



Delay-efektiiitännäisen ohjelmointi Juce-viitekehyksellä

Juuso Melentjeff

OPINNÄYTETYÖ
Marraskuu 2022

Tietojenkäsittelyn tutkinto-ohjelma
Ohjelmistotuotanto

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tietojenkäsittelyn tutkinto-ohjelma
Ohjelmistotuotanto

MELENTJEFF, JUUSO

Delay-efektiliitännäisen ohjelmointi Juce-viitekehityksellä

Opinnäytetyö 36 sivua, joista liitteitä 1 sivua
Marraskuu 2022

Opinnäytetyön aiheena oli digitaalisen delay-efektiliitännäisen ohjelmoiminen avoimen lähdekoodin viitekehityksen Jucen avulla. Opinnäytetyössä tutustuttiin myös yleisemmin musiikintuotannon historiaan digitaalisen äänen ja digitaalisten ääniefektien näkökulmasta.

Työn teoriaosuudessa tarkasteltiin musiikintuotannon kehittymistä elektronisten musiikkilaitteiden ja digitaalisten laitteiden ja ohjelmistojen kehittymisen myötä. Työssä pohdittiin, kuinka musiikki muuttui yleisellä tasolla erilaisten uusien elektronisten keksintöjen myötä 1800-luvun lopulta lähtien ja eritoten, miten tietokoneiden kehittyminen muutti musiikintuotannon suuntaa lopullisesti. Tämän jälkeen käsitellään, miten ääni toimii ja tutustutaan analogisen ja digitaalisen äänen eroihin ja siihen, miten analoginen äänisignaali voidaan kääntää digitaaliseen muotoon. Teoriaosuuden lopuksi tutustutaan tarkemmin ääniefekteihin, erityisesti viive- ja kaikuefektiin.

Opinnäytetyön osana toteutettiin yksinkertainen delay-efektiliitännäinen, jonka tarkoituksena on havainnollistaa teoriaosuutta ja nykyaikaisen digitaalisen delay-efektin ohjelmoimista käytännön tasolla. Video delay-efektin toiminnasta löytyy tämän opinnäytetyön liitteistä.

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Business Information Systems
Software Development

MELENTJEFF, JUUSO
Programming a Delay Effect with Juce Framework

Bachelor's thesis 36 pages, appendices 1 pages
November 2022

The topic of the thesis was the programming of a digital delay effect plugin using the open-source framework Juce. The thesis also examines the history of music production more generally from the perspective of digital sound and digital sound effects.

The theoretical part of the thesis examines how music and music production have changed with the invention of various electrical instruments from the late 1800s onwards and, in particular, how the development of computers changed the direction of music production forever. After that, the thesis focuses on how sound works and what are the differences between analogue and digital sound, and how an analogue audio signal can be translated into a digital format. At the end of the theory section sound effects and especially the delay and reverb effect are examined in detail.

As a part of the thesis, a simple delay effect plugin was implemented with a purpose of illustrating the theory and the programming of a modern digital delay effect on a practical level. A video showcasing the delay effect can be found in the appendices of the thesis.

Key words: delay, juce, effect

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	ELEKTRONISTEN INSTRUMENTTIEN KEHITYS JA HISTORIA	8
	2.1 Musiikki tuotanto 1900-luvun alussa	8
	2.2 Elektronisten instrumenttien kehitys	8
	2.3 Äänityslaitteiston kehitys	9
	2.4 Elektronisten Musiikkistudioiden Evoluutio	10
	2.5 Syntetisaattorit	10
	2.6 Digitaalinen ääni	11
	2.7 MIDI	13
	2.8 Digitaalinen vallankumous	13
3	ÄÄNI	16
	3.1 Mitä ääni on?	16
	3.2 Analoginen ja digitaalinen signaali	17
	3.3 Tapoja tuottaa ääntä digitaalisesti	18
4	ÄÄNIEFEKTIT	19
	4.1 Analogiset ääniefektit	19
	4.2 Digitaaliset ääniefektit	20
	4.3 Delay	21
	4.4 Luonnollinen kaikuefekti	21
	4.5 Digitaalinen kaikuefekti	22
5	DIGITAALISET ÄÄNITYÖASEMAT (DAW)	24
	5.1 DAWien synty	24
	5.2 Suosituimmat DAWit	24
	5.3 Ääniliitännäisformaatit	26
6	DIGITAALISEN DELAY-EFEKTIN OHJELMOIMINEN	27
	6.1 Juce SDK	27
	6.2 Rengaspuskuri	28
	6.3 Delay	29
7	POHDINTA	30
	LÄHTEET	34
	LIITTEET	36

ERITYISSANASTO

oskillaattori	sähköistä signaalia tietyllä taajuudella tuottava laite
syntetisaattori	ääntä tuottava elektroninen laite
DAW	digitaalinen äänityöasema
DSP	digitaalinen signaaliprosessointi
samplaus	äänitetyn äänen musiikillista manipuloimista tai osa prosessia, jossa analoginen ääni muunnetaan digitaalseksi
sekvensseri	ohjelmisto tai laite, jolla voidaan muokata ja toistaa musiikkia

1 JOHDANTO

Elektroniikan ja tietokoneen kehitys mullisti musiikkiteollisuuden täysin. Nykyai- kana ei ole lainkaan kaukaa haettava, että Kiiminkiläinen teini tekee makuuhuoneestaan käsin pelkän tietokoneen avulla kappaleen, jota käytetään lopulta Hollywoodin sadan miljoonan budjetilla tehdyn elokuvan trailerissa, käyttäen hyväksi itse ohjelmoimiaan digitaalisia efektejä. Miten 1800-luvun sinfonioista päädyttiin makuuhuoneessa tietokoneella tehtyihin hittikappaleisiin? Miten digitaaliset efektit toimivat ja miten niitä ohjelmoimaan? Näihin kysymyksiin tutustutaan tässä opinnäytetyössä.

Opinnäytetyössä tutustutaan aluksi musiikkituotannon historiaan 1870-luvun lopulta eteenpäin, kun todistettiin ensimmäisen kerran Graham Bellin toimesta, että ääni voidaan muuttaa sähkösignaaliksi (Kirk & Hunt 2013.). Äänen muuttaminen sähkösignaaliksi oli käytännössä lähtölaukaus modernin musiikin ja musiikintuotannon synnylle. Musiikki tulisi tämän keksinnön myötä muuttumaan täysin ja lopullisesti.

Tavoitteena on rakentaa looginen historiallinen reitti ensimmäisestä kerrasta, kun ääni muutettiin sähkösignaaliksi, sekä ensimmäisistä elektronisista musiikkilaitteista nykypäivän tietokoneella tehtyihin hittikappaleisiin ja digitaalisiin efektillitännäisiin. Luvussa tutkitaan miten ja millä tavalla etenkin elektroniset laitteet ja tietokoneet ovat muuttaneet musiikkia ja musiikintuotantoa historian varrella, ja mitkä ovat olleet vaikuttavimmat tekijät muutosprosessissa.

Historiakatsauksen jälkeen syvennyttään hetkeksi analogisen ja digitaalisen äänen perusperiaatteisiin. Tässä luvussa tutkitaan, miten analoginen signaali oikeastaan käännetään digitaalseksi signaaliksi ja miten digitaalinen signaali käännetään lopulta takaisin analogiseksi signaaliksi. Käytännössä siis sitä mitä tietokoneen äänikortti tekee.

Tietokoneiden ja digitaalisten musiikkilaitteiden tulon jälkeen asetetaan suurenuslasi efekteihin. Luvussa tutustutaan analogisten efektien syntyyn, akustiikan periaatteisiin niiden taustalla ja miksi ja miten niitä yritettiin mallintaa pelkästään

digitaalisesti. Tämän jälkeen tarkastellaan lyhyesti DAWeja eli digitaalisia ääni-työasemia, joita ilman digitaalisia efektejä harvoin hyödynnetään.

Lopuksi tutustutaan lyhyellä esimerkillä, miten digitaalisen efektiliitännäisiä nykyään ohjelmoidaan ja miten yksinkertainen delay, eli viive-efekti, voidaan ohjelmoida C++-kielellä käyttäen hyväksi avoimen lähdekoodin Juce-viitekehystä, joka mahdollistaa signaaliprosessoinnin ja käyttöliittymän tekemisen samassa paketissa.

Tavoitteena on johdattaa lukija musiikintuotannon historiaan elektroniikan ja tietokoneen kehittymisen näkökulmasta, miten musiikintuotannon digitalisaatio muutti musiikkia, miten digitaalinen ja analoginen signaali toimii ja miten nykyään digitaalisia efektiliitännäisiä tehdään ja miksi.

2 ELEKTRONISTEN INSTRUMENTTIEN KEHITYS JA HISTORIA

2.1 Musiikkituotanto 1900-luvun alussa

Historia on osoittanut, että teknologian tulevaisuutta on usein vaikea ennustaa. Joskus itsestään selvänä pidetyt asiat eivät tapahdu koskaan ja joskus vilskeimmätkin kuvitelmat käyvät toteen. Bill Gates kertoo kirjassaan, kuinka Oxfordin professori vuonna 1878 piti sähkövaloa hilavitkuttimena ja yhdysvaltalaisesta patenttivirkailijasta, joka vuonna 1899 pyysi patenttitoimiston lakkauttamista, koska kaikki mitä voidaan keksiä, on keksitty. (Gates 1996.)

