243). Omassa projektissani käytin pääasiallisesti Wavesin PAZ Frequency -analysointia taajuusjakauman tarkasteluun siistiessäni äänitteistä häiritseviä taajuuksia sekä verratessani äänitteitäni referenssisoitinkirjastojen sointiin. Kuitenkaan pelkästään analysaattoreita ja mittareita katsomalla ei voi täysin, ainakaan subjektiivisesti, tietää ja tuntea millä ääni kuulostaa.



Kuvio 1. Spektrogrammi. (Lähde: en.wikipedia.org)



Kuvio 2. PAZ Frequency analaysaattori.

Pääsääntöisesti soittimilla ei soiteta vain yksittäisiä ääniä, vaan useita ketjuuntuneita säveliä melodioiden muodossa joko yksi- tai moniäänisesti, mikä asettaa lisähaasteita soitinmallinnukseen. Ja äänitettäviä soittimia nimenomaan soitetaan ja soittajat ovat, ainakin usein, ihmisiä, jolloin jokainen soittokerta ja jokainen soiva sävel kuulostaa hieman erilaiselta, myös soittimesta ja akustisesta tilasta riippuen.

2.3 Instrumenttikohtaisten erojen huomioiminen

Soitinmallinnusta tehtäessä on tärkeä ottaa huomioon eri soitinten rakenteesta ja äänentuottoperiaatteista johtuvat erikoisominaisuudet ja rajoitukset. Esimerkiksi perkussioissa ja kielisoittimissa sävelen kesto riippuu värähtelevän pinnan tai kielen ominaisuuksista, kun taas puhallinsoittimissa ääni jatkuu niin kauan kuin soittaja vain kykenee puhaltamaan.

Yleisesti ottaen soittimissa äänentuotto perustuu mekaaniseen, akustiseen tai sähköiseen värähtelyyn. Suurimmassa osassa soittimia ääni syntyy monista toisiinsa ketjuuntuvista värähtelijöistä, oskillaattoreista, mikä tekeekin niistä usein varsin monitahoisia värähteleviä järjestelmiä. (Fletcher & Rossing 1998, 3.) Instrumenttien oskillaattorit ovat erilaisia, joten niiden äänentuottoperiaatteet eroavat paljon toisistaan. Kuten edellisessä alaluvussa kerroin, soittimia luokitellaan useimmiten näiden äänentuottoperiaatteen mukaan kieli-, jousi-, puhallin-, ja lyömäsoittimiin sekä sähköisiin soittimiin. (Eerola ym.

2005, 241) Seuraavaksi käsittelen lyhyesti joitakin soitinryhmien ominaispiirteitä havainnollistaakseni konkreettisia eroavaisuuksia soitinten toimintaperiaatteissa.

Puhallinsoittimissa äänentuotto perustuu kahteen elementtiin eli värähtelijään ja ilmapatsaaseen (Douglas 1957, 36). Puhallinsoitinten ääni syntyy siis usein metallista valmistetussa putkessa, jonka päässä on ruokokieli, kaksoisruokokieli, avoin suukappale tai vaskipuhaltimen suukappale. (Eerola & Louhivuori & Moisala 2005, 242) Sävelintervallit määräytyvät pääasiallisesti reikien sijainnin mukaan ilmapatsaassa. Tämä asettaa tiettyjä rajoitteita soitinten soittoon, mutta monesti taitavat soittajat pystyvät lisäämään soitinten ilmaisukirjoa. Esimerkiksi osa soittajista pystyy soittamaan glissandon, eli portaattoman sävelliu'un, vaikkapa klarinetilla, vaikka se ei olisi soittimelle luonteva soitto-tapa. (Douglas 1957, 36) Vaskipuhaltimissa puolestaan ei ole sormiaukkoja, vaan venttiilejä tai liikkuvia putken osia. (Eerola ym. 2005, 242.)

Kielisoitinten äänentuotto perustuu ohuen langan värähtelyyn, joka saadaan värähtelemään esimerkiksi sormilla näppäillen tai vaikkapa kosketinsoittimen vasarakoneiston lyöntien avulla (Eerola & Louhivuori & Moisala 2005, 242). Kielisoittimilla (kosketinsoittimet pois lukien) pystytään soittamaan sävelkorkeuksia vapaammin, sillä soittaja voi vaikuttaa värähtelevän kielen osan pituuteen ilman rajoituksia, vaikka soittimessa olisi-kin osoitetut paikat eri sävelkorkeuksille, kuten esimerkiksi kitarassa ja banjossa. Matalin soitettava sävel määräytyy kielen matalimman luonnollisen taajuuden sekä soittimen kaikupohjan tai resonaattorin mukaan. Monien kielisoittimien sävyyn voi vaikuttaa soitto-tekniikoilla. Kieliä voi soittaa vaikkapa jousella tai näpäyttämällä. Sävyä voi myös muuttaa asettamalla soittimeen sordiinon eli soittimen ääntä vaimentavan lisäosan. (Douglas 1957, 36.)

Lyömäsoittimia ovat nimensä mukaisesti soittimet, joita lyödään tai vaikkapa raviste-taan. Lyömäsoittimiin, jotka voidaan myös jaotella idiofoneihin ja membrafoneihin, kuu-luvat muun muassa soittimet, joissa soittaja lyö soivia esineitä vastakkain (kalistimet) tai lyö soimattomalla esineellä soivaa esinettä (perkussiot) tai lyö rummun kalvoa joko suoraan tai välillisesti. (Eerola ym. 2005, 315.)

Samplatessa soittimia tulee ottaa huomioon myös mekaaniset äänet, joita soittimia soittaessa kuuluu. Ääntä syntyy esimerkiksi jo pelkästään siitä, kun sormet liukuvat pitkin kitaran kieliä, kun poljetaan pianon pedaalia tai painellaan saksofonin nappuloita. Nämä kaikki ovat tekijöitä, jotka puuttuessaan vaikuttaisivat virtuaalisoittimen aitouteen,

mutta toisaalta saattaisivat liiallisissa määrin tai liian voimakkaasti soivina vaikuttaa negatiivisesti virtuaali-instrumentin sointiin.

3 Samplaaminen, samplerit ja softwaresamplerit

Samplaaminen eli digitaalisten ääninäytteiden tallentaminen ja toistaminen on termi, jonka lanseerasivat varhaisen samplerin Fairlight CMI:n tekijät. (Howell 2005). Samplerit ovat samplaamisen työkaluja, joilla on mahdollista toistaa tallennettuja ääninäytteitä, sampleja, halutulla tavalla. Softwaresamplerit ovat puolestaan tietokoneelle tehtyjä ohjelmia, jotka emuloivat samplerien toimintaperiaatteita. Niitä käytetään pääosin digitaalisen äänen työasemissa (DAW) tai itsenäisinä ohjelmina.

Seuraavaksi käsittelen samplerien historiaa, jonka jälkeen käyn läpi tässä opinnäytetyössä keskiössä olevan softwaresamplerin Kontakt 5:n ominaisuuksia.

3.1 Samplerien historia

Elektronisten instrumenttien historia ulottuu jopa 1700-luvulle asti, mutta samplerit ovat ilmiönä suhteellisen tuore. Periaatteet samplaamisen takana juontavat juurensa puhelimen historiaan, mutta vasta 1950-luvulla kehitettiin transistori, joka pystyi muuntaamaan jatkuvaa audiosignaalia digitaaliseen muotoon pulssikoodimodulaatio eli PCM-menetelmällä (Russ 2009, 28–29), mikä mahdollisti, noin 30 vuotta myöhemmin, samplaamisen räjähdysmäisen yleistymisen ja muuttumisen helppokäyttöiseksi.

