



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Raouf Fahandezh Saadi

# Musiikkikappaleen jälkikäsittely digitaalista jakelua varten

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Tieto- ja viestintätekniikka

Insinöörityö

19.11.2020

Tekijä Otsikko	Raouf Fahandezh Saadi Musiikkikappaleen jälkikäsitteily digitaalista jakelua varten
Sivumäärä Aika	39 sivua 19.11.2020
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Tieto- ja viestintäteknikka
Ammatillinen pääaine	Mediateknikka
Ohjaaja	Lehtori Toni Spännäri
<p>Insinööriyön tarkoituksena oli suorittaa musiikkikappaleelle jälkikäsitteily tai paremmin tunnettuna miksaus ja masterointi, jotta kappaleesta saadaan mahdollisimman laadukas digitaaliseen jakeluun ja niin, että se täyttää musiikin jakelukanavien standardit. Masteroinnin jälkeen tutustuttiin musiikin jakelupalveluihin ja niiden eroihin. Työ toteutettiin kotistudiossa käyttäen tietokoneohjelmistoa ja tarvittavaa välineistöä, kuten ulkoista äänikorttia, studiomonitoreja sekä myös kuulokkeita yksityiskohtia varten. Huonetta oli käsitelty akustisilla elementeillä, mutta matalat taajuudet huoneessa aiheuttivat edelleen ongelmia huoneen akustiikassa.</p> <p>Miksauksessa tavoitteena oli luoda kolmiulotteista vaikutelmaa kappaleeseen ja tasapainottaa elementtien voimakkuuksia käyttämällä erilaisia äänenkäsittelytyökaluja. Masteroinnissa taas tavoitteena oli käsitellä kappale vastamaan markkinastandardeja.</p> <p>Musiikkikappaleessa oli 20 raitaa, ja ne oli äänitetty etukäteen laadusta huolta pitäen. Tyyliltään kappale oli hiphop-henkistä, joten miksausessa keskityttiin eniten rap-vokaalien esiin tuomiseen.</p> <p>Hyvällä suunnittelulla työ oli sujuvaa, mutta vaikeuksia tuli esimerkiksi raitojen määrän kanssa, kun ne kaikki piti mahduttaa stereokuvaan. Myös voimakkuustasapaino oli hankalaa korkean raitamäärän vuoksi. Työn tavoitteisiin päästiin, ja kappale oli onnistunut niin teknisesti kuin musiikillisesti.</p>	
Avainsanat	miksaus, masterointi, daw

Author Title	Raouf Fahandezh Saadi Post-processing of music track for digital distribution.
Number of Pages Date	39 pages 19 November 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Information and Communications Technology
Professional Major	Media Technology
Instructor	Toni Spännäri, Senior Lecturer
<p>The purpose of the thesis was to perform a music track mixing and mastering, in order to make the song as high-quality as possible for digital distribution. The goal was to meet the standards of music distribution channels. This project also introduces music distribution services and discusses their differences. The whole work was done in a home studio using computer software and the necessary equipment, such as an audio interface, studio monitors and headphones in some cases. The room had been treated with acoustic elements, but the low frequencies in the room caused problems in the acoustics of the room.</p> <p>The goal of the mix was to create a three-dimensional impression in the song and to balance the levels of the elements, using different sound processing tools. In mastering, on the other hand, the goal was to process the song to meet market standards.</p> <p>The song had 20 tracks and they were pre-recorded with high quality. The song's genre was hip-hop, so the mix focused mostly on bringing out the rap vocals.</p> <p>With good planning, the workflow was straightforward, but there were some difficulties with the number of tracks, for example, when they all had to fit into a stereo image. Level balancing was also difficult due to the high number of tracks. The goals of the work were achieved, and the song was successful both technically and musically.</p>	
Keywords	mixing, mastering, daw

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Esivalmistelut ja välineistö	2
2.1	Ääni	2
2.2	Nauhoittaminen ja ääniraidat	4
2.3	Ohjelmisto ja äänikortti	6
2.4	Kaiuttimet ja kuulokkeet	8
2.5	Työtila ja akustiikka	10
3	Miksaus	13
3.1	Miksaus yleisesti	13
3.2	Voimakkuustasapaino	14
3.3	Stereokuva	15
3.4	Taajuuskorjaus	17
3.5	Dynamiikka	19
3.6	Tila ja syvyys	21
4	Masterointi	22
4.1	Masteroinnin tavoite	22
4.2	Masteroinnin pääpiirteet	23
5	Jälkikäsittelyn toteutus	25
5.1	Miksaus	26
5.2	Masterointi	32
5.3	Kappaleen vieminen digitaaliseen jakeluun	35
6	Yhteenveto	36
	Lähteet	38

## Lyhenteet

DAW	Digital Audio Workstation eli digitaalinen työasema äänen käsittelyyn
WAV	Waveform Audio File Format. Pakkaamaton tiedostomuoto, joka säilyttää laadun
EQ	Ekvalisaattori eli taajuuskorjain, jolla voi säätää tietyn taajuusalueen äänenvoimakkuutta

## 1 Johdanto

Musiikin jakeluprosessi tuotantovaiheesta itse jakeluun on helpottunut merkittävästi digitalisoitumisen myötä, ja koko prosessi on mahdollista toteuttaa poistumatta kotoa kertaakaan. Kotistudiot mahdollistavat musiikin tuottamisen matalalla kynnyksellä, ja digitaaliset jakelupalvelut pitävät huolen musiikin julkaisemisesta kaikkiin suoratoistopalveluihin.

Insinöörityössä toteutetaan musiikkikappaleen jälkikäsitteily, jotta kappaleesta saadaan mahdollisimman laadukas ja hyväkuuloinen digitaaliseen jakeluun. Musiikkituotannossa jälkikäsitteily on vaihe, jossa äänitetty kappale miksataan, masteroidaan ja vietään oikeaan formaattiin. Miksausken tarkoituksena on luoda tasapaino jo ennalta nauhoitettujen ääniraitojen välille ja saada ne kuulostamaan hyvältä kokonaisuudelta. Masteroinnissa kappaleen äänenvoimakkuus vielä tasapainotetaan vastaamaan kaupallisia standardeja.

Jälkikäsitteily tehdään kotistudiossa, jossa välineistö on laadukasta ja työtilan akustiikkaa on paranneltu akustiikkaelementeillä. Välineistöön kuuluvat MacBook Pro -tietokone, jossa on MacOS-käyttöjärjestelmä sekä digitaalinen työasema, ulkoinen äänikortti, monitorikaiuttimet ja kuulokkeet. Digitaalisena työasemana käytetään Applen Logic Pro X -ohjelmistoa.

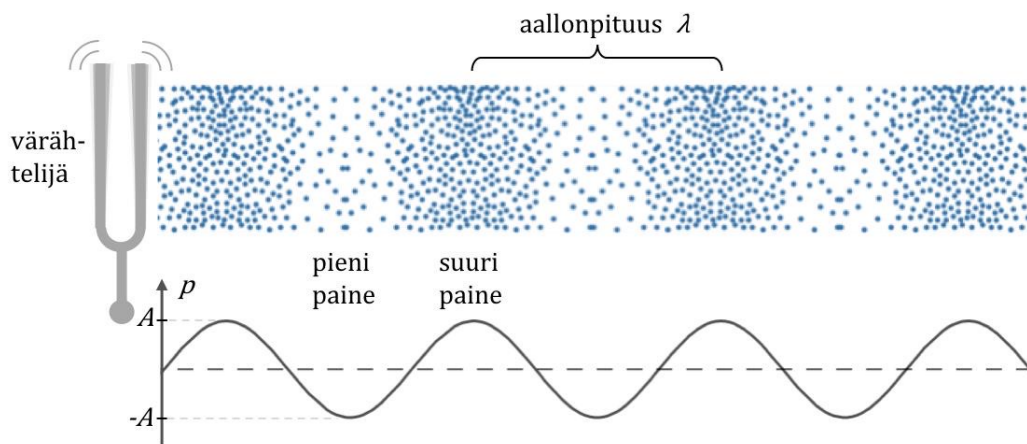
Insinöörityön tavoitteena on selvittää, miten musiikkikappale tulisi käsitellä digitaalisesti, jotta se pystyisi vastaamaan tämänhetkisten markkinoiden standardeja laadullisesti. Ei kuitenkaan mennä liian syväälle jälkikäsitteilyn osissa, vaan tavoitteena on ymmärtää tärkeimmät periaatteet ja se, miten niitä voi soveltaa käytännössä. Lisäksi tutkitaan digitaalista jakelua ja sitä, miten kappaleen voi julkaista suoratoistopalveluihin.

Työ tehdään D4NI-nimiselle itsenäiselle artistille, joka kilpaili vuoden 2020 YleX Nosteessa -kilpailussa ja pääsi neljän parhaan joukkoon. Tyylliltään käsiteltävä kappale on hiphop-henkistä, mikä on myös hyvä ottaa huomioon jälkikäsitteilyssä.

## 2 Esivalmistelut ja välineistö

### 2.1 Ääni

Äänen jälkikäsitteilyä varten on hyvä tutustua myös äänioppiin eli akustiikkaan. Ääntä havainnoidaan fysiikassa pitkäikäisenä aaltoliikkeenä, joka syntyy äänilähteen, kuten kitaran kielen, värähtelystä ja saa aikaan peräkkäisiä harventumia ja tiheytyksiä väliaineissa, kuten ilmassa [kuva 1]. Ääni on siis äänilähteen luomasta aaltoliikkeestä aiheutuvaa ilmapaineen vaihtelua. Korkeus ja voimakkuus ovat äänen kuultavia ominaisuuksia. [1.]



Kuva 1. Äänilähteen värähtelyn synnyttämä ilmapaineen vaihtelu [1].