Samoin kävi musiikin kanssa. 1800-luvun lopulla oli tunne, että kaikki mitä voitiin säveltää, on sävelletty. Klassinen sinfoniamusiikki oli niin suurellista, ettei siitä voinut enää mennä suuremmaksi. Ihmeteltiin, että mihin tästä voi enää mennä. Onneksi, kuten aina, muutamat pioneerit veivät musiikkia uuteen suuntaan. Säveltäjät kuten Debussy, Mahler, Schoenberg ja Stravinsky kokeilivat uusia tapoja säveltää. Kokeiltiin leikitellä rytmin kanssa, tuotiin mukaan klassiselle tyylille epätyypillistä atonaalisuutta ja palattiin suurellisesta sinfoniamusiikista yksinkertaisempiin maalaileviin sävellyksiin. (Kirk & Hunt 2013.)

2.2 Elektronisten instrumenttien kehitys

1870-luvulla Alexander Graham Bell osoitti, että ääni voidaan muuntaa sähkösignaaleiksi, lähettää toiseen paikkaan ja toistaa ääni uudelleen uudessa paikassa. Ensimmäinen elektroninen instrumentti kehitettiin 1876 Elisha Greyn toimesta, kun Grey huomasi, että osa virtapiireistä oskilloi, eli värähtelee, tietyissä olosuhteissa. Grey liitti tähän koskettimiston ja siitä syntyi "Musical Telegraph". Kyseessä oli siis käytännössä ensimmäinen syntetisaattori. Grey olisi voinut jäädä historiankirjoihin puhelimen keksijänä, jos ei olisi saapunut patenttitoimistoon muutamaa tuntia Belliä myöhemmin. (History of Telephone s.91). Vuonna 1900 William Duddel yritti löytää tavan hiljentää sähköisten katulamppujen hurina ja tuli

huomanneeksi, että voi kontrolloida oskillaation taajuutta. Duddell lähti kiertueelle ”laulavan kaarensa” kanssa. (Kirk & Hunt 2013.)

Näiden löydösten myötä uudet elektroniset instrumenttikeksinnöt seurasivat toisiaan kuten 1910-luvulla Telharmonium ja Theremin 1920-luvulla. (Kirk & Hunt 2013.)

2.3 Äänityslaitteiston kehitys

Ääntä pystyttiin nyt siirtämään paikasta toiseen muuntamalla se sähkösignaaleiksi. 1800- ja 1900-lukujen taitteessa kehittyi myös tapoja tallentaa ääntä ja toistaa sitä tallennetulta medialta. Ensimmäinen analoginen tallennusväline kehitettiin 1800-luvun lopulla Edisonin ja Berlinerin toimesta. Laite oli nimeltään Fonografi. Äänitys fonografilla toimi niin, että äänen lähde kuten laulaja oli lähellä fonografin torvea ja äänen paine liikutti pientä kalvoon liitettyä piirintä, joka etsasi tinasynteriin (tinasynteri korvattiin myöhemmin vahasynterillä, joka oli kestävämpi materiaali) erisyvyisiä uurteita. Toistettaessa uurteet saivat neulan ja kalvon värähtelemään, joka taas sai ilman torvessa liikkumaan myötäillen neulan ja kalvon aiheuttamia värähtelyjä. Lopputuloksena oli huonolaatuinen alkuperäisen äänen toistaminen vahasynteriltä. Periaate oli käytännössä sama kuin gramofonilla, joka toistaa ääntä savikiekolta. (Rumsey & McCormic 2014.)

Mikrofonien kehitys ja niiden käyttäminen äänitykseen mahdollisti äänityksen laadun huomattavan parantumisen, koska mikrofonien avulla oli mahdollista tallentaa suurempaa taajuusaluetta ja dynaamista aluetta. Saatiin siis tallennettua enemmän dataa alkuperäisestä signaalista. (Rumsey & McCormic 2014.)

30-luvulla kehitettiin laitteistoa, jolla voitiin äänittää magneettinauhalle. Magneettinauhalle äänitetyn äänen laatu oli taas suuri parannus verrattuna aikaisempiin äänitystapoihin (Rumsey & McCormic 2014). C-kasetin kehitys vuonna 1963 Lou Ottensin toimesta mahdollisti äänitysten halvan massatuotannon ja myymisen. Pieniä kasetteja oli helppo kuljettaa ympäriinsä. Nauhalle äänitetty musiikki mahdollisti myös musiikin laajamittaisen editoinnin, koska sitä voitiin leikata, liimata ja

yhdistellä muiden nauhojen kanssa. Käytännössä siis mitä moderneilla DAWeilla tehdään vaivattomasti nykypäivänä tietokoneilla. (Kirk & Hunt 2013.)

2.4 Elektronisten Musiikkistudioiden Evoluutio

Toisen maailmansodan jälkeen Eurooppaan syntyi ensimmäiset elektroniset musiikkistudiot, joissa keskityttiin uudenlaisen musiikin tekemiseen. Pierre Schaeffer toimi pioneerina kokeelliselle musiikille Pariisissa 1940-luvun lopulla. Schaeffer äänitti magneettinauhalle erilaisia reaali maailman ääniä ja näiden nauhoja muokkaamalla loi eräänlaisia kollaaseja. Schaeffer oli käytännössä siis maailman ensimmäisiä ”samplajia”. Pierre Henry liittyi pian Schaefferin kokeiluihin, ja he alkoivat yhdessä tekemään todellisen maailman äänistä kokeellista musiikkia. (Kirk & Hunt 2013.)

Schaeffer ja Henry kuitenkin aloittivat reaali maailman äänillä. 50-luvun alussa, Kölnissä, Herbert Eimert alkoi tekemään ensimmäistä kertaa täysin elektronista musiikkia kalliilla oskillaattoreilla ja äänigeneraattoreilla. Pariisin ja Kölnin studioiden välille syttyi kiivas kilpailu, sillä molemmat halusivat olla pioneereja täysin uuden musiikin saralla. Käytännössä Pariisin studio oli kehittänyt samplaamisen ja Kölnin studio synteesin eli äänen tuottamisen sähkövirtaa manipuloimalla. Nämä kaksi tekniikkaa yhdisti säveltäjä Karlheinz Stockhausen. (Kirk & Hunt 2013.)

Stockhausen sävelsi kappaleita siniaaltojen avulla ja niitä pidetään ensimmäisinä täysin elektronisena musiikkina. Stockhausen halusi myös yhdistää elektroniseen musiikkiin tosimaailman ääniä sekä kaikuefektejä saadakseen musiikin kuulostamaan eläväisemmältä. (Kirk & Hunt 2013.)

2.5 Syntetisaattorit

Analogiset syntetisaattorit tuottavat ääntä oskillaattorien avulla. Oskillaattori on käytännössä virtapiiri, joka tuottaa sähkösignaalia, joka värähtelee tietyllä tavalla.

Tätä sähkösignaalia manipuloimalla voidaan tuottaa erilaisia ääniä ja kaiuttimeen yhdistämällä saadaan kuuluviin oskillaation ja manipuloinnin tuottama ääni. Syn-teesi. (Jenkins 2009.)

Modernien syntetisaattorien isänä pidetään Robert Arthur (Bob) Moogia. Moog halusi luoda soitettavamman instrumentin kuin mitä Theremin oli, jonka sävelkor-keus riippui monesta tekijästä kuten huoneen lämpötilasta ja kosteudesta. Moog patentoi 60-luvulla suunnitelmat jänniteohjatulle oskillaattorille (VCO), filttterille (VCF) ja vahvistimelle (VCA). Jänniteohjaus mahdollisti tarkan äänen luomisen, ohjauksen ja manipuloinnin kytkimien ja nappien avulla. Moogin kehittelemät jän-niteohjausmenetelmät olivat käytännössä lähtölaukaus modernille elektroniselle musiikille. (Jenkins 2009.)

Moogin syntetisaattoria käytettiin elokuvamusiikissa ensimmäisen kerran vuonna 1970 Kellopeliappelsiini -elokuvassa, jonka sävelsi Walter Carlos. Monofoniset (yhden äänen kerrallaan tuottavat) syntetisaattorit halpenivat vuosi vuodelta ja yleistyivät populäärimusiikin keskuudessa. Yksi alkuvuosien hyvistä esimerkeistä on 1967 perustettu, elektronista musiikkia, tekevä Tangerine Dream, joka hyö-dyntää paljon syntetisaattoreita maalailevassa ambient-musiikissa. (Kirk & Hunt 2013.)

2.6 Digitaalinen ääni

Ensimmäinen musiikkia tuottava tietokoneohjelma, MUSIC I, kehitettiin vuonna 1957 Max Mathewsin toimesta. Alkeellinen, vain kolmioaaltoa tuottava, MUSIC I toimi lähtölaukauksena monimutkaisempien musiikkiohjelmistojen kehitykselle. Kehitystyö johti lopulta versioon MUSIC IV, joka käännettiin lopulta MIT:n Barry Vercoen toimesta C ohjelmointikielelle vuonna 1986 ja siitä tuli CSound. CSound levisi kulovalkean tavoin, koska se oli vapaasti kenen tahansa käytettävissä. CSound mahdollisti äänten ja sävellysten totaalisen kontrolloimisen, mutta se tar-koitti myös sitä, että äänten tuottaminen vaati säveltäjiä työskentelemään nume-roiden ja algoritmien kanssa. (Kirk & Hunt 2013.)

MUSIC-pohjaiset ohjelmat vaativat säveltäjää tekemään tiedostoon ohjeet, kuinka tietokoneen tuli soittaa ja tuottaa musiikkia. Alettiin etsimään tapoja, miten musiikkia voitaisiin esittää reaaliajassa. Tämä johti Mathewsin kehittämään GROOVEEn, joka oli yhdistelmä analogista ja digitaalista. GROOVE ohjasi analogista syntetisaattori yksikköä ja käytännössä mahdollisti säveltäjän muokkaamaan reaaliajassa etukäteen annettuja ohjeita, joita tietokone toisti, joystickilla tai koskettimistolla. (Kirk & Hunt 2013.)