Ennen PCM-menetelmän hyödyntämistä ensimmäiset samplerit kehitettiin toisenlaisilla tekniikoilla – niitä tosin ei kutsuttu sampleriksi vielä tuolloin. Vuonna 1949 Harry Chamberlin kehitti elektromekaanisen kosketinsoittimen ”chamberlinin”, joka toisti analogiselle nauhalle tallennettuja ääninäytteitä. Soittimessa oli potentiaalia, mutta se oli epävaka. 1960-luvulla chamberlinin tekniikan pohjalta kehitettiin instrumentti ”mellotron”, joka oli huomattavasti esikuvaansa toimivampi ja sopi paremmin massatuotantoon. Laitteistot olivat kuitenkin sekä kalliita että raskaita, ja soitinäänet olivat riippuvaisia ennalta äänitetyistä nauhoista. (Reid 2002)



Kuvio 3. John Lennon soittamassa Mellotronia. (Lähde: equipboard.com)

Digitaalisten samplerien kehitys ratkaisi monia ongelmia. Vuonna 1967 Bruce Haack kehitti digitaalisen samplerin, jonka hän esitteli lasten televisio-ohjelmassa Mr. Rogers' Neighborhood. Tämä musikaalinen tietokone pystyi äänittämään, tallentamaan ja soittamaan ääniä kytkinten, valon ja ihmiskosketuksen avulla. (WQED Studios 1968.) Varhaista digitaalista samplaamista toteutettiin myös vuonna 1969 kehitetyllä EMS Musys digitaali-analogijärjestelmällä, jonka muistiin pystyttiin äänittämään sampleja 12 kilobitin verran (Edwards 2009, 18). Musyksessä rajoituksena oli säveltämisen kannalta se, että säveltäjän oli ohjelmoitava jokainen komento etukäteen ilman mahdollisuutta live-soittoon (Kirk & Hunt 1999, 24).

Samplaamisen kaupallinen läpimurto tapahtui 8-bittisen digitaalisen syntetisaattori-sampleri Fairlight CMI:n julkaisun myötä vuonna 1979 (Russ 2009, 29). Välihuomiona mainittakoon, että bitit ja tässä tapauksessa bittisyvyys vaikuttavat äänitteen dynamiikkasuhteeseen hiljaisten ja kovien äänten välillä. Mitä enemmän bittejä, sitä parempi on myös äänitteen signaali-kohinasuhde. Kahdeksan bittiä on siis suhteellisen pieni arvo ja vasta 1990-luvulla siirryttiin CD:n standardien mukaiseen 16-bittiseen resoluutioon tekniikoiden kehityttyä. (Russ 2009, 29)

Fairlight CMI hyödynsi aaltotaulukkotekniikkaa (wavetable). Aaltotaulukko kattaa vain äänen harmonisen spektrin toisin kuin pidempi soitinäänite, joka pitää sisällään sävelen voimakkuuden ja verhoikäyrän eli sen, miten äänen voimakkuus (amplitude) etenee ajassa. Tietokone toistaa aaltotalukoita nopeilla kierroksilla, jolloin syntyy jatkuva, mahdollisesti musiikillinen ääni. (Holmes 2016, 348-349) Samana vuonna kuin Fairlight CMI tuli markkinoille, julkaistiin myös 8-bittinen Ensoniq Mirage, joka oli ensimmäinen halvemman hintaluokan sampleri (Russ 2009, 29).



Kuvio 4 Fairlight CMI. (Lähde: nfsa.gov.au)

1980-luvulla ROMplerit ja hybridisyntetisaattorisamplerit valtasivat markkinat. Ne hyödynsivät lyhytkestoisia soitinäänisampleja digitaaliseen synteisiin yhdistettynä. Yksi tunnetuimpia oli Korg M1. (Computer Music 2015.) ROMplerit eroavat sampleereista siinä, että niillä ei voi äänittää tai editoida sampleja, mikä johtuu laitteessa käytettävästä muistityypistä, lukumuistista (Read Only Memory).

Rumpukoneita oli ollut olemassa jo pitkään ennen 80-lukua, mutta ensimmäinen kaupallinen rumpukone The Linn LM-1, joka käytti samplattuja rumpuäänitteitä analogisten äänitteiden sijaan, julkaistiin 1980-luvun alussa. The Linn LM-1:n säätömahdollisuudet olivat monipuoliset, ja uusien samplejen äänittäminen ja vaihtaminen sekä rumpusekvenssien teko oli sillä todella näppärää, mikä oli varmasti syy laitteen menestykseen. Rumpukoneen alkuperäisetkin samplet olivat erittäin suosittuja aikanaan, ja niitä käytetään edelleen monissa nykypäivän tuotannoissa. (Colbeck 2001.) Myös muita suurta suosiota niittäneitä rumpukoneita ilmestyi markkinoille, joista mainittakoon Oberheimin DMX, Rolandin TR-909 ja E-Mu Systemsin Drumulator. (Wilson 2016)

Akai S900 samplerimoduuli, joka julkaistiin vuonna 1986, avasi uusia mahdollisuuksia samplaamisen kentällä. Laitteella oli mahdollista toistaa ja manipuloida loopeja eli äänitepätkiä, joita voidaan asettaa jatkuvalla toistolla, sekä käsitellä yli 30 ääntä samanaikaisesti. Siitä tuli välitön menestys musiikintekijöiden ja etenkin hiphop-tuottajien keskuudessa. (Rolling Stone 2014.) MPC 60 oli myös yksi monista Akain menestyslaitteista. Se keräsi suosiota toistamiseen erityisesti hiphop piireissä. Laite yhdistää samplaamisen ja MIDI-sekvenssoinnin rumpukoneen käyttöliittymällä. MPC 60 syntyi Linn rumpukoneiden kehittäjän ja David Cockerellin (EMS:n työntekijän) työryhmän yhteistyöstä. (Batt 2003.)

Sampleritekniikan kehittyminen toi mukanaan myös uusia prosessointitekniikoita, kuten Crossfade Looping -tekniikan, joka estää äänitteitä loopatessa syntyviä häiriöääniä, ja äänitteiden pidentämiseen käytettävän Time Stretch -työkalun, jonka avulla äänitteiden kesto voidaan muuttaa vaihtamatta sävelkorkeutta.



Kuvio 5 MPC 60. (Lähde: upload.wikimedia.org)

1990-luvulla tietokoneiden kasvaneet prosessointitehot mahdollistivat monikanavaäänieditointiin kykenevien digitaalisten työasemien (DAW), kuten esimerkiksi Pro Toolsin, synnyn vuonna 1991 (Collins 2004, 9). Vuonna 1996 musiikkiohjelmistovalmistaja Steinberg julkaisi VST:n (Virtual Studio Technology), joka oli ensimmäinen liitännäisprotokolla audio-ohjelmille. Sen avulla oli mahdollista lisätä efektimoduuleja yrityksen omaan DAWiin Cubaseen. Vuonna 1999 julkaistiin versio 2.0, joka lisäsi ohjelmaan mahdollisuuden ohjata liitännäisiä MIDI:llä. Tämä avasi mahdollisuuden virtuaaliinstrumentti- ja softwaresampleriliitännäisille. (Future Music 2011) Vuosikymmenen loppupuolella ilmestyivät ensimmäiset MIDI-ohjattavat softwaresamplerit, joista yhtenä esimerkkinä on vuonna 1998 julkaistu Nemesysksen Gigasampler (Russ, 2009, 413.)

3.2 Softwaresamplerit ja Kontakt 5

Softwaresamplerit toimivat alustana virtuaali-instrumenteille, jotka ovat mallinnoksia mistä tahansa soittimesta tai soittimen kaltaisesta äänilähteestä. UVI Workstation, MachFive, IK Multimedia Sampltank ovat tällä hetkellä suosittuja softwaresampleriteita, mutta luultavimmin käytetyin on Native Instrumentsin Kontakt 5 (Rossitter 2017).

Kontakt 5 on monipuolinen työkalu virtuaali-instrumenttien tekemiseen, ja sen ensimmäinen versio julkaistiin jo vuonna 2002. Siinä on paljon hyödyllisiä sisäänkirjoitettuja ominaisuuksia, mm. DSP-efektit, moniulostulot, modulaatiotyökalut ja oma sample-editori. Kontakt 5:een on myös mahdollista kirjoittaa omia skriptejä ohjelman omalla KSP-kielillä, jolla voidaan ohjata ohjelman toimintaa monipuolisesti. Tämä ominaisuus on ensisijaisen tärkeä soitinmallinnusta tehtäessä.



Kuvio 6. Kontakt 5.

4 Virtuaalisoitinten tekoprosessi ja haasteet

Tässä luvussa käsittelen käytännön työvaiheita virtuaalisoitinten teossa ja pohdin siinä vastaantulevia haasteita. Monet esiteltävät työvaiheet ja työtavat ovat sellaisia, jotka havaitsin toimiviksi omaa virtuaali-instrumenttia tehdessäni ja osan ideoista sain muiden soitinvalmistajien kirjoituksista tai opetusvideoista. Tietoa hakiessani havaitsin, että

soitinvalmistajat eivät tietenkään paljasta monia työtapojaan ja kikkojaan, sillä ne ovat valttikortteja kaupallisen soitinmallinnuksen kentällä.