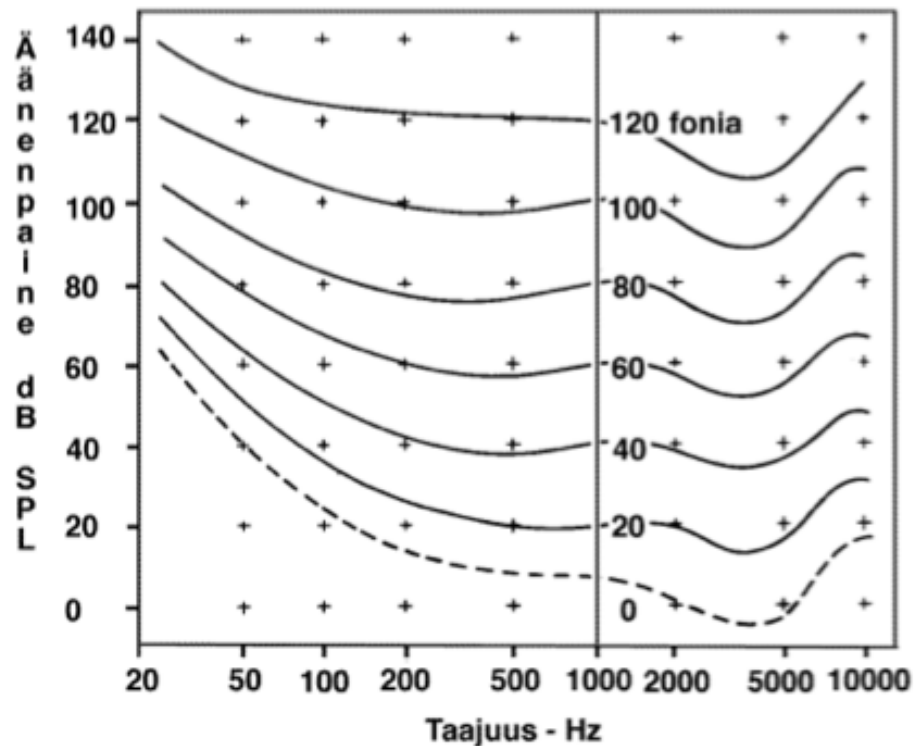
Taajuus kertoo ääniaallon värähtelyjen määrän sekunnissa eli sen tiheyden, ja tämä taas vaikuttaa kuultavan äänen korkeuteen. Ääni aistitaan sitä korkeampana, mitä nopeammin kappale värähtelee, ja sitä matalampana, mitä hitaammin se värähtelee. Taajuuden yksikkö tunnetaan nimellä hertsi (tunnus Hz). Ihmiskorvan kuuloalue on 20–20 000 hertsiä, mikä tarkoittaa, että matalin ääni, jonka ihminen pystyy havaitsemaan, on 20 hertsiä ja korkein ääni 20 000 hertsiä. Taajuusvaste kuvaa, miten äänilaitteen ulostulon voimakkuus käyttäytyy eri taajuuksilla, eli millä taajuuksilla se on vahvempi kuin toisilla. [2.]

Äänenvoimakkuutta kuvataan yksiköllä desibeli (tunnus dB), joka ei itsessään ole tietyn suureen mittayksikkö, vaan se on kahden eri tason logaritminen suhdeluku. Kun mitataan äänenpainetta, käytetään yksikköä dB SPL (Sound Pressure Level), ja sen vertailutasona on ihmisen kuulokynnys keskitaajuuksilla eli 1 000–4 000 hertsin alueella. Hiljaisin ääni, jonka ihminen pystyy aistimaan, on siis 0 dB SPL. Ihmisen kipukynnys sen sijaan on 120 dB SPL eli 120 dB korkeampi kuin kuulokynnys. Äänenpaineen kaksinkertaistuksessa äänenpainetaso nousee 6 dB SPL ja puolittuessa laskee 6 dB SPL. [3, s. 53.]

Äänen kuultava voimakkuus riippuu myös äänen taajuudesta. Herkimmillään korva on 2 000–5 000 hertsin alueella, ja se heikkenee kohti korkeampia ja matalampia taajuuksia [1]. Kun mitataan ihmiskorvan kuulemistä, puhutaan subjektiivisesta äänenvoimakkuudesta eli äänekkyydestä (engl. loudness level), joka kuvaa äänen todellista aistimusta. Äänekkyyden mittayksikkö on foni, ja sitä kuvataan Fletcher–Munson-käyrästä avulla [kuva 2], joka kuvaa kuulon suhteellista herkkyyttä äänenkorkeuteen verrattuna. Käyrästä voidaan havaita, että foniasteikko vastaa desibeliasteikkoa ainoastaan 1 000 hertsin taajuudella. Käyrästä korkein käyrä kuvaa kipukynnystä ja matalin käyrä kuulokynnystä. [3, s. 53–54.]

Kun taas käsitellään digitaalista audiosignaalia, käytetään dBFS-asteikkoa, jossa nollakohta ei vastaakaan hiljaisuutta, vaan suurinta turvallista äänenvoimakkuutta. Jos signaali ylittää 0 dBFS:n (engl. Decibels relative to full scale) rajan, sen huippu leikkautuu ja saa aikaan säröä eli ”klippaa” (engl. clip). Digitaalista audiosignaalia käsitellessä on siis erittäin tärkeää työskennellä tämän rajan sisällä, ja tavoitteena on saada koko projektin äänenvoimakkuus tähän tilaan. Digitaaliäänityksessä pyritään kuitenkin aina jättämään turvavaraa signaalin huipun ja nollakohdan väliin (engl. headroom). Tämä tila jätetään jälkikäsitteilyä varten, jolloin signaalia saatetaan vahvistaa eri työkalujen avulla. [4.]





Kuva 2. Fletcher–Munson-käyrästä, joka kuvaa subjektiivista äänenvoimakkuutta [3, s. 54].

## 2.2 Nauhoittaminen ja ääniraidat

Yksi tärkeimmistä huomioista musiikin jälkikäsittelyssä on, ettei jälkikäsittely pelasta huonosti nauhoitettua kappaletta. Jälkikäsittelyn tavoitteena ei ole tehdä huonosti nauhoitettua kappaletta hyväkuuloista, vaan tehdä hyvin nauhoitetusta kappaletta vielä paremmankuuloista. Kun nauhoitus on puhdasta ja laadukasta, myös miksausvaihe sujuu sulavammin eikä tarvitse käyttää ylimääräistä aikaa äänityksen virheiden korjaamiseen. [5.]

Nauhoituksen lopputulokseen vaikuttaa äänenlaatu ja suoritus. Ääniteknikon tehtävä on asettaa nauhoitusta varten sopivat äänentaset ja muut tarpeelliset asetukset, ja nauhoitettava henkilö pitää huolen suorituksen laadusta. [5.]

Tässä työssä käytettävät ääniraidat on nauhoitettu samassa kotistudiossa, kuin missä jälkikäsitteily toteutetaan. Kun äänitteet viedään tiedostoksi, täytyy pitää huolta, että tiedostomuoto on pakkaamaton ja korkealaatuinen. Tämä takaa sen, että äänitiedosto vastaa mahdollisimman paljon alkuperäistä äänitettä, menettämättä dataa. Äänitiedoston laatuun vaikuttavat tiedostomuoto, bittisyvyys ja näytteenottotaajuus [2].

Jotta päästään haluttuun lopputulokseen, tulisi tiedostojen laadun olla vähintään CD-tasoista. Tämä tarkoittaa sitä, että äänitiedoston bittisyvyyden tulisi olla vähintään 16 bittiä ja näytteenottotaajuuden 44 100 hertsiä. Kuitenkin olisi hyvä, jos laatu olisi korkeampi, jolloin tiedostoon saadaan tallennettua enemmän dataa. [2.]

Bittisyvyydellä tarkoitetaan mittaustarkkuutta eli sitä, kuinka yksityiskohtaisesti äänisignaalia tallennetaan digitaaliseen muotoon. Tämän ymmärtämiseen voidaan käyttää esimerkkinä digikameralla otetun valokuvan pikseleitä. Mitä enemmän kuvassa on pikseleitä, sitä tarkempi kuva on. Näytteenottotaajuus taas ilmoittaa audiosignaalin näytteiden määrän, jonka esimerkiksi tietokone vastaanottaa sekunneissa. [2.]

Näytteenottotaajuuden standardi on ollut jo pitkään aiemmin mainittu 44 100 hertsiä. Tämä lukema on saatu Nyquistin teoreeman perusteella, jonka mukaan näytteenottotaajuuden tulisi olla vähintään kaksi kertaa suurempi kuin korkeimman käytettävän äänen taajuus. 44 100 hertsissä kuitenkin käytetään ihmisen kuuloalueen korkeinta taajuutta ja lisätään siihen pieni turvavara, jotta äänen muuntaminen digitaaliseen muotoon olisi tarkkaa. [2.]

Tämän työn äänitteet on viety pakkaamattomiksi WAV-tiedostoiksi (Waveform Audio File Format). Tiedostojen näytteenottotaajuus on standardin mukainen 44 100 hertsiä ja bittisyvyys 24, hyvän laadun takaamiseksi.

### 2.3 Ohjelmisto ja äänikortti

Digitaalisessa musiikkituotannossa työasemasta käytetään nimitystä Digital Audio Workstation (lyhyesti DAW). Kun ennen työasema oli kokonaisuudessaan analoginen ja jokaiselle efektille oli oma fyysinen laitteensa, nykyään kaikki mahtuu tietokoneohjelmistoon. DAW-ohjelmia on paljon erilaisia, mutta ne ajavat suurimmaksi osaksi samaa asiaa. Yhteisenä tekijänä kaikissa on yleensä äänikirjasto, erilaiset äänenkäsittelytyökäkalut, työpöytä ja mikseri. Lisäksi työasemiin on mahdollista asentaa liitännäisiä (engl. plugin) [5]. Liitännäisten formaatti on universaali, joten ne ovat yleensä yhteensopivia lähes kaikkien työasemien kanssa.

Tähän työhön valittiin Applen Logic Pro X -ohjelmisto, joka on suosittu sekä ammattilaisten että harrastajien keskuudessa [kuva 3]. Suosiota kuitenkin vähän laskee se, että Logic on saatavilla ainoastaan MacOS-käyttöjärjestelmälle.