1970-luvulla syntyi liuta uusia digitaalisia syntetisaattoreita mikroprosessorien halvennuttua tuntuvasti. Yksi ensimmäisistä oli 1976 kehitetty Synclavier. 1970-luvun lopussa markkinoille tuli myös koskettimiston omaava Fairlight. Fairlightissa oli myös näyttöpäätte ja mahdollisuus äänentoistoon. Erikoisuutena soittaja pystyi piirtämään kynällä omia aaltomuotoja pieneen näyttöpäätteeseen. Fairlightista oli niin suosittu, että siitä tuli käytännössä standardi kaikille tuleville elektronisille musiikkilaitteille ja sitä käyttivät muun muassa Peter Gabriel ja Kate Bush. (Kirk & Hunt 2013.)



KUVA 1. Fairlight CMI. Huomaa näyttöpäätteessä kiinni oleva kynä, jolla oli mahdollista piirtää omia aaltomuotoja. (National Film and Sound Archive of Australia n.d.)

2.7 MIDI

1980-luvun alussa elektronisten instrumenttien valmistajat kokoontuivat ja kehittivät 1.0 MIDI-protokollan, jonka tavoitteena oli standardisoida jännitetasot ja liitännätavat. Ideana oli, että oli jokin standardisoitu tapa mikä määrittäisi millä tavalla elektroniset laitteet tuli kytkeä toisiinsa ja miten ne lähettävät informaatiota, kuten dataa siitä mitä kosketinta painetaan ja kuinka lujaa. Tällä tavalla eri valmistajien soittimia voitaisiin kytkeä toisiinsa. MIDIstä tuli lopulta standardi ja se on käytössä tänäkin päivänä. (Kirk & Hunt 2013.)

Lyhyesti MIDI-yhteensopiva kontrollilaitte voi olla, vaikka koskettimisto, joka lähettää MIDI-kaapelia pitkin käyttäjän liikkeitä (kuten koskettimiston tai rummuissa hyödynnettävien kumityynyjen painalluksia) MIDI-informaationa instrumenttiin tai tietokoneeseen.

MIDI protokollan laajan adoptioiminen johti siihen, että monet uudet soittimet omasivat koskettimiston. Klassikkoesimerkki ensimmäisistä MIDI-yhteensopivista soittimista on Yamahan DX-7, joka on yksi historian parhaiten myyvistä syntetisaattoreista. DX-7 oli täysin digitaalinen syntetisaattori, mikä tarkoitti, että sen tuottama ääni oli melko kylmä verrattuna lämpimiin analogisiin syntetisaattoreihin. DX-7:n käyttämä FM-synteesi oli omiaan tuottamaan heleitä ja korkeita ääniä. Sen äänipresetit (eli syntetisaattorin muistipankissa valmiina olleita ääniä tai säätöjä) on käytetty muun muassa A-ha:n Take On Me -kappaleessa ja Kenny Logginsin Danger Zonessa (Twells n.d.)

2.8 Digitaalinen vallankumous

1970-luvun loppua ja 1980-lukua voidaan pitää syntetisaattoreiden kulta-aikana. Elektronisten musiikkilaitteiden valmistajat kuten Yamaha, Roland, Oberheim, Casio ja Moog, valmistivat syntetisaattoreita joita käytetään vielä tänäkin päivänä. Näiden klassikkosyntetisaattoreiden huokeita, mutta alkuperäisille laitteille uskollisia, ja laadukkaita replikoita on alettu nyt valmistamaan esimerkiksi Beh-

ringerin toimesta. 2010-luvun lopulla voidaankin katsoa alkaneeksi uusi syntetisaattoreiden kulta-aika, kun markkinoilla on uusia huokeita syntetisaattoreita, digitaalisia syntetisaattoreita ja uskollisia replikoita vanhoista klassikoista.

Syntetisaattoreiden kulta-ajalla syntyi musiikkiyhtyeitä, jotka keskittyivät pelkästään syntetisaattoreihin ja elektroniseen musiikkiin. Hyvänä esimerkkinä tästä on klassikkoyhtye Kraftwerk tai Depeche Mode. Syntetisaattorit ja elektroniset musiikkilaitteet muuttivat musiikintuotannon lopullisesti ja nykyään on vaikea löytää ainuttakaan musiikillista tuotantoa, jossa ei tavalla tai toisella niitä hyödynnettäisi. (Kirk & Hunt 2013.)

1980-luvun puoliväliin tultaessa uusien elektronisten musiikkilaitteiden, kuten syntetisaattoreiden, samplereiden ja sekvenssereiden hinnat halpenivat niin, että laajalla yleisöllä oli varaa ostaa laitteita ja tuottaa musiikkia kotistudioissa. Ensimmäistä kertaa musiikkihistoriassa harrastelija saattoi tehdä musiikkia makuuhuoneestaan käsin. (Kirk & Hunt 2013.)

1980-luvun loppu näki mikrotietokoneiden tulemisen kotitalous markkinoille, kuten Apple Macintosh ja Atari ST. Atari ST oli huomattavasti Applen konetta halvempi ja omasi sisäänrakennetun sisään- ja ulostulo MIDI-portin. Nykyään eräät suosituimmista ja käytetyimmistä digitaalisista äänityöasemista (DAW) Logic Pro ja Cubase suunniteltiin alun perin Atari ST:lle. Jotkut studiot käyttävät vanhoja Atari ST:tä vieläkin. (Collins 2004.)

Samoihin aikoihin, kun mikrotietokoneet tulivat saataville laajalti kotitalouksille, digitaalisista signaaliprosessoreista tuli halvempia ja tehokkaampia ja niistä tuli rutiininomainen osa tietokoneiden hardwarea. Digitaaliset signaaliprosessorit (DSP) mahdollistivat nopean signaalikäsittelyn verrattuna esimerkiksi yleissuorittimiin. (Kirk & Hunt 2013.)

Nykyään tietokonetta käytetään lähes poikkeuksetta musiikintuotannossa. Modernit DAW:t eli digitaaliset äänityöasemat ovat ikään kuin moniraitaisia nauhu-

reita rajattomilla mahdollisuuksilla ja mahdollistavat miksaamisen, efektien käytön, masteroinnin ja äänityksen samassa ikkunassa. (Wilmering & Moffat & Milo & Sandler 2020.)

3 ÄÄNI

”Ääni syntyy, kun esine (lähde) värisee ja saa sen ympärillä olevan ilman liikku-
maan.” (Rumsey & McCormic 2014.)

3.1 Mitä ääni on?

Ääni on värähtelyä, joka leviää aallon tavoin joka suuntaan äänen lähteestä. Ää-
nen värähtely aikaansaa sen, että siitä lähtevät aallot vuoroin kompressoituu ja vuoro-
in ohentaa ilmaa äänen lähteen ympärillä. Äänen lähde ei saa aikaan vain yhtä
aalloa vaan useita peräkkäisiä aaltoja, joista jokainen kompressoituu ja ohentaa il-
maa. (Rumsey & McCormic 2014.)

Äänen lähteen värähtelyn nopeus on yhtä kuin äänen lähteen taajuus. Tätä mi-
tataan hertseissä ja kilohertseissä. Ihmiskorva kykenee kuulemaan taajuuksia
hieman alta 50Hz hieman yli 16 000Hz:n paikkeille. (Jenkins 2009.)

Ääniaallon voimakkuus, eli amplitudi, kertoo, kuinka paljon ilma kompressoituu ja
ohentuu äänen värähtelyn seurauksena. Mitä enemmän kompressoitumista ja
ohentumista tapahtuu, sitä kovempi ääni on. Amplitudi on käytännössä erotus
ääniaallon huipun ja ääniaallon pohjan välillä. (Rumsey & McCormic 2014.)

Ilma koostuu kaasumolekyyleistä ja ääniaalto saa aikaan ikään kuin dominoefek-
tin, sillä ilmamolekyylit eivät varsinaisesti matkusta äänen lähteestä kuulijan kor-
vaan. Äänen lähteen ja kuulijan korvan välillä olevat ilmamolekyylit värähtelevät
paikallaan ja saavat värähtelyn takia ympärillä olevat ilmamolekyylit värähtele-
mään. Lopputulos on se, että kun esimerkiksi rummun kalvoa lyödään, rummun
kalvon värähtely saa kalvon ympärillä olevat ilmamolekyylit värähtelemään, joka
saa puolestaan niiden vieressä olevat molekyylit värähtelemään ja niin edespäin,
kunnes värähtelyn aikaansaama energia lopulta loppuu. (Rumsey & McCormic
2014.)

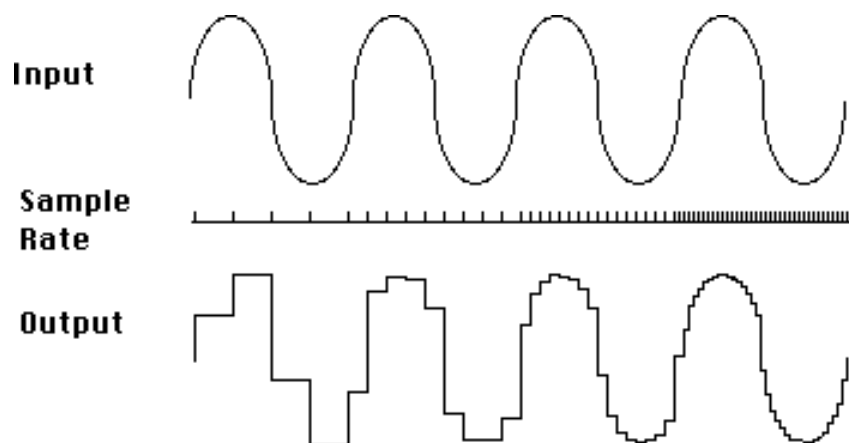
Ääniaaltojen dominoefektimäinen eteneminen äänen lähteestä kuulijan korvaan, on syy, miksi kaukana äänen lähteestä ollessamme kuulemme äänen useita sekunteja myöhemmin kuin äänen lähteen lähellä seisoessa. Kaukana olevien täytyy odottaa, että ääniaaltojen ”dominoiden kaatuminen” saavuttaa kuulijan vieressä olevat kaasumolekyylit.