4.1 Valmistautuminen ja suunnittelu

Ensimmäinen haaste on mahdollisesti haasteista helpoin, mutta samalla myös merkittävin lopputuotteen kannalta. Se kiteytyy yhteen kysymyspariin: mitä lähdetään tekemään ja miksi? Samat kysymykset tulevat vastaan aina, olipa kyseessä sitten minkä alan projekti tahansa. Tässä tapauksessa tulee pohtia, mikä soitin aiotaan mallintaa ja mihin tarkoitukseen se tehdään: henkilökohtaiseksi työkaluksi, osaksi isompaa soitinkirjastoa, kaupalliseen levitykseen, vai tehdäänkö se vain harjoituksen vuoksi. Nämä ovat itsestään selviä peruskysymyksiä, joita ei kuitenkaan voi sivuuttaa huomiotta.

Tämän opinnäytetyön kannalta tärkein kysymys on virtuaalisoitimen suunnittelua koskeva miten-kysymys. Tämän kysymyksen myötä tulevat vastaan kaikki mahdolliset haasteet ja ongelmakohdat, jotka sample-pohjainen soitinmallinnus pitää sisällään. Tässä vaiheessa on hyvä analysoida mallinnettavan soittimen ominaisuuksia. Mitä instrumentin halutaan tekevän ja mitä artikulaatioita halutaan tallentaa sekä mitä vaatimuksia kyseisen instrumentin nyanssit asettavat soitinsuunnitteluun ja koodinkirjoittamiseen. Esimerkiksi puhallinsoittimet käyttäytyvät eri tavoin kuin vaikkapa kosketinsoittimet. Näiden soitinten äänentuottoperiaatteet ovat aivan erilaiset, joten niihin liittyvät haasteet ovat myös hyvin erilaiset. Ihmiskorva on tarkka ja ihminen on hyvä vertailemaan asioita keskenään, joten pienet vivahteet määrittelevät paljolti, kuulostaako virtuaalisoitin aidolta vai ei. Analysoinnin ja tavoitteiden asettamisen jälkeen on hyvä tehdä aika- ja kustannusarvio, etenkin jos kyseessä on kaupallinen projekti.

Sample-pohjaisia soittimia rakennettaessa on tärkeää saada erinomaiset soittajat ja tarpeen mukaan myös taitavat orkestroijat äänityksiin. Cinesamples-yhtiön soitinmallintajat korostavat haastattelussaan, että äänityksiin kannattaa palkata muusikkoja, jotka tuntevat samplaamisen perusperiaatteet. Sampletessa kerätään kokoelma soittosuorituksia, joiden on hyvä pysyä yhtenäisinä, tai muuten soittimesta saattaa tulla jopa käytökelvoton. Toisaalta jos soittosuoritukset ovat liian tasaisia, soitinkirjastosta saattaa tulla elottoman kuuloinen. (Zdravko 2014.) Virtuaalisoitimen äänittäminen on tasapainottelua tasaisen ja vivahteikkaan suorituksen tallentamisen välillä.

Äänitystekniikoiden ja -paikan päättäminen on myös erittäin tärkeää, koska se vaikuttaa todella paljon soitinkirjaston tekemiseen ja soittimen karaktääriin; tehdäänkö yhdellä vai usealla mikrofonilla taltioitu instrumentti ja äänitetäänkö se kuivassa vai soivassa tilassa. Elokuvamusiikkiin suunnattuja soitinkirjastoja tekevän yrityksen, Spitfiren, Christian Henson kertoo, että lähtiessään tekemään soitinkirjastoja he pyrkivät luomaan uudelleen kyseisen elokuvamusiikin äänitysympäristön ja korostavat miettivänsä kokonaisuutta yksittäisten äänitettävien äänten sijaan. (Zdravko 2012.) Varsinaisia käytännön äänitys- ja mikitystekniikoita ei käsitellä tässä opinnäytetyössä, sillä niitä on niin monia ja niin moniin eri tarkoituksiin, että aihe vaatisi oman opinnäytetyönsä.

4.2 Tavoitteet oman virtuaalisoitimen teossa

Lähdin tekemään omaa sample-pohjaista soitinta ensisijaisesti harjoituksen vuoksi, mutta myös sillä ajatuksella, että siitä tulisi jokseenkin käyttökelpoinen työkalu säveltämiseen. Pää tavoitteenani oman virtuaali-instrumenttini teossa oli luoda toimiva soitin, jonka sointi kuulostaisi aidolta ja jonka sävelet olisivat kromaattisesti yhteneväisiä. Halusin myös implementoida tietyt soittotekniikat soittimeen, kuten esimerkiksi legaton. Soitinta varten kirjoitettuja funktioita minun olisi mahdollista hyödyntää pohjana seuraavissa virtuaalisoitinprojekteissa.

Valitsin alustaksi Native Instrumentin Kontakt 5:n, koska siitä minulla oli eniten käyttökokemusta. Ohjeita virtuaalisoitinten tekoon löytyy pääosin internetin youtubesta ja keskustelufoorumeilta. Varsinaisia julkaistuja ohjekirjoja itse koodin kirjoittamiseen Kontakt 5:lle on tehty englanniksi ainoastaan muutama ohjelman omien oppaiden lisäksi. Ensiarvoisen tärkeä apu omaan projektiin löytyi Xtant-Audio-yrityksen sivuilta, jossa virtuaalisoitimia ammatikseen tekevä David Healey myy omien virtuaali-instrumenttiansa lisäksi opetusvideosarjaa, joka keskittyy koodin kirjoittamiseen Kontakt-ympäristössä.

Valitsin mallinnettavaksi soittimeksi sähkökitaran, koska sen äänittäminen ei vaadi välttämättä mikrofoniasettelua, vaan se on mahdollista suoraan linjasta, mikä vähentää projektin työvaiheita huomattavasti. Lisäksi verrattuna esimerkiksi trumpettiin, kitaran mallintamisessa on helpompaa se, että kitaran sävelet syttyvät ja sammuvat kielen näpäytyksestä eikä sävelen voimakkuus elä puhalluksen mukaan. Toki kitaran polyfonisuus, vire ja artikulaatiot tuovat omia haasteitaan, joita jouduin hieman oikomaan tässä projektissa.

4.3 Prototyypin luonti ja skriptaus

Jotta tulevat äänitykset ja virtuaalisoitimen käytettävyys olisi mahdollista suunnitella huolellisesti, on hyvä tehdä jonkinasteinen prototyyppi instrumentista. Tässä vaiheessa voidaan käyttää väliaikaisääniä, jotka voidaan transponoida samplaten kattamaan koko instrumentin soittoala. Prototyyppiä tehdessä olisi myös hyvä luoda tai teetättää tarvittavat skriptit, jotka ovat tärkeitä soittimen toimivuuden kannalta. Käyttöliittymän suunnittelu on niin ikään hyvä aloittaa varhaisessa vaiheessa, jotta mahdolliset funktiot eivät jäisi ohjelman ulkokuoren alle piiloon. Prototyyppiä on myös hyvä käyttää testaamaan osaa äänitysvaiheessa äänitetyistä sampleista, jos vaikkapa instrumentti ei soi niin luonnollisesti kuin olisi tarkoitus. Näin säästytään suuren äänitemäärän uudelleeneditoinnilta myöhemmässä vaiheessa. (Cooke & Huyskens 2015, 52.)



Kuvio 7. Oman projektini osalta koin hyödylliseksi tehdä GUI:n varsin pitkälle jo prototyyppi vaiheessa.

Kitaralla on mahdollista soittaa sama sävel usealta eri kieleltä, joten tapoja virtuaalikitara toteuttamiseen oli useita. Paras vaihtoehto olisi toki se, että virtuaalikitara osaisi lukea soittajan soittoa ja valita sopivimmat kielet soiton kannalta. Yhtenä vaihtoehtona soittimeen voisi ohjelmoida valintapaneelin, josta voisi valita, miltä kieliltä ensisijaisesti soitetaan, mutta live-soiton kannalta tämä saattaisi mennä liian vaikeaksi. Orange Tree Samples-yrityksen Greg Schlaepfer (2009) kirjoittaa blogikirjoituksessaan, että jonkinasteista automatiikka kielten valinnassa olisi tärkeä olla, sillä usean MIDI-ohjaimen hallinnassa on rajansa. Esimerkiksi sointuja soitettaessa voisivat avoimet kielet olla käytössä ja muutoin eivät.