Kuva 3. Applen Logic Pro X -työasema.

Yksi tärkeimmistä välineistä musiikkituotannossa, etenkin kotistudiossa, on ulkoinen äänikortti (engl. audio interface). Ulkoiset äänikortit ovat laadukkaampia kuin tietokoneiden sisäänrakennetut äänikortit, ja niiden avulla analogiset välineet kuten monitorikaiuttimet ja mikrofoni kytketään tietokoneeseen. Erityisesti jälkituotannossa on tärkeää käyttää hyvää äänikorttia, sillä sen tuoma äänenlaatu selkeyttää taajuuksien erottamisen paremmin.

Tässä työssä äänikorttina toimi Universal Audion valmistama Apollo Twin MKII Duo, joka on erittäin laadukas ulkoinen äänikortti [kuva 4]. Apollo-sarjan äänikortit ovat maailman suosituimpien joukossa, eikä tämä ole ainoastaan niiden korkean äänenlaadun ansiota. Universal Audiolla on oma liitännäiskirjasto, UAD Powered Plug-Ins, jonka liitännäiset ovat emulaatioita analogisista klassikkolaitteista, eikä niitä ole mahdollista käyttää ilman Apollo-äänikorttia. UAD-liitännäiset voivat olla hyvin raskaita, ja siksi äänikorteissa on sisäänrakennettu DSP-prosessori, joka prosessoi UAD-liitännäiset kuormittamatta tietokonetta. [11.]



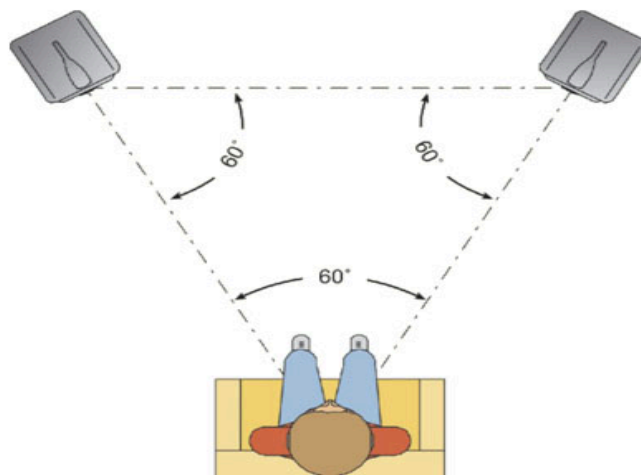
Kuva 4. Työssä käytettävä Universal Audion Apollo Twin MKII Duo -äänikortti [6].

## 2.4 Kaiuttimet ja kuulokkeet

Studiotyöskentelyyn tarkoitettuja kaiuttimia kutsutaan monitoreiksi. Monitorikaiuttimien rooli on hieman monimutkainen. Periaatteessa ne ovat tärkein elementti äänentoistoketjun lopussa, mutta huonolla asettelulla ja mitoituksella ne voivat muuttaa koko projektin suuntaa.

Monitorikaiuttimia käytetään, koska ne kattavat koko dynaamisen kentän eli esimerkiksi musiikkikappaleen voimakkaimman ja hiljaisimman kohdan eron. Monitorien taajuusvaste on suhteellisen neutraali, eli ne toistavat äänen ilman suurempaa taajuuksien korostamista tai heikentämistä, ja tämän myötä signaali on todenmukaista. Näin kuuntelija pystyy helpommin erottamaan käsiteltävän äänen ongelmat. Esimerkiksi hifikaiuttimissa korostetaan tiettyjä taajuuksia, mikä saa kappaleen kuulostamaan paremmalta, mutta jos niitä käytetään miksaamiseen, ulos tuleva audiosignaali voi olla vääristynyttä. [5.]

Kaiuttimien asetteluun on olemassa muistisääntö, jonka avulla se tehdään oikeaoppisesti. Monitorit tulee asettaa niin, että ne ovat yhtä kaukana toisistaan sekä kuuntelijasta ja muodostavat tasasivuisen kolmion [kuva 5]. Lisäksi, jotta stereokuvasta saadaan mahdollisimman tarkka, monitorien suunta tulisi olla kuuntelijaa kohti. [7.]



Kuva 5. Kaiuttimien muodostama tasasivuinen kolmio [8].

Tässä työssä käytössä oli KRK RP5G3 -aktiivistudiomonitorit (kuva 6). Nämä aktiivimonitorit ovat erittäin suuressa suosiossa kotistudioissa erinomaisen hinta-laatusuhteensa ansiosta. Aktiivimonitoreilla tarkoitetaan studiomonitoreita, joissa on sisäänrakennetut vahvistimet ja näin ollen kumpikin kaiutin tarvitsee oman virtalähteen [7].



Kuva 6. Työssä käytetyt KRK RP5G3 -aktiivistudiomonitorit [9].

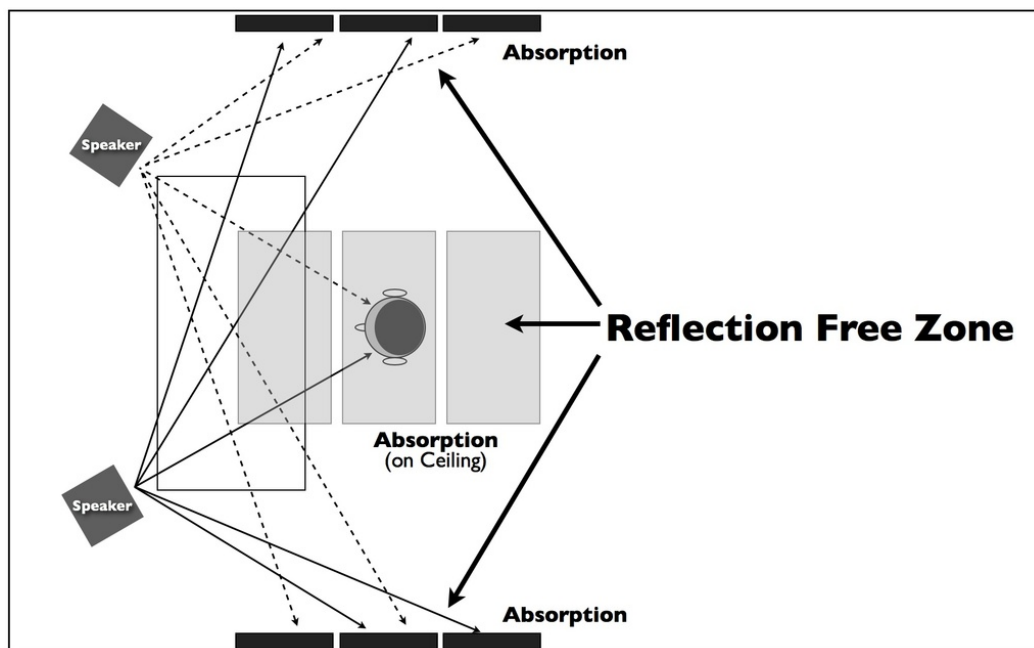
Jokaisen studion peruskalustoon kuuluvat myös kuulokkeet. Joissain tapauksissa kuulokkeet voivat olla jopa kaiuttimia tärkeämpi kuunteluväline. Studioissa kuulokkeilla on kaksi käyttötarkoitusta. Ensinnäkin nauhoituksen seuraaminen kuulokkeilla estää sen, ettei mikrofoniin vuoda muita ääniä, esimerkiksi kappaleen muut instrumentit. Toiseksi kuulokkeita käytetään vaihtoehtoisena miksauksen tai masteroinnin kuunteluvälineenä, jolla voidaan löytää ongelmat, joita ei kaiuttimilla erota. [7.]

Samoin kuin monitorikaiuttimissa, myös studiokuulokkeissa tulisi olla neutraali taajuusvaste, ja niiden tulisi kattaa koko dynaaminen alue [7]. Tässä työssä käytettiin Audio Technican ATH-M50 X -kuulokkeita, joista oli apua erityisesti matalien taajuuksien käsittelyssä.

## 2.5 Työtila ja akustiikka

Työtilan akustiikalla on erittäin suuri rooli musiikki tuotannossa ja siinä, miten kappale kuullaan. Kun ääniaalto lähtee kaiuttimista, se leviää ja kimpoilee kovista pinoista joka puolelle aina uudestaan luoden kaikua ja vääristymiä. Ääniaallot ovat eri pituisia riippuen niiden taajuuksista, ja näin ne kimpoilevat eri tavalla. Lisäksi työhuone vielä vahvistaa tiettyjä taajuuksia riippuen huoneen koosta ja muodosta. Näiden ongelmien myötä kuunteleminen vaikeutuu huomattavasti eri hälyjen ja jälkikaikujen syntyessä eikä korvaan tuleva ääni ole enää todenmukaista. [7.]

Huoneen akustiikkaa on mahdollista parantaa erilaisten absorboivien akustiikkaelementtien avulla, jotka sijoitettuna oikeisiin kohtiin vähentävät äänen kimpoilua ja korjaavat vääristymistä. Erityisen tärkeitä kohdat huoneessa, jotka tulisi käsitellä, ovat kaiuttimien ensimmäiset kimpoamispisteet. Näitä pisteitä ovat yleensä sivuseinät, takaseinä, katto ja usein myös työpöytä, joista kriittisimmät on sivuseinät [kuva 7]. Bassotaajuuksia taas vaimennetaan huoneen kulmiin asennettavilla bassoansoilla. [10.]



Kuva 7. Kaiuttimien ensimmäiset kimpoamispisteet [10].

Myös työpisteen oikeaoppisella asettelulla on vaikutusta siihen, miten äänet kuullaan. Työpiste tulisi asettaa symmetrisesti niin, että sen etäisyys molempiin sivuseiniin on yhtä pitkä. Jos matka ei ole yhtä pitkä, ääni kimpoaa sivuseiniin eri aikaan ja saapuu korviin eri aikaan. Lisäksi on tärkeää, että molemmat sivuseinät ovat samaa materiaalia, jolloin äänen kimpoaminen on samankaltaista molempiin suuntiin. [2.]