3.2 Analoginen ja digitaalinen signaali

Analoginen signaali on aaltomainen ja tätä aaltoa voidaan kuvata numeerisilla arvoilla. Yksinkertaisimmillaan analoginen ääni käännetään digitaaliseksi antamalla analogisen signaalin aallolle numeeriset arvot. Arvojen ottaminen tapahtuu samplaamalla eli ottamalla näytteitä analogisesta signaalista. Amerikkalaista Michael Nyquistia pidetään samplausteoreeman isänä ja siksi teoreemaa kutsutaan usein Nyquistin teoreemaksi. Teoreeman peruseräkkeet on kuitenkin kehitetty jo ennen Nyquistia. Nyquistin tiheydeksi taas kutsutaan arvoa, joka on kaksi kertaa suurempi kuin analogisen signaalin korkein taajuusarvo. Samplauksen keskiössä on nimenomaan löytää tarpeeksi suuri tiheys, jotta informaatiota ei katoa. (Pohlmann 2010.)

Analoginen audiosignaali voidaan kääntää digitaaliseksi analog-to-digital (ADC) muuntajalla, joka löytyy kaikista äänikorteista. ADC-muuntaja ottaa sampleja eli näytteitä ääniaallosta tuhansia kertoja sekunnissa. Kun sampleja otetaan tarpeeksi suurella tiheydellä, ei informaatiota alkuperäisestä signaalista kadoteta. Nyquistin tiheys on nyrkkisääntö tarpeeksi suurelle tiheydelle, ettei informaatiota kadoteta lainkaan. Nämä samplet käännetään binääriksi, jotka edustavat näytteen amplitudia, eli voimakkuutta. (Ross & Hunt 2013).

Analogisesta digitaaliseksi kääntäessä bittisyvyys määrittää kuinka tarkka representaatio analogisesta signaalista digitaalinen signaali on. Bittisyvyydellä 8 on 256 mahdollista binääriarvoa, kun taas omassa äänikortissani bittisyvyys on esimerkiksi 24, joka mahdollistaa 16 777 216 arvoa. Mitä enemmän mahdollisia arvoja, sitä tarkempi resoluutio ja näin tarkempi digitaalinen mallinnus on alkuperäisestä signaalista. (Mixing Lessons 2020.)



KUVA 2. Havainnollistava kuva siitä, miten samplauksen tiheys vaikuttaa digitaalisen signaalin tarkkuuteen. (Elsea 1996.)

Digitaalinen ääni käännetään takaisin analogiseksi signaaliksi digital-to-analog (DAC) muuntajalla. DAC-muuntaja tulkitsee binäärimuotoisen digitaalisen signaalin ja rakentaa sen perusteella analogisen ääniaallon. DAC tekee myös interpolaatiota tasoittaakseen signaalia, koska binäärimuotoisessa representaatiossa signaali koostuu selvistä portaista. Interpolaatio laskee arvon kahden portaan välistä ja täyttää sen. Näin käännetystä signaalista saadaan luonnollisemman kuuloinen. (Burns 2020.)

3.3 Tapoja tuottaa ääntä digitaalisesti

Monimutkaisilla algoritmeilla voidaan saada aikaan täysin digitaalisia syntetisaattoreita eli softasyntetisaattoreita. Digitaaliset syntetisaattorit tuottavat äänen mallintamalla analogisten oskillaattorien tuottamaa signaalia. Monesti digitaaliset syntetisaattorit kuulostavat lähes identtisiltä analogisiin verrattuna ja harva osaa erottaa digitaalisen syntetisaattorin tuottamaa ääntä analogisesta syntetisaattorista. (Kirk & Hunt 2013.)

4 ÄÄNIEFEKTIT

Ääniefektillä voidaan tarkoittaa kahta asiaa. Ääniefekti voi tarkoittaa esimerkiksi elokuvissa käytettäviä helposti tunnistettavia ääniefektejä, kuten räjähdysä. Tai ääniefektillä voidaan tarkoittaa työkalua tai tapaa, jolla muokataan ja muovataan ääntä, jotta sillä on eri vaikutus kuulijoihin. Näistä kahdesta keskitymme jälkimmäiseen tarkoitukseen, josta hyvä esimerkki on vaikkapa delay-efekti. (Zölzer 2011.)

4.1 Analogiset ääniefektit

Yksinkertainen esimerkki ehkä ensimmäisistä analogisista ääniefekteistä on gramofonin savikiekkoon uurretun äänen toistaminen eri nopeudella kuin, millä se oli äänitetty, tai liikuttamalla savikiekkoa kädellä toiston aikana, jolloin gramofonin tuottama ääni muuttui.

Analogiset ääniefektit alkoivat kehittymään eritoten magneettinauhan ja näin nauhurin kehittämisen jälkeen. Yksi ensimmäisistä nauhuria hyödyntävistä ääniefekti pioneereista oli Les Paul, joka hyödynsi nauhureita luodakseen musiikkiin erilaisia efektejä. Paul saattoi muun muassa nauhoittaa useamman kitararaidan soimaan taustalle ja sitten muokkasi näitä taustanauhoja, kuten nopeutti tai hidasti toistonopeutta. Toinen Les Paulin kikoista oli nauhoittaa puolinopeudella toistetun rytmikitaran päälle sooloraita ja soittaa sitten raidat normaalinopeudella jolloin soolo kuulosti mahdollisimman nopealta. Tämänkaltaiset efektit olivat uusia kuulijoille ja ihmiset ihmettelivät Les Paulin erikoisia soundeja. Paul itse sekoitti vielä tahallaan soppaa johdattamalla ihmisiä harhaan sen suhteen, miten äänet oli saatu aikaiseksi. (Wilmering ym. 2020.)

Tyypillisiä ensimmäisiä magneettinauhalla ja nauhurilla tehtyjä ääniefektejä on muun muassa delay, kaiku, chorus ja flanger. Kaikki nämä voidaan saada aikaan manipuloimalla nauhaa tavalla tai toisella. Delayn aikaansaamiseksi ääntä nauhoitetaan soittaessa ja nauhoitettua ääntä toistetaan takaisin, jolloin juuri soi-

tettu ääni saadaan kuulumaan pienellä viiveellä. Kaiku, chorus ja flanger perustuvat kaikki delay-efektiin ja ainoina muuttujina on viiveen kesto ja mahdollinen modulaatio, joka voidaan saada aikaiseksi fyysisesti painamalla nauhaa haluamalla voimakkuudella. (Wilmering ym. 2020.)

4.2 Digitaaliset ääniefektit

Digitaalisia efektejä käyttävät pääasiassa muusikot, säveltäjät, äänisuunnittelijat ja musiikin tuottajat. Digitaaliset efektit voivat pyrkiä mallintamaan reaali maailman akustiikkaa, kuten huoneen tai konserttisalin aiheuttamaa kaikua, analogisia efektejä, kuten säröä, delayta tai toistonopeuden muuttamista, tai pyrkiä luomaan kokonaan uusia ja luovia tapoja muokata lähdeääntä. Käytännössä digitaalinen ääniefekti on algoritmi, joka muovaa ääntä haluttuun suuntaan. (Zölzer 2011.)

Esimerkki luovasta digitaalisesta ääniefektistä, joka kuitenkin pohjimmiltaan pohjautuu ensimmäisiin analogisiin efekteihin lukeutuvaan toistonopeuden muovamisesta, on Paul's Extreme Soundstretch, jonka avulla lähdeääntä voi venyttää moninkertaisen pituiseksi säilyttäen sävelkorkeuden ja ilman, että audiosignaalista tulee kaiuttimet hajottavaa digitaalimurskettä. Extreme Soundstretchä käytetään muun muassa paljon ambient-musiikissa luomaan äänimattoja soimaan kappaleiden taustalle.

Joskus uudenlaiset digitaaliset ääniefektit saavat yllättäviä käyttökohteita. Auto-tune algoritmi kehitettiin Antares-yhtiön Harold A. Hildebrandin toimesta 1990-luvun lopulla. Hildebrandin tavoite oli halpa digitaalinen keino tehdä pieniä vireen korjaavia muutoksia äänitettyyn puheeseen, ettei sitä tarvinnut jälkikäteen manuaalisesti korjailta tai nauhoittaa uudestaan. Hildebrandin yllätykseksi auto-tune algoritmia alettiin käyttää laajalti musiikintuotannossa korjaamaan laulun virettä, sekä prosessoimaan laulua tavoitteena epäluonnollinen lopputulos. Hildebrandin alkuperäinen idea algoritmille oli, että auto-tune säilyttäisi äänen luonnollisuuden. (Wilmering ym. 2020.)