Koska oma virtuaalisoitin on ensisijaisesti soolokitara, tein sopivat sävelvalinnat jo äänitysvaiheessa. Kitaristini suositteli minulle säveliä, joita hän itse käyttää eniten sooloissa ja jotka voisivat toimia tässä kontekstissa. Kävimme sävelet vielä läpi sillä perusteella, että ne olisivat kromaattisesti yhteneväisiä, mikä oli yksi tämän projektin päävoitteista.

Kontaktilla voidaan tehdä sample-pohjaisia soittimia myös ilman skriptaamista, mutta koodin kirjoittamisen avulla saavutetaan suuria hyötyjä. GUI-elementtien, kuten nappuloiden ja kytkimien asettelu, tehdään skriptaamalla. Myös soittimen toimintaan voidaan vaikuttaa melkein rajoittamattomasti luovalla koodin kirjoittamisella. Skriptaaminen vaikuttaa hyvin paljon soittimen autenttisuuteen, koska sillä voidaan saada soitin käyttäytymään niin kuin se oikeastikin käyttäytyisi kaikkine rajoituksineen ja karaktäreineen. Esimerkiksi Orange Tree Samplesin Jeff Schlaepfer kirjoitti CoreBass Cherry Slapped -peukkubassokitaraan, että soitin mallintaa peukalon ja etusormen paikkaa soiton aikana, jotta voidaan määritellä tarkasti, tuleeko sävel ”peukuttaa” (slap) vaiko ”popata” (Schlaepfer 2009). Oman projektini osalta tärkein skriptiltä vaadittava tehtävä oli puoli- ja kokosävelaskeleen legaton toteutus sekä käyttöliittymän alustaminen.

```

1  on init
2
3  (* PRAGMA - SAVE TO FILE ON COMPILE *)
4  | {#pragma save_compiled_source Stratocaster.txt}
5
6  make_perfview
7  set_script_title ("Stratocaster")
8  set_control_par_str($INST_WALLPAPER_ID, $CONTROL_PAR_PICTURE, "bg_guitar")
9  set_ui_height_px(244)
10 set_control_par($INST_ICON_ID, $CONTROL_PAR_HIDE, $HIDE_WHOLE_CONTROL)
11 message("")
12
13 set_key_pressed_support(1)
14
15 {*****}
16 * VARIABLES *
17 {*****}
18
19 declare $sekanuotti := 0
20 declare $svkanuotti := -1
21 declare $intervalli := 0
22 declare $sekanuotti_id
23 declare const $reps := 2
24 declare $rr := 0
25 declare $i := 0
26
27
28 {*****}
29 * ARRAYS *
30 {*****}
31
32 declare %intervalligrp_1 [2] := (4,5)
33 declare %intervalligrp_2 [2] := (6,7)
34 declare %releasegroup [2] := (8,9)
35 declare %sus_group [2] := (0,1)
36 declare %mute_group [2] := (2,3)
37
38
39 {*****}
40 * GUI *
41 {*****}
42
43 set_key_color(24, KEY_COLOR_RED)
44 set_key_color(26, KEY_COLOR_RED)
45
46 declare ui_switch $switch
47 set_control_par_str(get_ui_id($switch), $CONTROL_PAR_PICTURE, "Monobutton")
48 set_control_par(get_ui_id($switch), $CONTROL_PAR_WIDTH, 196)
49 set_control_par(get_ui_id($switch), $CONTROL_PAR_HEIGHT, 70)
50 move_control_px($switch, 50, 175)
51 set_control_par_str(get_ui_id($switch), $CONTROL_PAR_TEXT, "")

```

Kuvio 8 Esimerkkiote KSP-skriptistä.

Skripti koostuu neljästä pääosiosta, ”callbackista”, jotka ovat on init, on note, on release ja on control. On init -osioon alustetaan ohjelman muuttujat ja määritellään GUI:n asetukset sekä muut mahdolliset yleiset parametrit. On note -osioon kirjoitetaan, mitä

tapahtuu, kun sävel on painettu alas ja on release -osioon, mitä tapahtuu, kun soiva sävel tai alas painettu kosketin vapautetaan. On control -osioon puolestaan kirjataan, mitä tapahtuu, kun Kontakt vastaanottaa MIDI CC-dataa. (Liberg, n.d.)

Skriptiä voidaan kirjoittaa Kontaktin omassa editorissa, mutta paras tapa tällä hetkellä on käyttää Nils Libergin kehittämää KSP-liitännäistä Sublime 3 -koodieditorissa. Liitännäisen avulla on mahdollista kirjoittaa komentoja, joita ei voisi kirjoittaa suoraan Kontaktin omaan editoriin. Liitännäisohjelma kääntää koodin Kontaktille ymmärrettävään muotoon. Lisäksi koodi on huomattavasti helppolukuisempaa Sublimessa Kontaktin omaan editoriin verrattuna. (Healey 2014.)

4.3.1 Legato

Legato, eli sävelten sitominen toisiinsa, on yksi haastavimpia asioita virtuaalisoitinten tekemisessä. Eri soittimilla voidaan sitoa säveliä toisiinsa monilla tavoilla ja jokainen liuku kuulostaa erilaiselta eri intervallissa. Legaton voi toteuttaa sample-pohjaisiin soitimiin ainakin kahdella tavalla: joko niin, että legato toteutetaan täysin ohjelmoinnin pohjalta tai sitten se tuotetaan äänitteiden ja ohjelmoinnin avulla. Ensimmäisestä käytetään termiä scripted legato ja jälkimmäisestä true legato.

Scripted legatossa ohjelma toteuttaa kirjoitettujen komentojen perusteella peräkkäin soitettujen sustain-äänitteiden välille liu'un ensimmäisestä jälkimmäiseen. Tässä parametreina ovat usein liu'un nopeus sekä sävelkorkeuden ja voimakkuuden muutos liu'ussa. Soitinmallintaja David Healey kertoi ohjevideoissaan toteuttavansa legaton mieluummin täysin skriptaamalla, koska lopputuloksesta on mahdollista saada silläkin tavalla hyvin realistinen ilman, että tarvitsee äänittää lukematon määrä intervallisampleja. (Healey 2014.) Toki tämä vaatii erinomaisia koodinkirjoitustaitoja ja soittimen syvälistä ymmärrystä. Kontakt ympäristöön on myös saatavilla avoimen lähdekoodin legatoskriptejä. Edesmennyt ohjelmistoinsinööri Robert "Big Bob" Villwock kehitti täysin vapaaseen käyttöön erinomaiset Wind Instrument Performance Suite- ja Solo Instrument Performance Suite -paketit, jotka mallintavat useiden eri instrumenttien legato-ominaisuuksia.

Ainakin Kontakt- kehittäjien foorumikirjoitusten perusteella true legato toteutetaan useimmiten kahdella tavalla. Ensimmäisessä tavassa sustain-sävel häivytetään ristiin erikseen äänitettyyn liukuäänitteeseen, joka puolestaan yhdistetään saumattomasti

kohdeintervallin sustain-äänitteeseen. Toisessa toteutustavassa sustain-sävel häivyttään ristiin äänitteeseen, joka alkaa liu'ulla kohdeintervalliin mutta jää tämän jälkeen soimaan, eli siinä on jo itsessään sustain-ääni.

Ensimmäinen tapa on monipuolisempi, koska silloin kohdeintervallin sustain ei ole sidoksissa liukuääneen vaan niitä voidaan käsitellä erikseen. Lisäksi lisähaastetta tuottaa sopivan ristihäivytyksen valinta. Ristihäivyttämistä tehdään, jotta välttyään mahdollisilta häiriöääniltä eri äänitteitä yhdistäessä. Ristihäivyttämisen sijaan äänitteet voidaan myös yhdistää sopivissa zero crossing -pisteissä eli kohdissa, jossa ääniaallon voimakkuus (amplitude) leikkaa nolla-akselin. Tämä tapa ei välttämättä kuitenkaan aina onnistu.

Äänitteiden yhdistäminen toteutetaan ohjelmoinnilla, jossa tulee määritellä, että ohjelma osaa valita soimaan oikeat äänitteet oikeaan tilanteeseen eli osaa valita esimerkiksi oikean intervalliliu'un. Polyfoninen true legato on myös mahdollinen, mutta todella haastava toteuttaa, koska siinä tulee määritellä, millä perusteella intervalliliu'ut tapahtuvat useiden soivien sävelten välillä. Sitä en käsittele tässä opinnäytetyössä tämän tarkemmin.