Joskus kuitenkin halutaan luonnollista kaikua erilaisten soittimien tai laulun äänityksessä. Tästä syystä monissa ammattistudioissa äänitystila ja kontrollihuone on erotettu toisistaan, jolloin huoneisiin on mahdollista saada erilainen akustiikka. Kontrollihuone on se huone tai tila studiossa, jossa hallitaan ja monitoroidaan tuotantoa, ja tästä syystä huoneen kaiku halutaan minimoida. Joissain ammattistudioissa on jopa monia erilaisia ja erikokoisia kaikukammioita, joissa on halutun tyyppisiä kaikuja eri äänitystarpeisiin. Joissain studioissa taas on käytetty paljon erilaisia materiaaleja samassa huoneessa, jolloin huoneen eri kohdissa vallitsee erilainen akustiikka. [21.]

Kotistudiossa kuitenkin äänitys ja monitorointi tehdään usein samassa huoneessa rajallisen tilan vuoksi, jolloin keskitytään enemmän kaikujen poistamiseen kuin niiden luomiseen. Kotistudio-olosuhteissa hyvinä luonnollisina eristeinä toimivat erilaiset tekstiiliset huonekalut kuten sohva ja sänky niiden korkean tiheyden ansiosta. Myös lattialla oleva matto ja verhot vähentävät huoneen kaikua ja äänen kimpoilua. Nauhoittaessa taas mikrofoniin sijoittamisella voidaan saavuttaa haluttu akustiikka. Usein hyvänä kohtana nauhoittamiselle toimii huoneen keskipiste. [22.]

Tämä työ toteutettiin kotistudiossa [Kuva 8], jolle oli varattu oma huone asunnosta ja huoneen akustiikkaa oli paranneltu akustiikkaelementeillä. Ainoa ongelma huoneen akustiikassa olivat matalien taajuuksien aiheuttamat pienet kaiut, vaikka niitä oli pyritty korjaamaan kuvassa 8 näkyvillä, ei niin laadukkailla akustiikkaelementeillä. Tästä syystä matalia taajuuksia käsitellessä käytettiin apuna kuulokkeita. Paksut verhot ja matto olivat myös parantamassa huoneen akustiikkaa. Aiemmin tämä studio oli ollut aina samassa huoneessa sohvaa tai sängyn kanssa, ja oli yllättävää huomata, kuinka suuren eron ne saivat aikaan verrattuna siihen, kun niitä ei enää ollut.



Nurkkiin sijoitetut akustiikkaelementit olivat siirrettäviä, ja siksi niistä voi muodostaa pienen mikrofoniakopin äänitystilanteessa. Ylipäätään tässä studiossa oli pyritty panostamaan mobiilisuuuteen, jolloin studiota voi muuttaa tilanteeseen sopivaksi. Siirrettävistä elementeistä olisi myös paljon hyötyä mahdollisen muuton yhteydessä. Monet akustiikkaelementit pitää liimata seinään, ja niiden irrottaminen usein vaurioittaa seinää. Aiempien kokemusten pohjalta tässä studiossa oli haluttu välttää liimaamista, ja siksi oli käytetty siirrettäviä elementtejä tai kiinnitykset oli tehty taulunkiinnityspaloilla.

Fyysisen työaseman sijoittamisessa oli otettu huomioon huoneen mitat, ja se oli sijoitettu keskelle takaseinää, jolloin molempiin sivuseiniin oli yhtä pitkä etäisyys. Monitorikaiuttimet oli myös sijoitettu oikeaoppisesti tasasivuseen kolmioon. Matalia taajuuksia lukuun ottamatta huoneen akustiikka toimi moitteettomasti. Myös matalien taajuuksien ongelma oltiin ratkomassa tulevaisuudessa, laadukkailla bassoansoilla.



Kuva 8. Työpiste, jossa jälkikäsittely toteutettiin.

### 3 Miksaus

#### 3.1 Miksaus yleisesti

Miksauksen keskeinen ajatus on luoda tasapaino yksittäisten ääniraitojen välille, jotta ne kuulostavat yhdessä mahdollisimman hyvältä kokonaisuudelta. Miksaamista voidaan verrata esimerkiksi ruoanlaittoon, jossa raaka-aineena toimivat nauhoitetut ääniraidat. Raaka-aineet sellaisenaan annosteltuna kulhoon eivät luo makuelämystä, mutta kun ne valmistetaan oikeassa järjestyksessä, oikealla lämpötilalla ja oikein maustettuna, ne voivat luoda herkullisen kokonaisuuden. Sama pätee miksausessa. Jos kappaleen kaikki ääniraidat kootaan yhteen sellaisenaan ja soitetaan kuuntelijalle, kokemus voi olla hyvin epämiellyttävä. Sen sijaan, jos ääniraidat laitetaan soimaan oikeassa järjestyksessä, oikealla voimakkuudella ja sopivasti maustettuna, kuuntelija kokee nautintoa kokonaisuudesta. [5.]

Miksaus, kuten ruoanlaittokin, on luova prosessi. Molempiin kuuluu paljon tekniikoita ja tapoja, joilla asiat tehdään, mutta ei ole määritetty, että on ainoastaan yksi tapa tehdä ne. Miksaus on luova puoli pohjautuu musiikin sanoman ja tunnelman vahvistamiseen ja välittämiseen. Ennen miksaus aloittamista kannattaa pohtia seuraavia asioita:

- Mistä kappale kertoo?
- Mitä tunnetiloja kappale pitää sisällään?
- Minkä viestin artisti haluaa välittää?
- Miten kappaleen tunnelmaa voi kohentaa?
- Miten kuuntelija reagoi kappaleeseen? [12.]

Miksauksessa myös soonisella laadulla on suuri merkitys. Ihminen arvostaa korkealaatuisia musiikkia. Kalliista äänentoistojärjestelmästä ei ole hyötyä, jos soitettavan musiikin laatu ei saavuta samaa. Teknologian kehityksen myötä äänentoisto on kehittynyt nopeasti. Jopa nykypäivän puhelimen kaiuttimet kuulostavat paremmalta kuin 1950-luvun äänentoistojärjestelmät. [12.]

Digitalisoitumisen myötä miksaamisen mahdollisuudet ovat rajattomat. Tämä on sekä hyvä että huono asia. Ennen oli vähemmän valinnanvaraa laitteistossa ja raitojen määrä oli suppea, koska kaikki oli analogista ja kaikki tarvittiin fyysisenä. Jouduttiin käyttämään enemmän luovuutta ja työskentelemään sillä, mitä oli. Nykyään digitaaliseen työasemaan saa satoja raitoja sekä lukemattoman määrän äänenkäsittelytyökaluja ja digitaalisia soittimia. On niin paljon valinnanvaraa, että on vaikea keskittyä luovuuteen, ja huomaa helposti, että on käsitellyt ääntä liikaa, monilla tarpeettomilla työkaluilla. Vaikka mahdollisuuksia on loputtomiin, on olemassa toimenpiteitä, joita hyvä miksaus pitää lähes aina sisällään. Näitä toimenpiteitä ovat seuraavat:

- Luoda voimakkuustasapaino eri instrumenttien välille.
- Sijoittaa äänet stereokenttään luoden stereokuvaa.
- Tehdä taajuuskorjaus, jotta äänet eivät kamppaile samoilla taajuuksilla keskenään ja ovat halutun sävyisiä.
- Parantaa äänien dynamiikkaa.
- Luoda kaiuilla ja viiveillä tilaa ja syvyyttä.
- Lisätä efekteillä kappaleen viehätystä. [2.]

Nämä tekniikat huomioon ottaen tavoitteena oli luoda miksaus, joka on täyteläinen ja antaa kolmiulotteisen vaikutelman kuuntelijalle. Seuraavissa luvuissa syvennytään näihin toimenpiteisiin ja tutkitaan, mitä työkaluja voidaan käyttää niiden toteuttamiseen.

### 3.2 Voimakkuustasapaino

Voimakkuustasapaino on miksausksen tärkein vaihe. Siinä säädetään jokaisen instrumentin voimakkuustaso niin, että ne luovat tasapainoisen kokonaisuuden. Täytyy ottaa huomioon, että miksatessa instrumenttien äänentasot asetetaan verrattuna toisiinsa. Siksi työaseman raitojen voimakkuudensäädöt eivät mene kappaleen voimakkuuden mukaan, vaan riippumatta instrumenttiraidan voimakkuudesta ne on aina asetettu nolnaan uusia projektiraitoja luotaessa. [5.]

Kun säädetään äänentasoja tai miksataan ylipäättään, voidaan miettiä instrumentin roolia ja sen tärkeyttä kappaleessa, koska tärkeämmät elementit halutaan kuulla paremmin ja tuntea voimakkaampana. Tasapainotus on myös hyvä aloittaa aina tärkeimmistä instrumenteista ja suhteuttaa muut instrumentit sen mukaan. Yleisesti, jos kappaleessa on vokaaleja eli laulua, päälauluraitaa pidetään tärkeimpänä elementtinä ja siitä aloitetaan. Vokaalien jälkeen siirrytään seuraavaan instrumenttiin, genrestä riippuen. Tämä ei kuitenkaan ole sääntö, jota olisi pakko noudattaa. Kukin voi miksauksessa valita oman työkulkunsa. [5.]