4.3 Delay

Delay eli viive-efekti on yksinkertainen efekti, joka toistaa kopion hetki sitten soitetusta äänestä. Yksinkertainen viive-efekti toistaa vain yhden kopion, kaiun, hetki sitten soitetusta äänestä. Viive-efektin tuottama kopio voidaan myös syöttää uudestaan efektille prosessoitavaksi ja näin siitä saadaan delay feedbackilla. Viiveellä toistettu audiosignaali annetaan takaisin viive-efektille hieman hiljennettynä ja näin saadaan aikaan yksinkertainen kaikuefekti, jossa soitettu ääni toistuu useamman kerran, kunnes lopulta hiljenee niin paljon, ettei ihmiskorva sitä kuule. Teoriassa tämä feedback delay soi ikuisesti, mutta saavuttaa nopeasti sellaisen tason, ettei ihminen sitä kuule, mikäli viivesignaalia heikennetään tietyllä arvolla ennen toistamista. Mikäli viive-efektin tuottamaa ääntä ei heikennetä lainkaan, feedback delay soittaisi kopiota alkuperäisestä äänestä ikuisesti alkuperäisellä äänenvoimakkuudella. (Reiss & McPherson 2014.)

Analogisesti toteutettuna delay on huomattavasti monimutkaisempi saada aikaan kuin digitaalisesti. Digitaalisesti kyse on vain muutamasta rivistä koodia, kun analogisesti toteutettuna soitettu ääni täytyy esimerkiksi live-soitto tilanteessa nauhoittaa ja toistaa määrätyn viiven kuluttua uudestaan. (Reiss & McPherson 2014.)

4.4 Luonnollinen kaikuefekti

Kaikuefekti syntyy, kun äänen aiheuttaneet ääniaallot kohtaavat pinnan ja heijastuvat pinnasta uudelleen kaikkiin suuntiin. Prosessi toistuu, kunnes pinnat absorboivat tarpeeksi energiaa, ettei reflektoitunut ääni ole ihmiskorvalla enää kuultavissa. Alkuperäisen äänen heikentyminen kestää siihen saakka, kunnes kaiun taso on vähentynyt 60 desibeliä. Kaikusignaalin heikentymisen kestoa kutsutaan RT60:ksi (kaiun kesto -60dB). (Brown 2020.)

Pienet huoneet ja kaikukammiot olivat ensimmäisiä tapoja saada aikaan kaikuefekti. Ääntä soitettiin ja nauhoitettiin tilassa, jossa kaikui ja lopputulos oli kaikuefekti. Huoneet ja kaikukammiot olivat kuitenkin kalliita vuokrata ja rakentaa.

Plate-kaiku eli laattakaiku kehitettiin 1950-luvulla imitoimaan huoneen aikaansaamaa kaikua. Kyseessä oli siis iso suljettu laatikko, jonka sisällä on ohut metallinen laatta. Toistamalla ääntä laatikkoon, laatikko värisi ja loi vaikutelman kaiusta. Plate-kaikuyksiköt saattoivat painaa parhaimmillaan 250 kiloa, joten nekään eivät liian käteviä olleet, mutta paljon halvempia ja helpompia kuin kokonainen huone tai kaikukammio. (Computer Music 2014.)

Toinen vielä kompaktimpi ja halvempi vaihtoehto on spring-reverb eli jousikaiku. Ääntä toistettiin laatikon läpi, joka sisälsi metallisen jousen. Ääni sai jousen värähtelemään ja se sai aikaan illuusion kaiusta. Näitä käytettiin paljon muun muassa kitaravahvistimissa ja ennen digitaalisia kaikuja jousikaiku oli käytännössä ainoa vaihtoehto, jos rahat olivat tiukassa. Jousikaiun ainoa huono puoli oli, että se ei kuulostanut kovinkaan luonnolliselta. Tämä toki ei yksinomaan ole vain huono asia, sillä nykyään on paljon softakaikuja, jotka nimenomaan pyrkivät kuulostamaan ylimaalliselta. (Swisher 2021.)

Luonnollisen kaikuefektin aikaansaamiseksi tarvitaan aikaa ja rahaa. Kaikilla ei ole mahdollisuutta vuokrata katedraalia päiväksi nauhoitteluja varten tai ostaa kaikukammiota kaiun aikaansaamiseksi. Tietokoneiden myötä syntyi mahdollisuus luoda kaikuefektejä digitaalisin keinoin. Ajan saatossa se tarkoittaisi halpoja ja kenen tahansa tietokoneen omaavan saatavilla olevia kaikuefektiliitännäisiä.

4.5 Digitaalinen kaikuefekt

Digitaaliset kaikuefektit pyrkivät mallintamaan luonnollista kaikua matemaattisin keinoin. Sanomattakin selvää, että täydellinen mallintaminen on mahdotonta, koska kaikkia reaalimaailman mahdollisuuksia ja skenaarioita ei voida ottaa huomioon. Digitaalisilla kaikuefekteillä on kuitenkin mahdollista päästä hyvin lähelle luonnollista kaikuefektia. Digitaaliset kaikuefektit mahdollistavat myös täysin ylimaalliset kaikuefektit, mitkä eivät olisi reaalimaailmassa mahdollisia. (Brown 2020.) Hyvänä esimerkkinä tästä on Valhalla DSP:n Shimmer -kaiku, jolla voi luoda pitkiä kaikuja ja moduloida kaikuääntä luoden ylimaallisen kuuloisia tunnelmia.

Alkuun digitaaliset kaiut olivat erillisiä laitteita. Henkilökohtaisia tietokoneita ei vielä suurimmalla osalla ollut. Digitaaliset kaikuefektit lopulta siirtyivät erillisistä laitteista tietokoneohjelmiksi. Nykyään kaikuefektiliitännäisiä on saatavilla ilmaisista liitännäisistä monen sadan euron liitännäisiin. Käytännössä nykypäivänä minkä tahansa DAW:n mukava tulee jonkinlainen kaikuefektiliitännäinen käytettäväksi. (Computer Music 2014.)

Digitaalisilla kaikuefekteillä pyrittiin alkuun mallintamaan vanhoja klassisia kaijuja kuten plate-kaiku ja jousikaiku. Hauskasti yksi yleisimmistä digitaalisista kaikuefekteistä on efekti joka mallintaa erikokoisia huoneita. Ennen vanhaan musiikki äänitettiin mikitettyssä huoneessa, joka toi luontaisesti kaikua äänitettyyn raitaan. (Justin Guitar n.d.)

Ensimmäinen digitaalinen kaikuefekti oli 1976 markkinoille tullut EMT 250, joka maksoi 15 000 dollaria. EMT 250:n löi laudalta 1978 julkaistu Lexicon 224, joka oli paljon halvempi ja monipuolisempi ja siitä tulikin yksi suosituimmista digitaalisista kaikuefekteistä. Nämä molemmat olivat käytännössä isoja laatikoita, joihin äänilähde voitiin kytkeä ja jotka prosessoivat äänen tavalla joka kuulosti siltä kuin äänilähdettä soitettaisiin kaikuisassa tilassa. (Computer Music 2014.)

5 DIGITAALISET ÄÄNITYÖASEMAT (DAW)

DAWit eli digitaaliset äänityöasemat ovat kuin äänitysstudio kaikkine laitteineen digitaalisessa muodossa tietokoneella. Ne mahdollistavat julkaisuvalmiiden kappaleiden tekemisen aina äänityksestä miksaukseen ja masterointiin saakka. Modernit DAWit sisältävät valmiita efektejä, joilla prosessoida ääntä ja niillä voidaan muokata ääniraitoja loputtomiin ja käytännössä rajattomasti. DAWit ovat myös suhteessa hyvin halpoja nykypäivänä. Alan standardit kuten Cubase ja Pro Tools maksavat muutaman sata euroa ja niistä on saatavilla huokeita sadan euron rajoitettuja versioita. Harrastelijat pääsevät siis halvalla käsiksi tehokkaisiin ammattilaisten käyttämiin ohjelmistoihin.

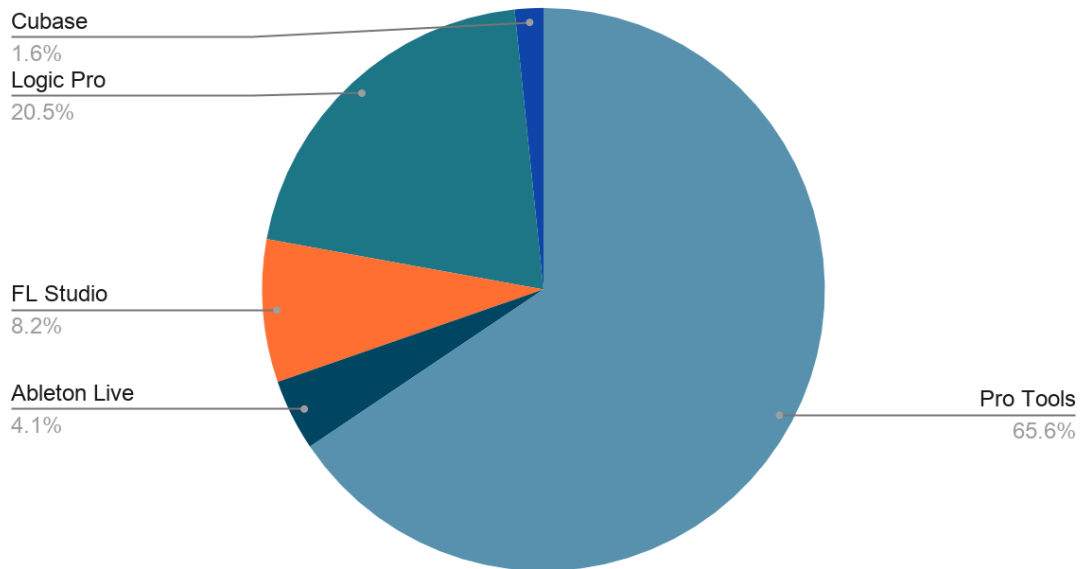
5.1 DAWien synty

Digitaalisten äänityöasemien eli DAWien historia ulottuu 1980-luvun ohjelmistopohjaisiin sekvenssereihin ja musiikkinotaatio-ohjelmiin. Ensimmäiset ohjelmistopohjaiset sekvensserit kehitettiin alkujaan Commodore 64:lle ja Apple II:lle. Steinberg ja Emagic kehittivät 1980-luvulla sekvensserit Atarille. Steinbergin sekvensseri oli nimeltään Cubase ja Emagicin sekvensseri Notator, josta tuli myöhemmin Applen omistama Logic. Näistä kehkeytyivät lopulta nykyään ammattilaisten suosimat täysiveriset digitaaliset äänityöasemat. (Collins 2004.)