Omaan soittimeeni päätin toteuttaa vain puolisävel- ja kokosävelaskeleen legaton. Tähän valitsin työtavaksi true legato -tekniikan, sillä koin sen tässä yhteydessä yksinkertaisemmaksi ja toimivaksi. Kitarassa legato tapahtuu, kun sävel soitetaan toisen perään ilman kielen näpäyttämistä uudelleen ja painetaan sormella voimakkaasti kieltä otelautaa vasten (hammer-on), tai sitten vetämällä sormi pois otelaudasta nopeasti (pull-off). Soittimessani nämä legatot voidaan soittaa myös polyfonisella-asetuksella, jolloin kaikki muut sävelet soivat polyfonisesti lukuun ottamatta puoli- ja kokosävelaskeleen intervaleja, mikä vaatii koodissa tilanteen edellyttämien ehtojen määrittelyä.

4.3.2 Round-robin

Melkeinpä millä tahansa soittimella peräkkäin soitetut sävelet kuulostavat aina hieman erilaisilta, ja säveliä voidaan soittaa myös eri voimakkuuksilla. Tästä syystä yksittäisiä säveliä tulee äänittää eri voimakkuuksilla ja muutamalla eri variaatiolla. Toki äänitteiden voimakkuutta voi säätää jälkikäteen, mutta silloin tulisi myös mallintaa äänensävyyn muutos eri voimakkuuksilla – hiljainen kitarankielen näpätys kuulostaa hyvin erilaiselta

voimakkaasti näpäytettyyn verrattuna, vaikka äänentaso asetettaisiin jälkikäteen identtiseksi.

Soitinmallinnuksessa samojen sävelten variaatiosta käytetään yleensä termiä round-robin, joka tarkoittaa sävelvariaatioiden kiertämistä. Round-robinin lukumäärä kuvaa variaatioiden määrää. Kontaktin Group Editorissa voidaan määritellä round-robin ryhmät, joiden välillä Kontakt soittaa säveliä joko järjestyksessä tai satunnaisesti. Round-robinia pystytään myös mallintamaan skriptaamalla ilman erillisiä round-robin äänitteitä. Tällöin koodissa tulee määritellä peräkkäiset sävelet soimaan hieman eri vireellä ja eri sävyllä toisiinsa nähden.

4.3.3 Artikulaatioiden käyttöönotto

Usein soitinmallinnuksessa jäljennetään soittimen ilmaisukirjoa mahdollisimman laajasti, mikä tuo virtuaali-instrumentin toteutukseen lukuisia haasteita, sillä useilla soittimilla voidaan soittaa monin eri tavoin ja artikulaatioin. Haaste ei ole niinkään erilaisten soitotekniikoiden äänittämisessä, vaan niiden implementoinnissa ohjelmaan siten, että ne olisivat samalla helppokäyttöisiä. Kolmena päätapana artikulaatioiden implementoinnissa voidaan pitää keyswitchien, velocityn ja MIDI Control Changen (CC) käyttöä.

Keyswitch-tekniikalla eri artikulaatioiden valinta tapahtuu painamalla ennalta määrättyjä koskettimia, jotka ovat usein soittimen soittoalueen ulkopuolelta, esimerkiksi koskettimilla C0-B0. Tekniikka on yleinen, mutta livesoiton kannalta välillä haastava, varsinkin jos artikulaatioita on useita ja keyswitchien sijainti ei ole selkeästi näkyvissä GUI:ssa. Kontaktin virtuaalikoskettimistoon keyswitchit merkitään eri väreillä, mikä helpottaa niiden käyttämistä. Kuitenkin verrattuna siihen, että eri artikulaatiot jouduttaisiin valitsemaan eri MIDI-kanavilla olevista instrumentin instansseista, ovat keyswitchit paljon kätevämpi tapa. (Pejrolo & Derosa 2017, 137.)

Artikulaatioita voidaan jakaa myös eri velocity-arvoille. Tämän tekniikan etuna on se, että toista soittokäyttä ei tarvitse käyttää artikulaatioiden valintaan. MIDI-koskettimistojen koskettimet lähettävät velocity-arvoja sen mukaan, kuinka voimakkaasti niitä painetaan. Tästä syystä artikulaatioiden valinta voi olla vaikeaa, koska ei ole kovin helppoa soittaa juuri oikealla paineella valitakseen haluamansa artikulaation. MIDI-koskettimistojen koskettimien herkkyyks voi myös tehdä velocity-ohjattujen artikulaatioiden käyttämisestä vaikeata. Lisäksi velocity-arvojen ollessa varattuna artikulaatioille, sävelten voimakkuus

on täytynyt kytkeä johonkin toiseen ohjaustapaan, esimerkiksi MIDI-koskettimiston modulaattorullaan.

Soittimen ilmaisutekniikoita voidaan yhdistää myös MIDI CC-arvoihin, jolloin esimerkiksi vibratoa voidaan käyttää modulaattorullalla. Osa artikulaatioista kuten nimenomainen vibrato ja muun muassa bendaus voidaan toteuttaa joko ohjelmaan sisäänkirjoitetuilla ominaisuuksilla, skriptaamalla tai samplaamalla, tai kahden jälkimmäisen yhdistelmällä, jolla usein saavutetaan aidoimmat tulokset.

Omaan projektiini halusin sustain-artikulaatiot sekä aiemmin mainitun legaton ja mute-artikulaatiot. Soittoasetus sustainin ja muten välillä valitaan keyswitchillä, jotka määritelin skriptissä, vaikka se voidaan toteuttaa myös ilman skriptaamista. Usein, kun pääosa ohjelman ominaisuuksista on kirjoitettu koodiin, on viisasta kirjoittaa loputkin sinne, sillä silloin virheidenkorjausmahdollisuudet ovat paremmat. Tässä tapauksessa yksinkertaisuuden vuoksi käytin Kontaktiin sisäänrakennettua LFO-moduulia ohjaamaan vibratoa, joka kytkeytyy modulaattorulla liikuttamalla, sekä ohjasin pitch bend -rullan säätämään soittimen virettä ilman sen kummempia säätöjä.

4.3.4 Releaseäänitteet

Releaseäänitteet ovat tärkeä tekijä virtuaalisoittimen autenttisuudessa. Joka kerta, kun vaikkapa kitaran kielen sointi sammutetaan, siitä kuuluu ääni. Releaseäänitteet tulevat myös laittaa omaan ryhmäänsä ja aktivoida ne koodin on release -osiossa. Itse toteutin release-äänitteet omassa soittimessani äänittämällä jokaisen sävelen sammutuksen ja leikkaamalla niistä lopukkeet releaseäänitteiksi. Tässä piti vain ottaa huomioon se, että releaseäänitteet soivat sitä hiljempaa, mitä kauemmin sävel on soinut.

4.4 Äänitys ja editointi

Tiedostonimeäminen on erittäin tärkeää, koska se helpottaa samplejen asettelua ja järjestelyä jälkeenpäin huomattavasti. Isoissa projekteissa samplejen määrä saattaa liikkua tuhansissa, joten epämääräisesti nimetyt tiedostot voivat hidastaa työskentelyä merkittävästi.