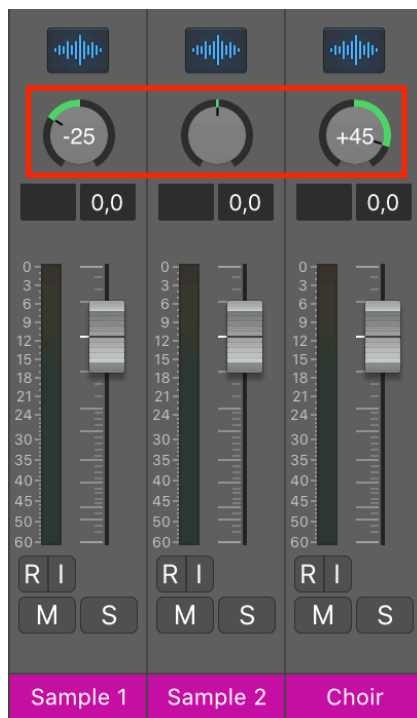
Voimakkuuden tasapainottaminen on ainoa osio miksauksessa, johon palataan aina uudestaan. Tämä johtuu siitä, että jokaisen toimenpiteen jälkeen instrumentin voimakkuus muuttuu hieman, joten on tärkeää tasapainottaa äänentasot aika ajoin. Välillä halutaan, että instrumentin äänentaso muuttuu kappaleen osien välissä, jolloin äänentaso voidaan automaatiotyökalulla asettaa muuttumaan kappaleen etenemisen myötä. Automaatiota voidaan tehdä muihinkin efekteihin ja työkaluihin, eli se ei ole ainoastaan sidoksissa äänentasoihin. [12.]

Kun suhteelliset äänentasot on asetettu, kappale kuulostaa jo heti paremmalta, koska on määritetty, mihin elementteihin kuuntelijan tulee keskittyä ja mitkä elementit jäävät taakse. Kolmiulotteisessa vaikutelmassa äänentasot luovat kuvaa, että instrumentti on lähellä tai kaukana, mikä luo pientä syvyyttä kappaleeseen. [13.]

### 3.3 Stereokuva

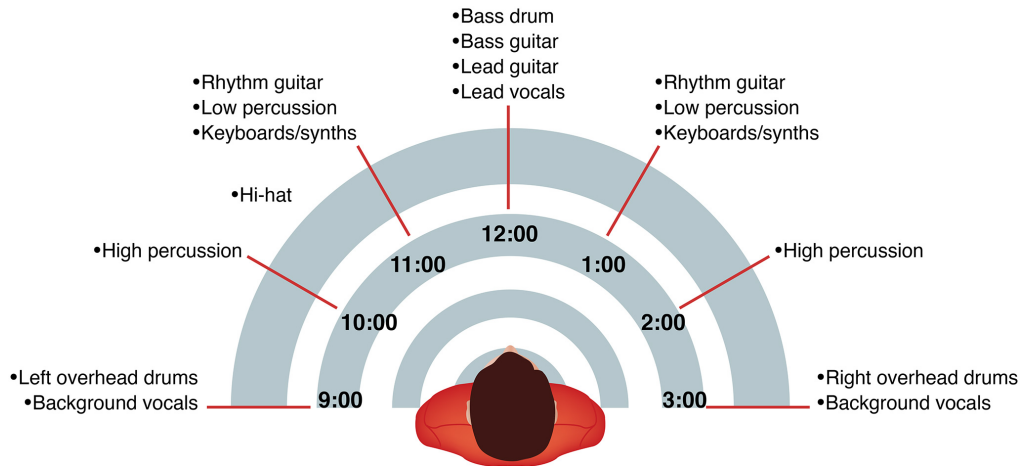
Kun kaiuttimet asetettiin suorasuviiseen kolmioon, puhuttiin stereokuvasta. Stereokuvassa kahden kaiuttimen tuottama ääni yhdistyy antaen vaikutelman, että ääni tulee keskeltä. Tämän avulla instrumentit voidaan asettaa stereokuvassa myös vasemmalta oikealle, mikä luo leveysvaikutelmaa. Stereokuvaa luodessa jokaiselle instrumentille löydetään oma paikka, jolloin ne eivät kamppaile keskenään ja niiden erottaminen selkeytyy. Hyvänä esimerkkinä toimii orkesteri, jossa jokaisella instrumentilla on oma paikkakansa, jossa se pääsee olemaan edukseen. [5.]

Stereokuvan luomiseen käytetään panorointityökalua, joka on jokaisessa työasemassa. Kun tavallisesti ääni tulee molemmista kaiuttimista yhtä voimakkaasti, panoroimalla voidaan säätää, kuinka paljon voimakkaammin toinen kaiutin toistaa ääntä. [12.] Kuvassa 9 on kolmen ääniraidan mikserilohko, jossa punaisella merkitty alue on panorointisäädin. Vasemmanpuoleisin raita on panoroitu kevyesti vasemmalle, jolloin ääni kuuluu hieman voimakkaammin vasemmasta kaiuttimesta. Oikeanpuoleisin taas on panoroitu hieman jyrkemmin oikealle. Näin nämä kaksi ääntä eivät kohta.



Kuva 9. Panorointityökalu Logic Pro X -työasemassa.

Kun instrumentit sijoitetaan stereokuvassa, kannattaa miettiä jokaiselle sellainen paikka, jossa se ei jää toisen soittimen alle tai myöskään peitä toista. Tavoitteena on hajauttaa soittimet mahdollisimman monipuolisesti, niin että stereokuva täyttyy. Se, mihin mikäkin instrumentti sijoitetaan, on miksaajasta kiinni, mutta tähänkin on ehtinyt muodostua tietynlaisia suosituksia, joita voidaan tarkastella kuvasta 10. Kuvasta voidaan myös päätellä, että stereokuva on verrattavissa kello 9.00:n ja 3.00:n väliseen alueeseen. [5.]



Kuva 10. Tyypillinen instrumenttien sijoitus stereokuvassa [5].

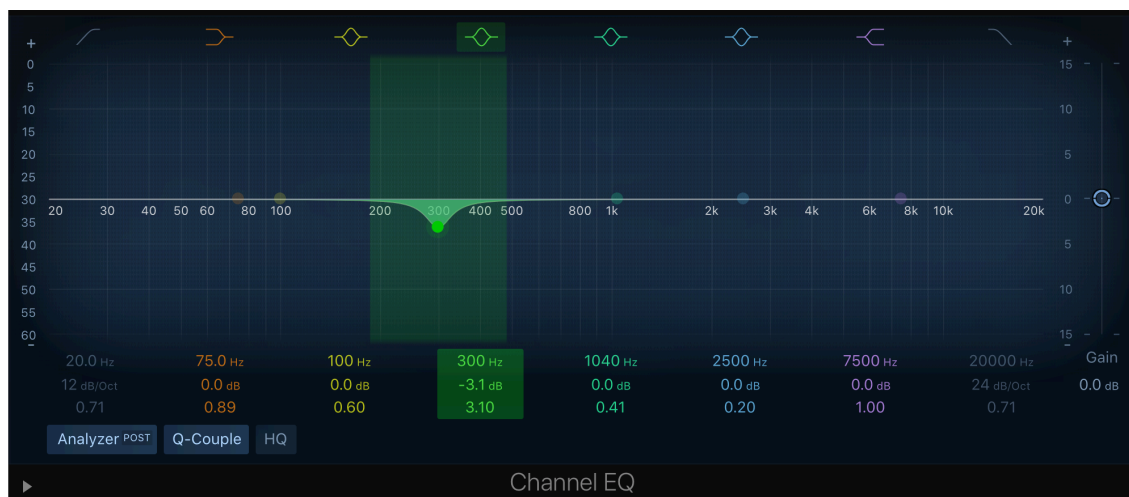
Vaikka instrumenttien sijoitteluun ei ole virallisia sääntöjä, on muutamia poikkeuksia, joita lähes aina noudatetaan. Niitä ovat instrumentit, jotka sijoitetaan keskelle stereokuva; päävokaalit, bassorumpu ja itse basso. Päävokaalit sijoitetaan keskelle, koska ne ovat yleensä kappaleen huomiopiste ja tärkein elementti. Bassorumpu ja basso taas sijoitetaan keskelle niiden matalien taajuuksien vuoksi, jotka panoroituna häiritsevät kokonaisuutta. [12.]

### 3.4 Taajuuskorjaus

Instrumentin tai laulajan ääni ulottuu laajalle taajuusalueelle, vaikka tämä laulaisikin vain yhden tietyn sävelkorkeuden tietyllä taajuudella. Äänen korkeutta värjäävät muilla taajuuksilla esiintyvät harmoniat ja resonanssiset äänet. [5.] Taajuuskorjain eli ekvalisaattori tai EQ säätää eri taajuusalueiden voimakkuustasoja toisiinsa nähden. Sillä voidaan korjata eri instrumenttien taajuuksien välistä epätasapainoa ja parantaa yksittäisten instrumentin sävyä, rikkautta ja yleistä subjektiivista vetovoimaa. [14.]

Kolmiulotteista tilaa ajatellen taajuuskorjauksella kappaleeseen luodaan korkeutta. Sen avulla pyritään kattamaan ihmisen kuuloalue eli 20–20 000 hertsiä kokonaan, niin että kappaleen jokaisella äänellä on oma paikkansa taajuusalueella häiritsemättä toista. [13.]