5.2 Suosituimmat DAWit

Musician's Hq-sivusto tutki mitä DAWeja käytettiin 2010-luvun top 100 albumien tekemiseen. Selvästi suosituin DAW ammattilaisten keskuudessa oli Avid Pro Tools. Toiseksi käytetyin ammattilaisten keskuudessa oli Applen Logic Pro. (Wreglesworth 2022.)

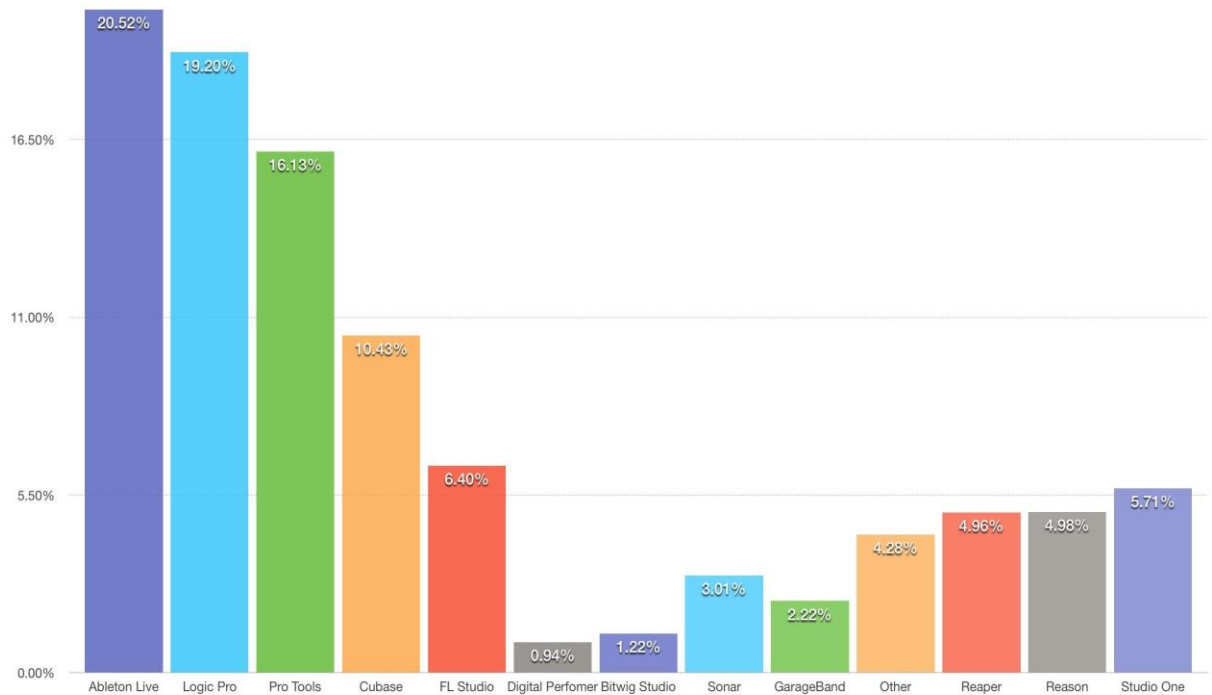
DAWs Used To Make Top Albums Of 2010s (US)



KUVIO 1. Mitä DAWeja käytettiin eniten 2010-luvulla tekemään sata suosituinta albumia. (Wregleswort 2022.)

Nettisivusto Ask Audio teki lokakuussa 2017 kyselytutkimuksen, jossa tiedusteltiin muusikojen ja tuottajien ensisijaisesti käyttämää DAWia. Vastauksia tuli yli 30 000. Ykkössijan vei 20,52 %:lla Ableton Live, joka on etenkin elektronisen tanssimusiikin ja hiphopin tuottajien suosiossa. Toisen sijan sai Logic pro 19,20 %:lla. Kolmannen ja neljännen sijan vei Pro Tools 16,13 %:lla ja Cubase 10,43 %:lla. (Rounik 2018.)

Cubase pitää jalansijaa edelleen yhtenä suosituimmista ja vanhimmista digitaalisista työasemista. Esimerkiksi elokuvamusiikkisäveltäjä Hans Zimmer käyttää Cubasea. (Steinberg n.d.)



KUVIO 2. Ask Audio -sivuston kyselytutkimustulokset siitä, mikä on muusikoiden ja tuottajien käytetyin DAW. (Rounik 2018.)

5.3 Ääniliitännäisformaattit

Ääniliitännäisformaatteja on useita erilaisia ja ovat käyttöliittymä ja DAW spesifejä. Yleisimmät formaatit ovat VST (Virtual Studio Technology), VST3 (Virtual Studio Technology V3), AU (Audio Units), AAX (Avid Audio eXtension), RTAS (Real Time Audio Suite) ja TDM (Time Division Multiplexing). (Gupta 2020.)

Yksi yleisimmistä formaateista on VST, joka on Steinbergin kehittämä Cubaselle vuonna 1996. VST on nykyään versiossa 3 ja sitä kutsutaan VST3:ksi. VST toimii sekä Windowsilla että Macilla. AU, eli Audio Units, formaatti on osa Applen audioteknologiaa. Applen Logic Pro käyttää vain AU -formaattia, koska se on natiivi Applen laitteille. AAX, Avid Audio eXtension, nimensä mukaisesti on Avidin kehittämä formaatti heidän Pro Tools ohjelmistoa varten. RTAS on toinen formaatti, joka on kehitetty Pro Toolsille ja sitä ei voi muussa DAWissa hyödyntää. TDM on sekin suunniteltu Pro Toolsille ja TDM-plugineja käytetään lähinnä studiokäytössä asennettuna erilliselle laitteelle, joka käyttää DSP:lle optimoitua prosessoria mahdollistaakseen hyvän äänenlaadun ja tarkkuuden. (Gupta 2020.)

6 DIGITAALISEN DELAY-EFEKTIN OHJELMOIMINEN

Analoginen delay on haastava toteuttaa, sillä se tarkoittaa soitetun äänen tallentamista esimerkiksi nauhalle ja nauhalta toistamista tietyn viiveen jälkeen. Digitaaliossa muodossa delay on yksi yksinkertaisimmista ja helpoiten toteutettavissa olevista efekteistä. (Reiss & McPherson 2014.)

Lyhykäisydessään yksinkertainen viive-efekti, joka toistaa äänisignaalin yhden kerran, saadaan aikaiseksi suorittamalla kaksi operaatiota: kopioidaan dataa pääpuskurista toiseen puskuriin, jonka jälkeen tietyn viiveen jälkeen kopioitu data lisätään takaisin pääpuskuriin, jolloin esimerkiksi sekunti sitten soitettu ääni soi uudelleen. (Reiss & McPherson 2014.)

6.1 Juce SDK

Delayn ohjelmoimiseen hyödynnetään Jucea, joka on ilmainen avoimen lähdekoodin viitekehys jota käytetään laajalti efektiliitännäisten ohjelmointiin. Juce on suosittu muun muassa siksi, koska sillä voi tehdä sekä ääni- että käyttöliittymäpuolen ja se tukee yleisimpiä liitännäisformaatteja kuten VST, VST3, AU, RTAS ja AAX. Ohjelmointi Jucella tapahtuu C++-ohjelmointikielellä. (Juce n.d.)

Juce on erinomainen työkalu aloittaa efektiliitännäisten ohjelmointi, sillä se tarjoaa valmiita pohjia minkä päälle alkaa rakentamaan. Juce tarjoaa muun muassa valmiin ääniliitännäismallin, jossa on valmiina yksinkertainen käyttöliittymäikkuna, ääni/midi sisään- ja ulostulot. Ääniliitännäismallissa on valmiina äänenprosessointimetodi, joten mallin avulla pääsee prosessoimaan ääntä minuuteissa viitekehyksen asentamisen jälkeen.

```

void NewProjectAudioProcessor::processBlock (juce::AudioBuffer<float>& buffer, juce::MidiBuffer& midiMessages)
{
    juce::ScopedNoDenormals noDenormals;
    auto totalNumInputChannels = getTotalNumInputChannels();
    auto totalNumOutputChannels = getTotalNumOutputChannels();

    // In case we have more outputs than inputs, this code clears any output
    // channels that didn't contain input data, (because these aren't
    // guaranteed to be empty - they may contain garbage).
    // This is here to avoid people getting screaming feedback
    // when they first compile a plugin, but obviously you don't need to keep
    // this code if your algorithm always overwrites all the output channels.
    for (auto i = totalNumInputChannels; i < totalNumOutputChannels; ++i)
        buffer.clear (i, 0, buffer.getNumSamples());

    // This is the place where you'd normally do the guts of your plugin's
    // audio processing...
    // Make sure to reset the state if your inner loop is processing
    // the samples and the outer loop is handling the channels.
    // Alternatively, you can process the samples with the channels
    // interleaved by keeping the same state.
    for (int channel = 0; channel < totalNumInputChannels; ++channel)
    {
        auto* channelData = buffer.getWritePointer (channel);

        // ..do something to the data...
    }
}

```

KUVA 3. Jucen ääniliitännäismallin valmis äänen prosessointimetodi.