Äänitysten aikana on tärkeä seurata, että soittimen vire pysyy puhtaana, koska se keventää huomattavasti jälkieditoinnin työmäärää. Lisäksi on hyvä pitää taukoja, jotta kuuntelun erottelukyky ei kärsisi (Zdravko 2014). Oman projektini osalta äänityksiin varattu aika oli rajallinen, joten analyyttiseen kuunteluun ei ollut riittävästi aikaa, jonka

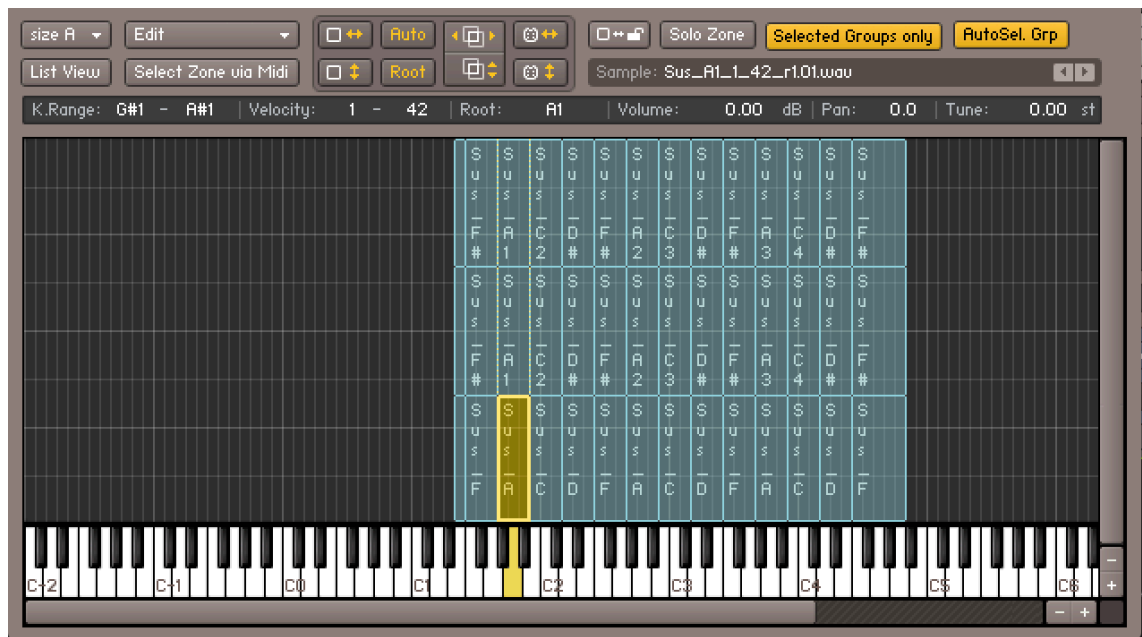
vuoksi tallenteiden voimakkuudet heittelevät ja osaan äänitteistä oli päässyt pieniä häiriöääniä.

Samplejen käsittelyssä on järkevää käyttää sellaisia äänen editointiohjelmia, joilla voidaan toteuttaa suuren äänitejoukon editointia yhtäaikaaisesti. Adobe Auditionissa on mahdollista tallentaa haluttu efektointi- ja toimintamalli talteen ja sitten ajaa se batch processing -tekniikalla valitsemalleen äänitejoukolle. Toki identtiset asetukset eivät usein toimi kaikille äänitteille, jos vaikkapa toiseen äänitteeseen on tullut jokin häiriöääni ja toiseen ei.

Äänitteet kannattaa siistiä ja asetella samoihin tasoihin. Ekvalisoinnilla voidaan poistaa muun muassa turhat matalat ja muut häiritsevät taajuudet. Jos äänitteille on tallentunut ilmastointilaitteen hurinaa ym. mahdollinen kohinanpoisto on paikallaan. Omaan virtuaali-instrumenttiini hyödynsin Izotope RX-sarjan kohinanpoistoliitännäisiä ja äänenkorjaustyökaluja spektrinäkymässä.

4.5 Samplejen asettelu ja soittimen viimeistely

Kontakt 5:ssä samplejen asettelu tehdään älykkäässä Mapping Editorissa. Siinä voidaan myös virittää ja voimistaa äänitteitä tarpeen mukaan, sekä levittää yksittäisiä säveliä kattamaan halutun kokoinen soittoala. Mapping Editor osaa automaattisesti asettaa samplet oikeille sävelkorkeuksille sisäänrakennetun komennon avulla. Tämä edellyttää, että tiedostot on nimetty tietyllä tavalla, jossa samplen ominaisuudet on eroteltu alaviivoin. Käyttäjä voi itse määritellä, millä tavoin ohjelma lukee tiedostonimiä ohjelman parametrien puitteissa. Esimerkiksi sustain-sävelen voisi nimetä "Sus_E1_1_127.wav", jossa E1 kertoisi sävelen korkeuden ja 1_127 valitun velocity-alueen. (Healey 2014.)



Kuvio 9 Kontakt 5:n Mapping Editor.

Sampleja on myös erittäin tärkeää jakaa eri ryhmiin samplejen ominaisuuksien perusteella, jotta niihin voidaan kohdistaa haluttuja funktioita. Esimerkiksi legatosiirtymien äänitteiden kannattaa olla omissa ryhmissään ja eri artikulaatioiden omissa ryhmissään, jolloin niihin voidaan viitata koodissa. (Healey 2014.) Ryhmät tehdään Group Editorissa, ja Mapping Editorin List View:ssä ääniteitä voidaan liikuttaa ryhmistä toiseen tarpeen mukaan.

Wave Editorissa säädetään samplejen alkamis- ja loppumisaikoja. Jos äänitteet syttyvät samaan aikaan, voidaan valitun äänitteen alkamismerkki kopioida kaikille muillekin äänitteille. Aloituspisteen valinta on kuitenkin haastavaa, sillä soitin saattaa olla hitaasti syttyvä, tai päästää ääntä jo ennen sävelen soimista. Lisäksi soittimen alukkeeseen säätäminen vaikuttaa hyvin paljon sen soitettavuuteen. Soittimen responsiivisuuteen voidaan vaikuttaa myös muun muassa siten, että jos kyseessä on hitaasti syttyvä soitin, voidaan Kontaktissa säätää samplen "offset" eli viiveen kompensatio tilanteeseen sopivaksi. (Cooke & Huyskens 2015, 51) Soittimen soinnin kannalta on tärkeää säätää myös Kontaktin modulaatio-osiossa äänenvoimakkuuden verhokäyrä soittimen karakterille sopivaksi. Verhokäyrä sisältää siis tiedon äänen voimakkuuden ajallisesta muuttumisesta.

Häiriöäänien, kuten naksahdusten poistamiseen, voidaan käyttää Kontaktin Wave Editoria. Sillä voidaan tehdä sisään- tai uloshäivytyksiä sampleille, tai valita äänitteiden aloituskohdat zero crossingiin, jolloin vältetään mahdollisilta häiriöääniltä. Vaihtoehtoi-

sesti äänitteille voidaan tehdä sisäänhäilytystä Kontaktin attack-parametrin avulla, joka toki vaikuttaa soittimen verhokäyrään. Sisäänhäilytys voidaan toteuttaa myös skriptissä.

Ilmaisurikkaita virtuaali-instrumentteja tehdessä äänitteitä tulee usein valtavia määriä, jolloin instrumentista tulee raskas ladata. Tällöin on tärkeä optimoida soittimen muistinkäsittely toimimaan mahdollisimman tehokkaasti. Jos olisin esimerkiksi äänittänyt omaan kitarakirjastooni myös talla- ja kaulamikrofonit välimikrofonin lisäksi, olisi järkevää, että käyttäjän valitessa haluamansa mikrofonityypin, edellinen valinta latautuisi pois käyttömuistista. Lisäksi monimutkaiset skriptit ja raskaat efektiliitännäiset voivat hidastaa soittimen latautumista huomattavasti, joten on järkevää analysoida ja tehdä kompromisseja sen suhteen, mitä ominaisuuksia soitin oikeastaan tarvitsee.

Lopuksi kannattaa kompressoida kaikki äänitteet Kontaktin omaan NCW audio formaattiin ja samaan paikkaan. Lisäksi Kontaktin Resource Folder, joka sisältää kaikki kuvat ym. kannattaa rakentaa uudestaan, jotta vältetään mahdollisilta virhetilanteilta. Omat skriptit on mahdollista salata, jos kyseessä on vaikkapa kaupalliseen levitykseen suunnattu kirjasto. (Healey 2014.)

4.6 Kehitysmahdollisuudet

Soittimen valmistuttua on hyvä analysoida, mitä voisi seuraavassa versiossa tai seuraavassa projektissa tehdä paremmin. Onko äänitystekniikoissa, äänitystilassa, skriptissä tai vaikkapa GUI:ssa paranneltavaa? Voisiko soittimeen lisätä joitakin sen käytettyä parantavia ominaisuuksia?

Oman virtuaalisoittimeni rakentamisesta opin, että tuleviin äänityskertoihin tulee varata enemmän aikaa, jotta äänitteitä ehtii paremmin tarkastella jo äänitystilanteessa. Työtunteja tulee huomattavasti lisää, jos osa äänitteistä ei sovikaan muiden kanssa yhteen. Lisäksi soittoteknisiä asioita tulee myös miettiä tarkemmin, esimerkiksi millä tavoin plektran soittosuunta huomioidaan soitinta tehdessä. Skriptiä voisi parannella siten, että kitaran sointiin saisi enemmän vaihtelua ja ”eloa”, sillä kitarani ei kuulosta aivan niin aidolta kuin olin suunnitellut.