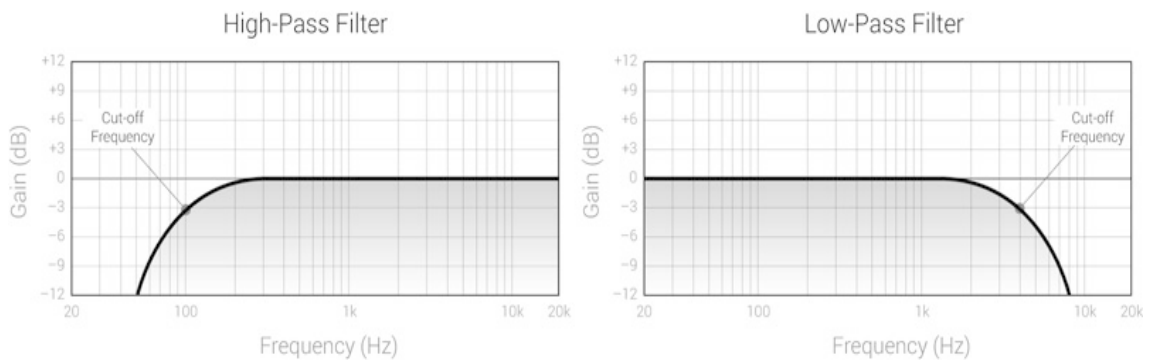
Taajuuskorjaimissa säädetään yleensä kolmea asetusta. Ensimmäinen asetus on taajuus, jolla määritetään, mitä taajuutta halutaan käsitellä. Voidaan siis valita mikä tahansa taajuus 20:n ja 20 000:n hertsin väliltä ja korostaa tai leikata sen voimakkuutta. Siitä päästään toiseen asetukseen eli voimakkuuden määrään. Sillä voidaan määrittää, kuinka monta desibeliä ääntä halutaan korostaa tai leikata. Useimmissa taajuuskorjaimissa voidaan muuttaa voimakkuutta +/-24 desibeliä, eli 24 desibeliä kumpaankin suuntaan. Viimeisellä asetuksella määritetään, kuinka isoa taajuusalueita halutaan muuttaa. Tätä kutsutaan Q-tasoksi. Mitä suuremmaksi Q-taso määritetään, sitä suurempaan alueeseen muutos vaikuttaa. [5.] Kuvasta 11 voidaan nähdä, että 300 hertsin taajuudelta voimakkuutta on leikattu 3,1 desibelin verran ja 3,10 Q-tason kokoiselta alueelta.



Kuva 11. Logic Pro X -työaseman taajuuskorjain.

Mitä taajuuksia sitten kannattaa korostaa tai leikata? Tulee miettiä, miten eri instrumentit ja äänet käyttäytyvät eri taajuusalueilla. Esimerkiksi vokaaleihin pyritään käyttämään mahdollisimman vähän taajuuskorjainta. Vokaalien kanssa työskennellessä, taajuuskorjainta tulisi käyttää vain, jos äänessä on tiettyjä vikoja tai jos kappaleen tunnelman korostamiseksi halutaan muuttaa ääntä. [5.] Vokaalit toimivat hyvänä esimerkkinä, koska tässä kappaleessa pääpaino oli vokaaleissa.

Äänien taajuusalueen korkein ja matalin kohta sisältävät usein ääniä, joita ei välttämättä edes kuulla, mutta ne voivat häiritä kappaleen muita elementtejä. Usein pyritäänkin suodattamaan nämä ylimääräiset äänet, jotta ääni olisi mahdollisimman puhdas. Tähän voidaan käyttää ali- tai ylipäästösuodatinta, riippuen siitä, halutaanko suodattaa korkeita vai matalia taajuuksia. Tämä on erittäin käytetty tekniikka taajuuskorjauksessa, ja sen avulla voidaan pitää huolta, etteivät instrumenttien taajuudet kamppaile keskenään. Kuvassa 12 näkyy, miten ylipäästösuodatin (engl. high-pass filter) leikkaa matalimpia taajuuksia ja alipäästösuodatin (engl. low-pass filter) leikkaa korkeimpia taajuuksia. [12.]



Kuva 12. Yli- ja alipäästösuodatin taajuuskorjauksessa [12].

### 3.5 Dynamiikka

Miksauksessa dynamiikkaa parannetaan kompressorilla. Periaatteessa, kun raidan äänenvoimakkuus kasvaa liian kovaksi, kompressorin käynnistyminen ja vähentää äänenvoimakkuutta. Kun äänenvoimakkuus laskee liian matalaksi, kompressorin nostaa äänenvoimakkuutta. Tuloksena on kappale tai ääniraita, joka ei ole liian kova eikä liian pehmeä ja on mukavalla äänenvoimakkuusalueella kuuntelun helpottamiseksi. Lyhyesti sanottuna kompressorin pienentää kappaleen tai yksittäisen ääniraidan dynaamista kenttää. [5.]



Kompressoreita on monia erilaisia ja moniin eri käyttötarkoituksiin, mutta yleisesti ne kaikki ajavat saman asian. Kuvassa 13 nähdään Logic Pro X -työaseman kompressorin, jossa on enemmän asetuksia kuin kompressoreissa yleensä on. Keskitytään kuitenkin kompressorin tärkeimpiin asetuksiin ja niiden tehtäviin.

Ensimmäinen säädin on kynnysluku (engl. threshold), jossa määritetään voimakkuusraja, jonka ylittäessä kompressorin käynnistyy. Suhdeluku (engl. ratio) määrittää, kuinka paljon kompressoitua signaalia suhteessa lähtösignaaliin. Jos esimerkiksi suhdeluku on 4:1 ja sisäänmenon signaalin voimakkuus ylittää kynnysarvon 4 desibelillä, ulostulon voimakkuudeksi tulee 1 desibeli. Kompressorin nousuaika (engl. attack) määrittää, kuinka nopeasti aletaan kompressoitua signaalia kynnysarvon ylittäessä, ja laskuaika (engl. release) taas, kuinka nopeasti kompressointi lopetetaan. Vahvistussäädöllä (engl. gain) voidaan kasvattaa ulostulon äänenvoimakkuutta kompression jälkeen. [5.] Kuvassa 13 ovat nämä kaikki asetukset, mutta vahvistussäädin on nimellä ”MAKE UP”.



Kuva 13. Logic Pro X -työaseman kompressorin.

### 3.6 Tila ja syvyys

Kun kappaleen dynamiikka on kunnossa, voidaan alkaa luoda syvyyttä erilaisilla kaiuilla ja viiveillä. Kaiuilla saadaan äänet kuulostamaan suuremmilta ja siltä, kuin ne olisi asetettu fyysiseen tilaan. Viiveet taas tekevät äänestä paksumman tulostamalla äänet useaan kertaan taustalle. [5.]

Kaiun avulla voidaan vaikuttaa moniin äänen ominaisuuksiin, ja siitä syystä se on erittäin hyödyllinen työkalu. Kääntöpuolena sen ominaisuus vaikuttaa niin moneen asiaan voi koitua kohtaloksi ja helposti tuoda äänestä epämiellyttäviä puolia esiin. Kaiku vaikuttaa seuraaviin äänen ominaisuuksiin:

- sulautumiskykyyn eli siihen, miten instrumentti sulautuu muiden elementtien joukkoon
- kokoon luomalla illusion, että instrumentti olisi nauhoitettu suuremmassa tilassa kuin se oikeasti on
- äänensävyyn, jolla voidaan piilottaa soittimen huonoa sointia
- säilyvyyteen, etenkin ”kuivien” äänien kohdalla
- leveyteen, kaikujen levittäytyessä ympäri stereokuvaa. [14.]

Ihmiset laulavat usein suihkussa, koska siellä on paljon kaikua ja se saa äänen kuulostamaan paremmalta. Tästä syystä kaikuja käytetään eniten vokaaleihin. Kaiut tekevät äänestä pehmeämmän ja miellyttävämmän korville. Lisäksi sen kyky auttaa ääntä sulautumaan muiden elementtien joukkoon on erittäin hyödyllinen. [5.]

## 4 Masterointi

### 4.1 Masteroinnin tavoite

Masterointi on jälkikäsitteilyn viimeinen vaihe, ja se suoritetaan valmiiksi miksatulle kappaleelle äänenlaadun maksimoimiseksi, ennen kuin se viedään jakeluun. Siinä missä miksaus ei voi pelastaa huonosti nauhoitettua kappaletta, myöskään masterointi ei pelasta huonoa miksausta. Masteroinnissa kappaleen äänenvoimakkuus tasapainotetaan vielä kertaalleen ja säädetään kaupallisen standardin mukaiseksi. Tässä vaiheessa voidaan myös tehdä äänen loppuhiontaa, jos ääniraidassa huomataan esimerkiksi pieniä virheitä tai ylimääräisiä ääniä. Masteroinnin tarkoitus on luoda paras mahdollinen äänielämys kuulijalle. [15.]

Masteroinnissa voidaan myös optimoida äänentoisto eri järjestelmiä varten, joten on tärkeä tietää, mihin ääntä käytetään. Tässä työssä kyse oli musiikin digitaalisesta jakelusta, joten kohdejärjestelmänä olivat suoratoistopalvelut kuten Spotify tai Apple Music. Lähes kaikilla suoratoistopalveluilla on käytössä äänenvoimakkuuden normalisointiprosessi, jotta niiden tarjoamat kappaleet kuulostaisivat yhtä voimakkailta riippumatta siitä, miten ne on masteroitu. Tämä on syytä ottaa huomioon masterointivaiheessa. [15.]

Musiikkiteollisuudessa artistit julkaisevat musiikkia yleensä useista kappaleista muodostuvien kokonaisuuksien eli albumien muodossa. Albumissa kaikkien ääniraitojen tulisi olla tasapainossa suhteessa toisiinsa ja ilmentää yhdenmukaisuutta. Masterointi toimii musiikkia tuottaessa ikään kuin lopullisen laaduntarkastuksen tavoin, ennen kuin sisältö julkaistaan kuluttajille fyysisessä muodossa ja levitetään suoratoistopalveluihin. [15.]

## 4.2 Masteroinnin pääpiirteet

Masterointi on kokonaisuudessaan monimutkainen ja monen tekniikan käyttöä vaativa prosessi, jota nyt käsitellään hyvin pintapuolisesti. Tavoitteena on ymmärtää perustekniikat, joilla kappaleesta saadaan jakelukelpoinen, syventymättä liikaa tekniselle puolelle. Tärkeintä on pitää mielessä, että masteroinnissa ei kappaleelle tehdä enää suuria muutoksia, vaan muutokset ovat hienovaraista hiontaa. [15.]

Dynamiikan hallitseminen on myös masteroinnin tärkeimpiä vaiheita. Kompressoinnilla korjataan ja parannetaan kappaleen dynaamista väliä ja tasapainotetaan sekä voimakkaat että heikommat signaalit ääniraidassa. Tämä vaihe tekee masteroidusta ääniraidasta yhtenäisen kuuloisen. Masteroinnissa kompressio toimii kuin liima, joka liimaa ääniraidan vaikeastikin yhdistettävät elementit yhteen. [16.]