6.2 Rengaspuskuri

Delay-efekti toistaa hetki sitten soitetun asian pienellä viiveellä uudestaan. Digitaalissa efektissä tämä tarkoittaa, että täytyy päästä käsiksi menneeseen dataan. Siihen hyödynnetään useimmiten rengaspuskuria. (Pirkle 2019.)

Rengaspuskuri on käytännössä yksiulotteinen liukulukutaulukko, johon talletetaan koko ajan dataa pääpuskurista. Rengaspuskurista tekee renkaan se, että siihen kopioidaan dataa ikään kuin looppaamalla. Eli indeksin saavuttaessa taulukon viimeisen jyvän, indeksi vaihtuu takaisin taulukon alkuun. Rengaspuskuriin kirjoitetaan siis koko ajan uudestaan ja uudestaan dataa pääpuskurista.

Tarvitaan siis uusi puskur Jucen ääniliitännäismallin automaattisesti luoman pääpuskurin rinnalle, jonne voidaan tallettaa kopio. Tähän voidaan hyödyntää Jucen AudioBuffer -luokkaa, joka on monikanavainen puskur, joka sisältää liukulukuisia sampleja analogisesta signaalista. (Juce n.d.)

Rengaspuskuriin tallennetaan jatkuvasti arvoja pääpuskurista ja sen koko voidaan määrittää ääniliitännäismallin valmiissa prepareToPlay-metodissa. Puskurin koko määrittää käytännössä sen, kuinka monen sekunnin ajalta on mennyttä dataa käytössä.

```

void NewProjectAudioProcessor::fillDelayBuffer(int channel, const int bufferSize, const int delayBufferLength,
const float* bufferData, const float* delayBufferData)
{
    // Copy data from main buffer to delay buffer
    if (delayBufferLength > bufferSize + writePosition)
        delayBuffer.copyFromWithRamp(channel, writePosition, bufferData, bufferSize, 0.8, 0.8);
    else {
        // Calculate what is remaining of delay buffer
        const int bufferRemaining = delayBufferLength - writePosition;

        // Copy data from main buffer and fill the remaining of delay buffer
        delayBuffer.copyFromWithRamp(channel, writePosition, bufferData, bufferRemaining, 0.8, 0.8);

        // Go to index 0 of main buffer as delay buffer is full and fill the rest to beginning of delay buffer
        delayBuffer.copyFromWithRamp(channel, 0, bufferData, bufferSize + bufferRemaining, 0.8, 0.8);
    }
}

```

KUVA 4. Esimerkki pääpuskurista rengaspuskuriin kopioinnista.

6.3 Delay

Viive-efekti saadaan aikaiseksi, kun rengaspuskuriin kopioitu data lisätään takaisin pääpuskuriin. Sen jälkeen, kun rengaspuskuriin talletetaan dataa pääpuskurista onnistuneesti. Ainoa toimenpide delayn aikaansaamiseksi on lisätä rengaspuskuriin talletettu data takaisin pääpuskuriin. Tämä voidaan tehdä metodilla, jossa asetetaan ensin viiveen määrä millisekunteina, jonka jälkeen lasketaan tämän millisekuntimäärän mukaan mistä indeksistä täytyy lukea dataa, jotta luettu data vastaa haluttua viivettä. Tämän jälkeen tehdään yksinkertainen lisäys käyttämällä valmista `AudioBuffer` -luokan metodia `addFrom`, jolla voidaan lisätä sampleja toisesta puskurista toiseen. (Pirkle 2019.)

Kun äänen prosessointimetodissa rengaspuskuri ensin täytetään pääpuskurista kopioidulla datalla ja sitten haetaan kopioitua dataa oikeasta kohdasta ja lisätään pääpuskuriin niin lopputulos on, että kaiuttimista kuullaan soitettu tai toistettu ääni määritetyn viiveen päästä kaikkuna.

```

void NewProjectAudioProcessor::getFromDelayBuffer(juce::AudioBuffer<float>& buffer, int channel, const int bufferSize,
const int delayBufferLength, const float* bufferData, const float* delayBufferData)
{
    // Choose delay time in milliseconds (this could be controlled by a knob in GUI)
    int delayTime = 500;

    // Calculate correct index to copy from based on the delay time
    const int readPosition = static_cast<int>(delayBufferLength + writePosition -
(sampleRate * delayTime / 1000) % delayBufferLength);

    // Add to the main buffer from delay buffer
    if (delayBufferLength > bufferSize + readPosition)
        buffer.addFrom(channel, 0, delayBufferData + readPosition, bufferSize);
    else {
        // If delay buffer length from correct index would go out of bounds
        // calculate remaining and add the rest from the beginning of delay buffer
        const int bufferRemaining = delayBufferLength - readPosition;
        buffer.addFrom(channel, 0, delayBufferData + readPosition, bufferRemaining);
        buffer.addFrom(channel, bufferRemaining, delayBufferData, bufferSize - bufferRemaining);
    }
}

```

KUVA 5. Esimerkki metodista missä dataa haetaan oikeasta kohtaa rengaspuskurista ja lisätään pääpuskuriin, jotta kaiuttimista kuullaan soitettu ääni viiveellä.

7 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli toimia johdantona musiikkituotannon ja efektiliitännäisten maailmaan aiheesta kiinnostuneelle lukijalle. Toivon mukaan lukijalla on opinnäytetyön lukemisen jälkeen ainakin jonkinlainen karkea käsitys edellä mainituista aiheista ja joitakin eväitä jatkaa asiaan tutustumista niin halutessaan. Opinnäytetyö toimi myös johdatuksena aiheeseen minulle itselleni.

Aihevalintaan liittyi oma mielenkiinto musiikin tuotanto kohtaan ja siihen miten digitaaliset efektiliitännäiset toimivat ja miten niitä voisi ohjelmoida, sillä olin kuullut Juce-viitekehuksesta. Erityisesti kiinnostuksen laukaisi aikanaan tutustuminen analogisiin syntetisaattoreihin. Ajatus siitä, että voit kontrolloida syntetisaattorin sisällä kulkevaa sähkövirtaa erilaisilla nupeilla ja säätimillä ja luoda omia ääniä, joita kukaan ei voi täysin replikoida, oli houkutteleva. Ostin ensimmäisen analogisen syntetisaattorini ja prosessoisin sen tuottamaa ääntä digitaalisella shimmerkaikuefektilä. Paluuta ei ollut ja nyt analogisia syntetisaattoreita löytyy useampi kappale kotoa. Prosessoimalla syntetisaattorin tuottamaa ääntä erilaisin efektein, päästään käsiksi upeisiin äänimaisemiin.

Tällä hetkellä voidaan nähdä tulevan syntetisaattoreiden uusi kulta-aika. Vanhat ja arvostetut syntetisaattorivalmistajat ovat alkaneet valmistamaan uusia syntikoita sekä uusia versioita vanhoista klassikoista, joiden hinnat käytetyillä markkinoilla nousevat useisiin tuhansiin euroihin. Halvasta musiikkitavarasta tunnettu saksalainen valmistaja Behringer on alkanut tekemään käytännössä kopioita vanhoista klassikkosyntetisaattoreista. Behringerin syntetisaattorikopiot/replikot ovat laadukkaita ja halpoja. Tällä hetkellä on mahdollista saada Behringerin kopio Moogin Minimoogista vain reilulla 300e:lla. Käytetty Minimoog maksaa noin 10 000 euroa. Todennetuissa sokkotesteissä ei ole ollut havaittavaa eroa, vaikka onkin esitetty subjektiivisia eroja, kun Minimoogia ja Behringerin kopiota siitä, Model D:tä, soitettiin vieri vieressä.

Yllätyin asiaan perehtyessä kuitenkin siitä, kuinka huomattavasti elektroniikka ja tietokoneet ovat muuttaneet musiikkia ja musiikkituotantoa. Musiikki ja sen tuottaminen on muuttunut täysin viimeisen sadan vuoden aikana. On mielenkiintoista huomata kuinka muutamalla pioneerilla, ja visionäärillä on ollut niin suuri vaikutus musiikin muutokseen. Käytännössä kaikki mitä kuulemme radiosta nykypäivänä, on riippuvaisia 1800-luvun lopun ja 1900-luvun keksinnöistä. On toki luonnollistakin, että elektroniikan ja digitalisaation kehitys vaikuttaa tavalla tai toisella elämän jokaiseen osa-alueeseen. Kehitys viimeisen sadan vuoden aikana on ollut niin huimaa, että 2000-luvun lapsi olisi 1800-luvun lopulla kuin eri universumissa.

Nähtäväksi jää miten musiikki ja musiikintuotanto kehittyy tulevaisuudessa. Tulomme todennäköisesti näkemään erilaisia tapoja hyödyntää algoritmeja ja koneoppimista. Youtubesta löytyy muun muassa Dennis Martenssonin kanava, jossa Martensson esittelee täysin tietokoneen luomia proseduraalisesti generoituja djent-kappaleita. Todellisesta koneoppimisesta tai tekoälystä siitä ei tosin ole kyse vaan Martensson on kirjoittanut algoritmin, joka tiettyjen ehtojen perusteella rakentaa kappaleita äänitetyistä sampleista.