Kitarakirjastoon olisi myös hyvä implementoida strum- tai riffi-työkalu, jolla voitaisiin soittaa sointuja ja riffejä. Tällöin olisi tärkeää, että virtuaali-instrumentti tunnistaisi MIDI-koskettimistolla soitetut soinnut ja soinnuttaisi sen oikean kitaran soittoa jäljitellen. Esi-

merkiksi virtuaalisoinvalmistaja Orange Tree Samplesin ja Acousticsamplesin kitaroilla on erittäin monipuoliset sisäänrakennetut strum- ja sointutyökalut, joilla käyttäjä pystyy tekemään riffejä tarkoitukseen tehdyissä editoreissa. Lisäksi kyseisten valmistajien kitaroita on myös mahdollista soittaa MIDI-kitaralla. Soittimen sisäiset efektointimahdollisuudet olisivat myös hyödyllinen lisä, koska silloin muita liitännäisiä ei välttämättä tarvittaisi virtuaalisoininstanssin lisäksi. Näistä esimerkkinä muun muassa mahdollisten kitaravahvistin- tai efektipedaalimallinnusten implementointi itse soittimeen. Lisäominaisuuksien tekoon tarvitsisin luultavasti ulkopuolista apua, mikä tietenkin maksaa. Suurilla resursseilla olisi mahdollista toteuttaa hyvinkin kattavia virtuaali-instrumentteja.



Kuvio 10 Orange Tree Samplesin Strum Editor Evolution Rock Standard -kitarassa.



Kuvio 11 Acousticsamplesin Strategy-kitaran Song Builder-osio.

5 Soitinmallinnuksen tulevaisuus

Soitinmallinnusta on mahdollista tehdä monilla tavoilla, vaikka tässä opinnäytetyössä keskityttiinkin lähinnä samplejen avulla tehtävään mallinnukseen. Äänisynteesin tutkija ja professori Julius Smith Stanfordin yliopistosta on jakanut äänen mallinnustavat, tai toisin sanoen äänisynteesimenetelmät, neljään pääluokkaan: abstraktit algoritmit (esimerkiksi FM-synteesi), äänitteiden muokkaaminen, spektrimallit (mm. additiivinen synteesi) ja soitinmallit, jossa soitinten äänentuottoperiaatetta matkitaan tietokoneohjelman avulla. (Eerola ym. 2005, 328.) Viimeksi mainittu ala on kehittynyt huomattavasti viime vuosina.

Markkinoille on tullut uusia täysin syntetisoituja virtuaalisoitimia, jotka eivät sisällä mitään äänitettyä, mutta kuitenkin kuulostavat hyvin autenttisilta. Tietokonemallinnettujen soitinten etuna on se, että ne on mahdollista saada ilmaisurikkaammiksi kuin sample-pohjaiset. Tämä johtuu siitä, että ne eivät ole riippuvaisia rajatuista äänitteistä vaan kaikki soittimen nyanssit on kirjoitettu ohjelmaan sisään. Tällöin soittokokemus paranee, koska soitin on ”eläväisempi” ja reagoivampi. Ohjelmointiin perustuvassa mallinnuksessa pystytään myös toteuttamaan asioita, jotka olisivat hankalia toteuttaa akustisesti, esimerkiksi sellolle voidaan mallintaa pianon kaikupohja. Lisäksi mahdolliset latausajat ovat lyhyemmät äänitepohjaisiin verrattuna. (Applied Acoustics Systems n.d.)

On olemassa myös hybridivirtuaalisoitimia, jotka sisältävät vain lyhyitä soitinäänitteitä, joita on sitten jatkettu hyvinkin pitkälle tietokonemallinnuksella. Tästä hyvänä esimerkkinä toimii Sample Modelingin vaskipuhallinkirjastot, jotka ovat tiedostokooltaan hyvin vaatimattomia, mutta silti ominaisuuksiltaan monipuolisia. Uusimmissa versioissa on muun muassa mahdollista voimistaa haluamiaan soittimien osääneksiä, jolloin saadaan aikaan joko kirkkaampi tai tummempi sointi ilman ekvalisointia. Tietokonemallinnuksen kehitys määrittelee varmasti virtuaalisoitinrakennuksen tulevaisuutta, mutta näillä näkymin samplejen käyttö ei ole vielä kuitenkaan jäämässä historiaan.

Tulevaisuuden tekniikat voivat olla myös aivan jotain muuta, kuin tällä hetkellä olemassa olevat tekniikat ovat. Toki on mahdollista, että uusia innovaatioita eri aloilta opitaan hyödyntämään myös virtuaalisoitinrakennuksen saralla. Vuonna 2014 MIT:n, Microsoftin ja Adoben tutkijat kehittivät algoritmin, jolla mykästä videokuvasta saatiin tunnistettava ääni kuuluviin analysoimalla videolla näkyvien minimaalisten ääniaaltojen liikettä.

(Hardesty 2014) Tätä tai vastaavanlaisia tekniikoita voidaan hyvinkin pystyä tulevaisuudessa hyödyntämään myös virtuaalisoinninnuksessa.

6 Lopuksi

Autenttinen ja toimiva virtuaalisoinnin rakentuu huolellisesti ja monipuolisesti toteutettujen äänitysten, ohjelmoinnin ja ulkoasusuunnittelun varaan. Niin itsestään selvää kuin se onkin, työhön ja jatkokehittelyyn käytetty aika ja resurssien määrä vaikuttavat erityisen paljon lopputulokseen. Virtuaalisoinnin teko on tarkkuutta vaativaa työtä, sillä pienetkin huolimattomuudet saattavat tuoda työtunteja lisää monin verroin ja jopa tehdä soittimesta melkein käyttökelvottoman. Mitä soittimen autenttisuuteen tulee, ihmiskorvaa ei pidä aliarvioida – pienetkin soittimen soinnin nyanssit ja sävyt määrittelevät paljolti sen, kuulostaako soitin todenmukaiselta vai ei.

Virtuaalisoinnin tekemisessä on samankaltaisia työvaiheita ja haasteita kuin fyysisen soittimen rakentamisessakin. Tekijän on hallittava hyvin sekä työvälineiden että materiaalien käyttö. Erityisen tärkeää on lisäksi tietämys ja ymmärrys virtualisoitavan soittimen toiminnasta ja sen käyttötavoista. Tässä projektissa oma virtuaali-instrumenttini rakentui ja muovautui paljolti kokeilun ja erehdyksen kautta. Lopputuloksesta tuli kuitenkin ihan toimiva, vaikka kehitysmahdollisuuksia olisi vielä paljon. Tässä projektissa sekä käytetty aika että resurssit olivat hyvin rajalliset verrattuna soitinvalmistajayritysten kaupallisiin tarkoituksiin tehtyihin virtuaalisoinnisiin, mikä oli varmasti merkittävin tekijä siinä, että soittimeni sointi ei ollut aivan autenttisen kuuloinen. Monet alan yritykset valmistelevat soittimiaan jopa useita vuosia, jolloin äänitteitä kertyy jopa kymmeniä tuhansia.

Nykypäivänä on mahdollista toteuttaa korkeatasoisia ja laadukkaita äänityksiä suhteellisen helposti ja edullisesti. Myös taitavia soittajia löytyy paljon. Suurimmat erot virtuaalisoinnin välillä perustuvat eniten luovaan ohjelmointiin, jolla äänitteisiin saadaan luotua eloa ja aitoutta ja jolla niiden reaktiivisuutta voidaan parantaa huomattavasti. Pelkkä suuri kirjo äänitteitä ei suoraan takaa toimivaa virtuaalisointia. Lisäksi soitinten ohjaaminen, käytettävyys ja käyttöliittymä ovat tärkeitä osasia, kun muovataan tehokasta työkalua säveltämiseen.