Taajuuskorjaimella korjataan epätasapainot taajuusalueella ja tehostetaan elementtejä, joita halutaan korostaa kappaleessa. Hyvin masteroidussa kappaleessa taajuudet ovat suhteellisessa tasapainossa. Tämä takaa sen, että kappale kuulostaa hyvältä missä tahansa äänentoistojärjestelmässä. Masteroinnin taajuuskorjauksessa on myös hyvin tärkeää olla varovainen ja tehdä leikkaukset ja korostukset pienissä määrin. [15.]

Saturaatio tuo kappaleeseen lisää väriä. Se tekee kappaleesta täyteläisemmän ja kiinnostavamman, jos sille on tarvetta. Ylisaturointi aiheuttaa helposti säröä ja heikentää dynamiikkaa kappaleessa, joten jos sille ei ole tarvetta, on turvallisempaa olla käyttämättä sitä. [15.]

Kappaleen masteroinnin viimeinen tekninen vaihe, sekä kriittisin ajatellen digitaalista jakelua, on kappaleen äänekkyydystason lisääminen rajoittimella (engl. limiter). Rajoitin on tietynlainen kompressori, jolla kappaleelle asetetaan kattoarvo, jota se ei ylitä. Sen jälkeen rajoittimella voidaan nostaa kappaleen äänekkyyttä korkeammaksi ilman, että se ylittää turvarajan. Tämän avulla kappaleesta saadaan mahdollisimman äänekäs ilman, että se ”klippaa” [5].

Äänekkyydystason nostamisessa täytyy kuitenkin muistaa suoratoistopalveluiden äänekkyyden normalisointi. Äänekkyyden mittaamiselle on vastikään luotu uusi mittari, LUFS eli Loudness Unit Full Scale. LUFS kehitettiin, jotta mediamaailman äänekkyydelle voitaisiin luoda standardi, jotta äänet kuulostaisivat yhtä voimakkailta. Hyvä esimerkki tästä ongelmasta on televisiota katsoessa, kun mainoskatkon alkaessa äänenvoimakkuus muuttuu nopeasti suuren määrän. Tämän ehkäisemiseksi luotiin standardi, ja nykyään mediat noudattavat tätä standardia. [15.]

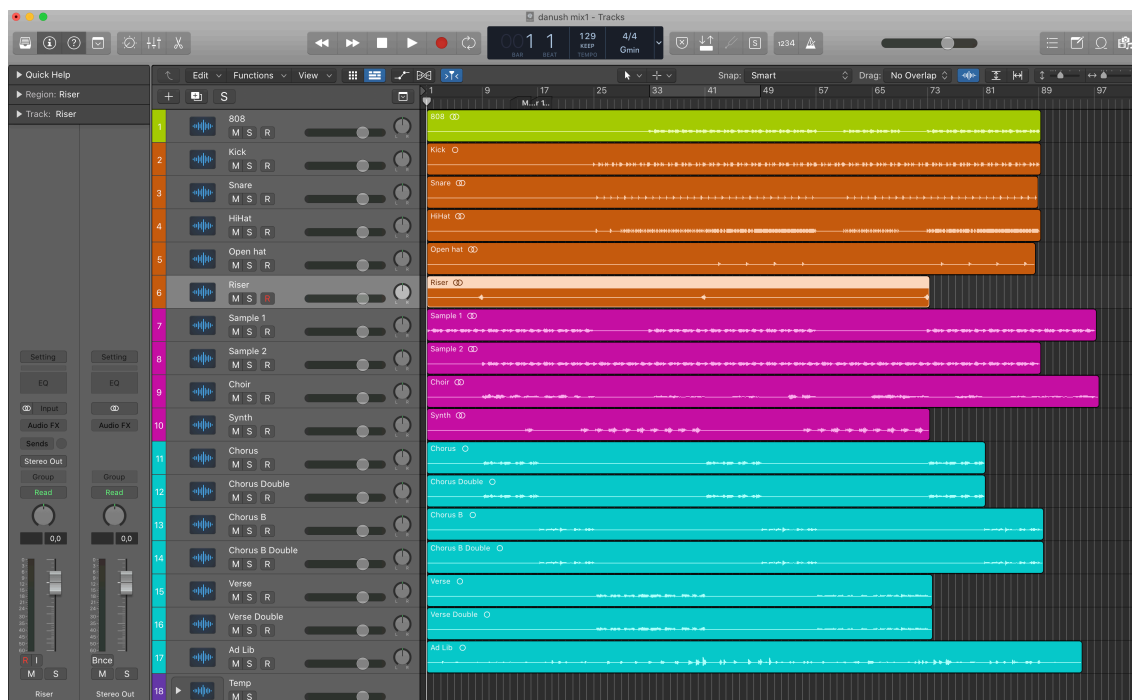
Kun tekninen osuus on ohi ja kappale kuulostaa hyvältä kokonaisuudelta, voidaan tulostaa kappale. Mikäli on tarvetta, tässä vaiheessa tehdään myös bittisyvyyden ja näytteenottotaajuuden muunnos, riippuen siitä, missä muodossa kappale halutaan julkaista. Esimerkiksi, jos kappale halutaan julkaista CD-levyllä, se pitää muuttaa 44 100 kilohertsiin ja 16-bittiseksi. Sama sopii myös digitaaliseen jakeluun, mutta se voi olla korkealaatuisempi. [15.]

Mikäli kyseessä on albumi, masteroinnin yhteydessä kappaleet sekvensoidaan ja asetetaan kappaleiden välit. Sekvensoinnin seurauksena ääniraidat ovat tietyssä halutussa järjestyksessä albumia tai EP:tä soittaessa. Välien asettamisella viitataan siihen, kuinka suuria välejä eli hiljaisuutta laitetaan ääniraitojen väliin. [17.]

## 5 Jälkikäsittelyn toteutus

Insinöörityössä käsiteltävässä kappaleessa, jonka itse olin myös säveltänyt, oli 20 raitaa: yhdeksän ääniraitaa, viisi rumpuraitaa, viisi melodista raitaa ja yksi bassoraita. Koska kyseessä oli hiphop-kappale ja rap-vokaalit olivat kappaleen keskipiste, sitä pyrittiin tuomaan eniten esille miksausessa.

Ennen miksausen aloittamista kaikki kappaleen ääniraidat tuotiin Logic Pron työpöydälle vetämällä ne hiirellä suoraan kansioista. Miksausessa järjestelmällisyys nopeuttaa ja selkeyttää työtä, mutta se ei ole välttämätöntä. Kun raidat on tuotu työpöydälle, ne voidaan nimetä uudelleen ja niille voidaan valita värit kuten kuvassa 14 näkyy. Tämä auttaa visualisoimaan instrumenttiryhmät ja yksittäiset raidat selkeämmin.

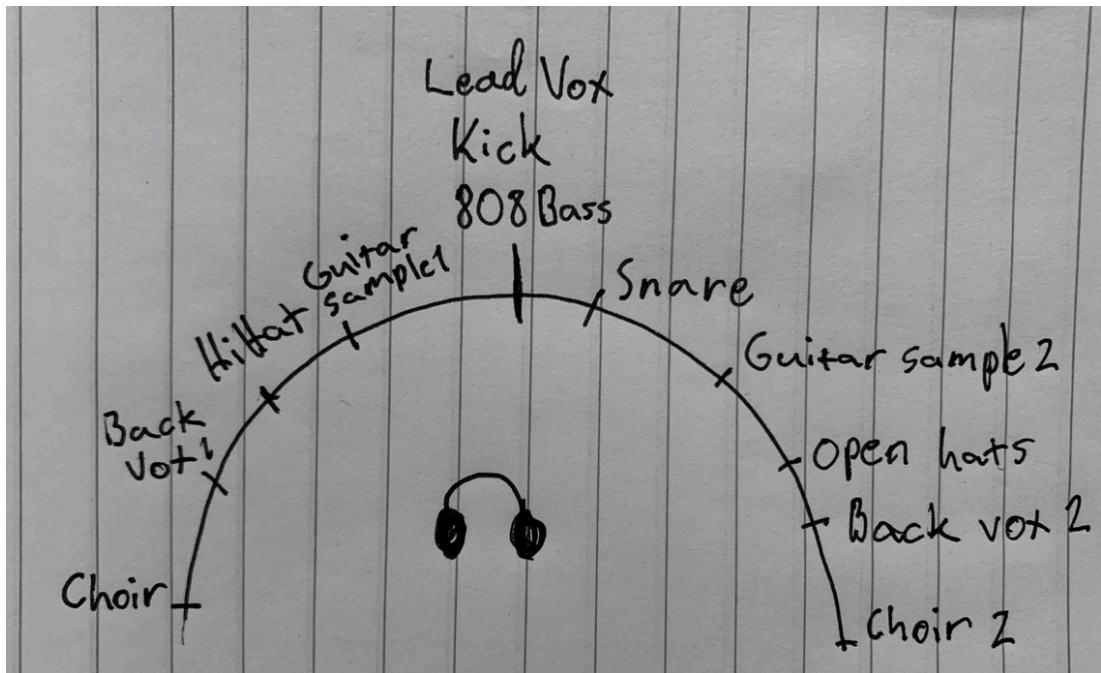


Kuva 14. Kappaleen ääniraidat nimettynä.

## 5.1 Miksaus

### Miksauksen suunnittelu

Miksauksen suunnittelu aloitettiin pohtimalla kappaleen tunnetiloja ja mitä se viestii. Tämä osuus oli melko selkeä, sillä olin ollut kappaleen tuotannossa alusta asti mukana ja myös säveltänyt kappaleen ennen vokaalien äänittämistä. Lähdettiin siis pohtimaan eri soittimien ja elementtien roolia kappaleessa ja luotiin samalla päässä kuvaa siitä, millainen haluttu lopputulos olisi. Kun elementtien rooli oli selvää, piirrettiin paperille stereokuva, johon sijoitettiin eri soittimet ja vokaalit. Tämä auttoi huomattavasti stereokuvan luontia, kun visio oli jo valmiiksi paperilla [kuva 15].