On innostavaa kuinka helpoksi musiikin tuottaminen ja omien efektiilitännäisten ohjelmoiminen on tehty. Vain muutama vuosikymmen sitten olisi tarvittu rutkasti rahaa studion vuokraamista varten ja omien digitaalisten efektien tekeminen olisi ollut lähes mahdotonta harrastepohjalta. Nyt kuka tahansa voi tietokoneen ja äänikortin avulla tuottaa musiikkia kotoa käsin ja ohjelmoida omia efektejään. On toki musiikkiin vakavasti suhtautuvia, jotka pitävät tätä kehityssuuntaa huonona. Näitä kotistudiossa äänittäviä muusikoita kutsutaan joskus ”makuuhuonetuottajiksi”. Soraääniä on odotettavissa aina, kun asiat kehittyvät. Itse lukeudun näihin makuuhuonetuottajiin ja niistäkin olen täysi amatööri. Teen musiikkia, koska se on kivaa. Pääasiassa tuotokset jäävät pöytälaatikkoon, mutta se ei haittaa sillä niiden tekeminen on ollut rentouttavaa ja mielekästä.

Kuka vain asiasta tarpeeksi kiinnostunut voi aloittaa ohjelmoimaan omia efektiilitännäisiä. Nykypäivänä, koska saatavilla on sellaisia ilmaisia avoimen lähdekoodin viitekehyksiä kuten Juce. Ohjelmoinnin perusteiden hallitseminen toki helpot-

taa oppimisprosessia, mutta perusteet saa helposti haltuun muutamassa kuukaudessa. Signaaliprosessointiin liittyvät konseptit voivat tuntua aluksi haastavilta ja monimutkaisilta, mutta aloittamalla tarpeeksi yksinkertaisesta konseptiin pääsee varmasti sisälle. Monet konseptit, etenkin juuri signaaliprosessointiin liittyvät, olivat haastavia ymmärtää projektia tehdessä. Opinnäytetyön ja projektin seurauksena ymmärrän hieman enemmän, mutta paljon on vielä opittavaa.

Opinnäytetyö auttoi paljon ymmärtämään ja hahmottamaan muita erilaisia musiikin tekemiseen ja tuotantoon liittyviä asioita, mitä näin amatöörinä ei ole tullut selvitettyä tai ymmärrettyä aiemmin. Etenkin liittyen siihen miten analoginen signaali muunnetaan digitaalseksi ja miten se oikein tallentuu tietokoneelle ja miten digitaalinen signaali käännetään analogiseksi, kun halutaan toistaa esimerkiksi juuri syntetisaattorilla äänitettyä raitaa. Audiosignaalin tallentaminen tietokoneelle on nykypäivänä niin itsestäänselvyys ettei sitä tule edes ajatelleeksi, miten se oikeastaan tapahtuu.

Suosittelen lämpimästi tutustumaan softaefektivalmistaja Valhalla DSP:n perustajan Sean Costellon neljäosaiseen blogisarjaan kaikuefektiliitännäisten ohjelmoimisen aloittamisesta. Costello on itsekkin lähtenyt alun perin harrastepohjalta liikenteeseen ääniefektiohjelmoinnin suhteen ja se tie johti lopulta alan yrityksen perustamiseen, joka on yksi suosituimmista efektivalmistajista nykypäivänä. Linkki blogiin löytyy opinnäytetyön liitteistä.

Internetistä löytyy hyvin paljon esimerkkejä efektiliitännäisistä joiden kautta voi tutustua efektiliitännäisiin ja niitä voi käyttää esimerkiksi pohjana omalle opettelulle ja kehittää ja muokata valmiita liitännäisiä eteenpäin. Youtubessa on myös paljon tutoriaaleja efektiliitännäisen ohjelmoimisesta. Videot voivat toimia hyvänä tukena dokumentaation ja aihetta käsittelevien kirjojen lisäksi aiheen ymmärtämiselle. Loppujen lopuksi vain tekemällä oppii.

Musiikin tekeminen ja tuottaminen on jatkuvasti helpottunut käsi kädessä tieteknisen kehityksen kanssa. Musiikin tekemiseen tarvitaan vain tietokone ja digitaalinen äänityöasema. Rajoitettuja versioita ammattilaistason digitaalisista ääni-

työasemista on saatavilla myös hyvin huokeaan. Jos musiikin tekemisestä innostuu, on mahdollista päivittää kokoonpanoa äänikortilla ja midikoskettimistolla, jotka voi saada halvimmillaan hyvin edullisesti noin sadalla eurolla. Behringerin ja kumppaneiden valmistamat halvat ja laadukkaat syntetisaattorit mahdollistavat varpaan kastamisen analogisiin syntetisaattoreihin käytännössä kenelle tahansa. Nykyään on myös saatavilla vapaasti ladattavia ja erittäin laadukkaita softasyntetisaattoreita, jotka ovat täysin digitaalisia. Niiden avulla on helppo tutustua syntetisaattoreiden maailmaan. Ja jos ilmaiset syntetisaattorit ja efektit ei miellytä, avoimen lähdekoodin viitekehysillä voi tehdä ne itse.

Elektronisten laitteiden ja tietokoneiden kehitys mahdollisti äänisignaalin manipulaation uudella tavalla ja täysin uudenlaista musiikkia alettiin säveltämään ja tuottamaan. Kehityssuunta johti modernin musiikin syntymiseen ja musiikin tekemisen helpottumiseen. Musiikkia on mahdollista tehdä pelkän tietokoneen avulla ilman kalliita instrumentteja tai studiotiloja. Se on mahdollista entistä useammalle tietokoneiden halventuessa ja saatavilla olevien ohjelmistojen määrän lisääntyessä. Harrastelijoiden on myös helppo tutustua signaaliprosessoinnin, efektien ja digitaalisten syntetisaattoreiden ohjelmoimiseen avoimen lähdekoodin viitekehysten avulla.

LÄHTEET

Brown, Griffin. 2020. What Digital Reverb Actually Does. Izotope. Verkkosivu. Viitattu 18.11.2022. <https://www.izotope.com/en/learn/what-digital-reverb-actually-does.html>

Burns, Verity. 2020. How do we convert audio from analogue to digital and back? BBC Science Focus. Verkkosivu. Viitattu 4.11.2022. <https://www.sciencefocus.com/science/how-do-we-convert-audio-from-analogue-to-digital-and-back/>

Casson, Herbert. N. 1911. The History of the Telephone.

Collins, Mike. 2004. Choosing and Using Audio and Music Software. Focal Press.

Computer Music. 2014. A brief history of reverb. Verkkosivu. Viitattu 4.11.2022. <https://www.musicradar.com/tuition/tech/a-brief-history-of-reverb-602421>

Elsea, Peter. 1996. Basics of Digital Recording. Verkkosivu. Viitattu 18.11.2022. http://artsites.ucsc.edu/EMS/music/tech_background/TE-16/teces_16.html

Gates, Bill. 1996. The Road Ahead. Viking Penguin.

Gupta, Sparsh. 2020. Audio plugin formats explained – VST, AU, AAX. Medium. Verkkosivu. Viitattu 17.11.2022. <https://medium.com/@imsparsah/audio-plugins-format-explained-d57555e928fa>

Jenkins, M. 2009. Analog Synthesizers. Focal Press.

Justin Guitar. N.d. Reverb: what, how & history. Verkkosivu. Viitattu 18.11.2022. <https://www.justinguitar.com/guitar-lessons/reverb-what-how-history-fx-201>

Juce. N.d. Verkkosivu. Viitattu 11.11.2022. <https://juce.com/>

Kirk, Ross & Hunt, Andy. 2013. Digital Sound Processing for Music and Multimedia. Routledge.

Mixing Lessons. 2020. What is bit depth in audio? 16 bit, 24 bit and 32 bit float explained. Verkkosivu. Viitattu 4.11.2022. <https://www.mixinglessons.com/bit-depth/>

National Film and Sound Archive of Australia. N.d. Verkkosivu. Viitattu 29.10.2022. https://www.nfsa.gov.au/sites/default/files/article/hero_image10-2016/fairlight_hero.jpg

Pirkle, Will C. 2019. Designing Audio Effect Plugins in C++. Routledge. 2. painos.

Pohlmann, Ken C. 2010. McGraw-Hill Education TAB.

Reiss, Joshua D. & McPherson Andrew. 2014. Audio Effects. CRC Press.

Rumsey, Francis. & McCormick, Tim. 2014. Sound and Recording. Routledge.
7. painos.

Sethi, Rounik. 2018. Top 12 most popular DAWs (you voted for). Ask Audio.
Verkkosivu. Viitattu 17.11.2022. <https://ask.audio/articles/top-12-most-popular-daws-you-voted-for>

Steinberg. N.d. The Steinberg spotlight is on Hans Zimmer. Verkkosivu. Viitattu
15.11.2022. <https://www.steinberg.net/stories/hans-zimmer/>

Swisher, Drew. 2021. Spring Reverb: what it is and how to use it. Musician on a
mission. Verkkosivu. Viitattu 4.11.2022. <https://www.musicianonamission.com/spring-reverb-what-it-is-and-how-to-use-it-2020/>

Twells, John. n.d. The 14 most important synths in electronic music history –
and the musicians who use them. Fact Magazine. Verkkosivu. Viitattu
30.11.2022. <https://www.factmag.com/2016/09/15/14-most-important-synths/>

Wilmering, Thomas & Moffat, David & Milo, Alessia & Sandler, Mark. 2020. A
History of Audio Effects. MDPI. Viitattu 4.11.2022. <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/3/791>

Wreglesworth, Rob. 2022. Most popular DAW software 2022. Musician's Hq.
Verkkosivu. Viitattu 15.11.2022. <https://musicianshq.com/most-popular-daw-software-which-daw-do-most-producers-use/>

Zölzer, Udo. 2011. DAFX: Digital Audio Effects, Second Edition. Wiley.

LIITTEET

Liite 1. Delay-efektin esittely. <https://youtu.be/5esYBKd-kfQ>

Liite 2. Sean Costellon blogi kaikuefektin ohjelmoimisesta. <https://valhal-ladsp.com/2021/09/20/getting-started-with-reverb-design-part-1-dev-environments/>