Kontakt 5 on alustana monipuolinen mutta ei ainoa laatuaan. Tässä opinnäytetyössä käsitellyt sample-pohjaisen soitinmallituksen periaatteet pätevät pitkälti kaikkiin softwa-resamlereihin. Erot löytyvät lähinnä alustojen erilaisista ulkoasuista ja toteutuksista. Artikulaatioiden, round-robinien ja soittimen dynamiikka-alueen toteuttaminen on ehdottoman tärkeä osa soitinten mallintamista, oli alusta mikä tahansa. Kontakt 5:n asema markkinoilla, ohjelman vakaus ja jatkuva päivittyminen, sekä sille tehtävien kirjastojen lukumäärä ovat syitä, joiden takia Kontakt 5 onkin erottamaton osa nykysäveltäjien arsenaalia – samoin kuin Pro Tools on ollut äänitysstudioiden pääasiallinen digitaalisen äänen työasema. Nämä ovat myös syitä, jonka takia itse perehdyin Kontakt 5:een ja valitsen sen alustaksi omalle soittimelleni ja aiheeksi tähän opinnäytetyöhön.

Virtuaalisoitinmallinnus on ottanut suuria harppauksia viime vuosina, mutta en usko, että virtuaali-instrumentit tulevat koskaan korvaamaan aitoja akustisia soittimia. Virtuaalisoittimille on kuitenkin paikkansa, ja välillä jopa ”muovinen” saundi voikin olla se toivottu sävy, jota musiikkikappale kaipaa – ainakin jos Spotifyn maailman musiikin top-listoja on uskominen.

Lähteet

Applied Acoustics Systems. Physical Modeling. Yrityksen perustajan, Marc-Pierre Ver-
gen haastattelu. <<https://www.applied-acoustics.com/techtalk/physicalmodeling/>> (Lu-
ettu 20.1.2018)

Batt, Nick 2003. In-depth Feature: Industry Interview -Roger Linn. Haastattelu. Luetta-
vissa osoitteessa <<http://www.sonicstate.com/articles/article.cfm?page=3&id=71>> (Lu-
ettu 20.1.2018)

Colbeck, Julian 2001. Linn Electronics LinnDrum. Electronic Musicianin verkkoartikkeli.
Luettavissa osoitteessa <<https://www.emusician.com/gear/linn-electronics-linndrum>>
(Luettu 12.1.2018)

Collins, Mike 2004. Pro Tools for Music Production: Recording, Editing and Mixing.
New York: Focal Press.

Computer Music 2015. The 16 best software samplers in the world today. Music Rada-
rin verkkoartikkeli. Luettavissa osoitteessa:
<<https://www.musicradar.com/news/tech/blast-from-the-past-korg-m1-630789>> (Luettu
5.1.2018)

Cooke, Emmett; Huyskens, Marcus 2015. The Sampling Handbook. Analogue Press.

Djordjevic, Zdravko 2014. Cinesamples Interview. Soitinvalmistaja Cinesamplesin
haastattelu. Luettavissa osoitteessa: <[https://theaudiospotlight.com/cinesamples-
interview/](https://theaudiospotlight.com/cinesamples-interview/)> (Luettu: 14.1.2018)

Djordjevic, Zdravko 2012. Spitfire Audio Interview. Soitinvalmistaja Spitfire Audion
haastattelu. Luettavissa osoitteessa: <[https://theaudiospotlight.com/spitfire-audio-
interview/](https://theaudiospotlight.com/spitfire-audio-interview/)> (Luettu 10.1.2018)

Douglas, Alan 1957. The electrical production of music. New York: Philosophical Li-
brary.

Edwards, Chris 2009. Engineering & Technology. Teoksen osa: 4; Lehden numero: 18,
October-November 2009)

Eerola, Tuomas; Louhivuori, Jukka; Moisala, Pirkko 2005. Johdatus musiikintutkimuk-
seen. Vaasa: Suomen Musiikkitieteellinen Seura.

Fletcher, Neville; Rossing, Thomas 1998. The Physics of Musical Instruments. New
York: Springer.

Future Music 2011. A brief history of Steinberg Cubase. Verkko-artikkeli. Luettavissa
osoitteessa<[https://www.musicradar.com/tuition/tech/a-brief-history-of-steinberg-
cubase-406132](https://www.musicradar.com/tuition/tech/a-brief-history-of-steinberg-cubase-406132)> (Luettu 15.3.2018)

Hardesty, Larry 2014. Extracting audio from visual information. MIT Newsin uutisartik-
keli. Luettavissa osoitteesta <[http://news.mit.edu/2014/algorithm-recovers-speech-
from-vibrations-0804](http://news.mit.edu/2014/algorithm-recovers-speech-from-vibrations-0804)>

Healey, David 2014. Mastering Kontakt Scripting. Videotutoriaalisarja. Ostettavissa osoitteesta <<http://xtant-audio.com/product-category/tutorials/>> (Katsottu 10.1.2018)

Howell, Steve 2005. The Lost Art Of Sampling: Part 1. Sound On Sound -lehden verkkoartikkeli. Luettavissa osoitteesta <<https://www.soundonsound.com/techniques/lost-art-sampling-part-1>> (Luettu 1.2.2018)

Holmes, Thom 2016. Electronic and Experimental Music: Technology, Music, and Culture. New York: Routledge.

Kirk, Ross; Hunt, Andy 1999. Digital Sound Processing for Music and Multimedia. London: Focal Press.

Laaksonen, Jukka. Äänityön Kivijalka 2013. Helsinki: Idemco Oy.

Liberg, Nils. Script Tutorial. Nils Libergin KONTAKT 5 Skripti-tutoriaali Luettavissa osoitteesta <<http://nilsliberg.se/ksp/scripts/tutorial/#ui>> (Luettu 15.1.2018)

Mister Rogers' Neighborhood, jakso 68. 1968. National Educational Television. WQED Studios. 22.5.1968

Pejrolo, Andrea; Derosa, Richard 2017. Acoustic and MIDI Orchestration for the Contemporary Composer. New York: Routledge Taylor & Francis Group

Reid, Gordon 2002. Sound On Sound -lehden verkkoartikkeli. Luettavissa osoitteesta <<https://www.soundonsound.com/reviews/mellotron-mkvi>> (Luettu 1.2.2018)

Rolling Stone 2014. 24 Inventions That Changed Music. Verkko-artikkeli. Luettavissa osoitteessa: <https://www.rollingstone.com/music/pictures/24-inventions-that-changed-music-20140317/akai-s900-sampler-1986-0903215> (Luettu 20.2.2018)

Rossitter, Joe 2017. The 16 best software samplers in the world today. Music Radarin verkkoartikkeli. Luettavissa osoitteessa: <<http://www.musicradar.com/tuition/tech/the-16-best-software-samplers-in-the-world-today-361804>> (Luettu 20.2.2018)

Russ, Martin 2009. Sound Synthesis and Sampling. Oxford: Focal Press.

Schlaepfer, Greg 2009. Physically Modeling The Player. Virtuaalisoinvalmistajan blogikirjoitus 2.12.2009. Luettavissa osoitteesta: <<https://www.orangetreesamples.com/blog/physically-modeling-the-player>> (Luettu: 1.2.2018)

Wilson, Scott 2016. The 14 drum machines that shaped modern music. Verkkoartikkeli. Luettavissa osoitteessa: <<http://www.factmag.com/2016/09/22/the-14-drum-machines-that-shaped-modern-music/>> (Luettu 12.2.2018)

Kuviot

Kuvio 1. Spektogrammi

<<https://en.wikipedia.org/wiki/Spectrogram#/media/File:Spectrogram-19thC.png>>

Kuvio 2. PAZ Frequency analysaattori, kuvakaappaus ohjelmasta

Kuvio 3. John Lennon soittamassa mellotronia <<http://equipboard.com/pros/john-lennon/mellotron-mkii>>

Kuvio 4. Fairlight CMI <<https://www.nfsa.gov.au/latest/fairlight-instrument-invented-sampling>>

Kuvio 5. MPC 60

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2d/Akai_MPC60.jpg>

Kuvio 6. Kontakt 5, kuvakaappaus ohjelmasta

Kuvio 7. Oman projektini osalta koin hyödylliseksi tehdä GUI:n varsin pitkälle jo prototyyppi vaiheessa, kuvakaappaus oman instrumenttini GUI:sta

Kuvio 8. Kuvio 12 Esimerkkiote KSP-skriptistä, kuvakaappaus Sublime 3 -ohjelmasta

Kuvio 9. Kontakt 5:n Mapping Editor, kuvakaappaus ohjelmasta

Kuvio 10. Orangetreesamplesin Strum Editor Evolution Rock Standard kitarassa, kuvakaappaus ohjelmasta

Kuvio 11. Acousticsamplesin Strategy kitaran Song Builder osio, kuvakaappaus ohjelmasta