Kuva 15. Stereokuvan suunnitelma paperilla.

Tämän kappaleen tärkeimmät elementit olivat rap-vokaali, rummut ja 808-basso, joka on nykyajan rap-musiikin välttämätön elementti. Tämän pohjalta alkoi muodostua kuva järjestyksestä, jossa elementit miksattaisiin.

## Voimakkuuden tasapainotus

Kun suunnitelma oli valmis, tehtiin ensimmäinen voimakkuuden tasapainotus. Ensin mykistettiin kaikki muut raidat päävokaaleja lukuun ottamatta, minkä jälkeen muut elementit otettiin yksitellen mukaan miksaukseen niin, että ne olivat hyvässä suhteessa toisiinsa. Tässä vaiheessa on jo hyvä jättää turvavaraa raidan voimakkuuden huipun ja nollakohdan väliin, koska ääniä käsitellään paljon tämän jälkeen. Raidat nostettiin seuraavassa järjestyksessä mukaan miksaukseen: päävokaalit, rummut, taustavokaalit ja viimeisenä melodiset elementit. Monien vaikeuksien jälkeen kappaleen voimakkuus kuulosti tasapainoiselta ja master-kanavan eli kaikkien raitojen yhteisen ulostulokanavan voimakkuuden huippu oli suunnilleen -7 dBFS, mikä on riittävä turvavara.

## Stereokuvan luominen

Logic Pro X -työasemassa panorointisäädintä voi säätää molempiin suuntiin 64 yksikköä, jolloin 0 on keskikohta. Keskikohdasta vasemmalle siirtyessä luvut ovat negatiivisia ja oikealle mentäessä positiivisia, eli jos luku on negatiivinen, voidaan päätellä, että se on panoroitu vasemmalle. Kelloon verrattuna arvo -64 on kello seitsemän kohdalla ja arvo +64 on kello viiden kohdalla. Tämä auttaa panoroinnin havainnointia.

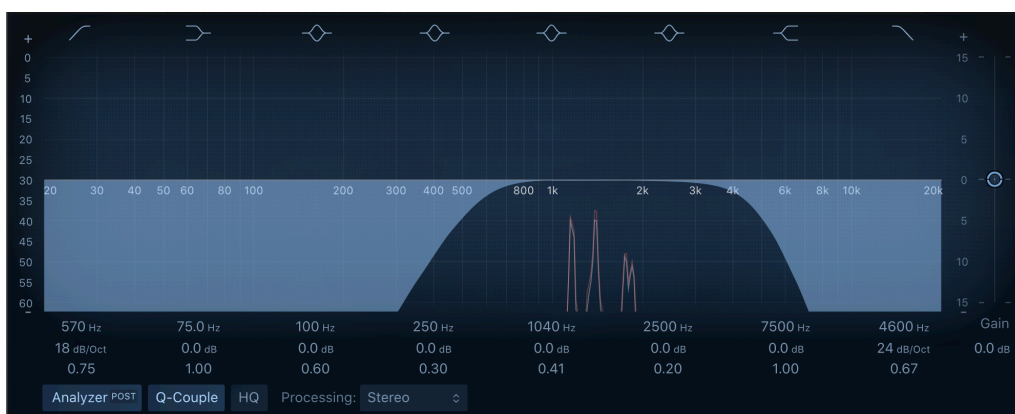
Koska stereokuva oli suunniteltu etukäteen, tämän vaiheen olisi pitänyt sujua suoraviivaisesti. Huomattiin kuitenkin, että jotkin elementit kamppailivat vähän keskenään ja ne jouduttiin sijoittamaan uudestaan. Alkuperäisestä suunnitelmasta poiketen virvelirumpu (engl. snare) asetettiin sittenkin vasemmalle eli -10:een ja kitaroiden paikkoja vaihdettiin päittäin niin, että kitara 1 siirtyi paikalle +15 ja kitara 2 siirtyi paikalle -20. Taustavokaalit, joita oli kaksi jokaista päävokaalia kohden, asetettiin paikoille +64 ja -64. Tämä loi mukavan leveydentunnun vokaaleille. Tämän jälkeen stereokuva toimi hyvin ja jokaisen elementin ääni erottui toisesta. Huomattiin kuitenkin, että 20 elementin asettaminen stereokuvaan ei ole helppoa.



## Taajuuskorjaus

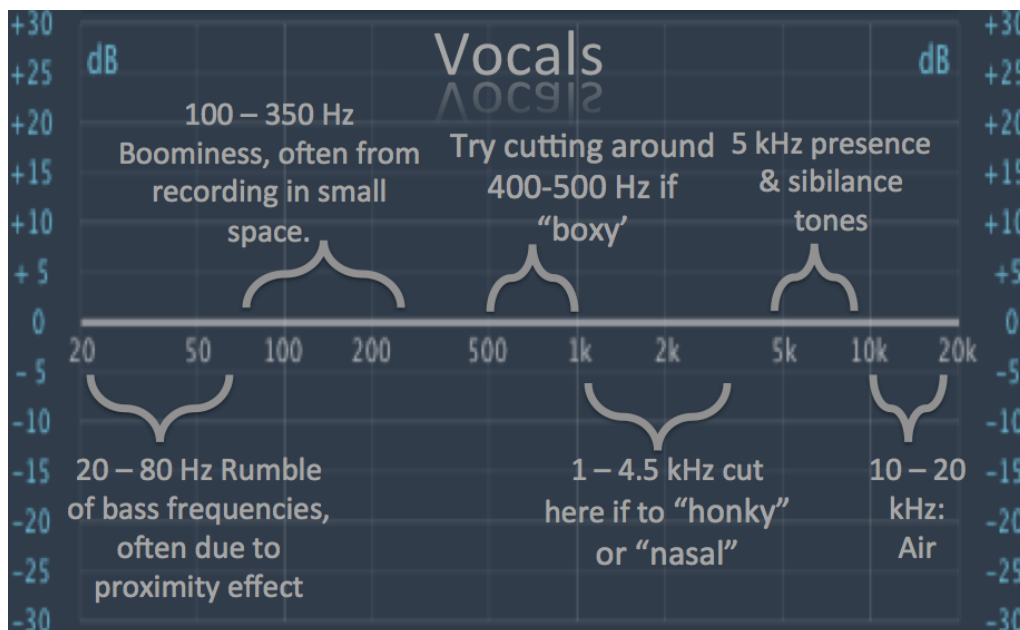
Taajuuskorjaus voidaan jakaa kahteen eri tapaan, lisäävään taajuuskorjaukseen (engl. additive EQ) ja vähentävään taajuuskorjaukseen (engl. subtractive EQ). Kuten nimistä voi päätellä, lisäävässä taajuuskorjauksessa korostetaan taajuuden voimakkuuksia ja vähentävässä taajuuskorjauksessa leikataan taajuuden voimakkuuksia. [5.]

Ensimmäisenä lähdettiin liikkeelle siitä, että leikattiin yli- ja alipäästösuodattimilla kaikista elementeistä tarpeettomat taajuudet pois. Tämä toi heti huomattavasti selkeyttä elementtien välille ja poisti ”mutaisuutta” alemmilla taajuuksilta. Varsinkin ylipäästösuodatus kannattaa aina tehdä jokaiselle elementille leikaten alle 50 hertsin alueet, ellei sitten kyseessä ole basso tai muu matalaääninen elementti. Kuvassa 16 näkyy vaalealla alueella, miten yli- ja alipäästösuodattimilla leikattiin taajuudet 20–300 ja 7 000–20 000 pois syntetisaattoriraidasta, koska se sisälsi paljon häiritseviä ääniä, varsinkin matalilla taajuuksilla.



Kuva 16. Turhien taajuuksien leikkaaminen yli- ja alipäästösuodatuksella.

Tämän jälkeen tehtiin lisäävää ja vähentävää taajuuskorjausta tarpeellisille elementeille, alkaen vokaaleista. Niistä oli jo aiemmin leikattu ylipäästösuodattimella alle 80 hertsin alue, joka on vokaalien kohdalla melko standardi, joten vokaalit kuulostivat jo sellaiseen hyvältä, mutta niihin haluttiin vähän enemmän selkeyttä, joten 8 000 hertsin aluetta korostettiin hieman ja 200 hertsin aluetta vaimennettiin. Apuna oli kuvan 17 kaava.



Kuva 17. Vokaalien taajuuskorjauksen apukaavio [18].

Melodisista elementeistä vaimennettiin kapealla alueella kohdat, jotka tuntuivat puskevan liikaa miksauskenkän läpi, varsinkin korkeilla taajuuksilla. Kitararaidasta etenkin kuului hieman kirkkava ääni noin 7 000 hertsin kohdalla, ja se leikattiin pois kapealla, 0,8 Q-tason alueella.

Rummuissa heti ensimmäisenä huomasi, miten bassorumpu ja basso kamppailivat keskenään ja aiheuttivat säröä. Tämän korjaamiseksi katsottiin taajuuskorjaimen analysointia, missä taajuuksissa nämä ovat voimakkaimmillaan, ja niitä taajuuksia korostettiin hieman. Sen jälkeen vaimennettiin vielä molemmista raidoista toisensa voimakkaimmat kohdat. Käytännössä, kun basso oli voimakkaimmillaan 50 hertsin kohdalla ja bassorumpu 70 hertsin kohdalla, bassorummusta vaimennettiin 50 hertsin aluetta ja korostettiin 70 hertsin aluetta. Sitten tehtiin saman myös toisin päin. Tämän avulla molempien parhaat puolet korostuivat, eivätkä ne enää kamppailleet keskenään.

## Kompressointi

Koska suurin osa sävellyksessä käytetyistä äänistä oli korkealaatuisia, ne eivät varsinaisesti tarvinneet kompressointia. Tässä vaiheessa keskityttiin siis ainoastaan vokaalien kompressointiin. Vokaaleihin käytettiin kahta eri kompressoria, koska kompressoimessa on viisaampaa käyttää montaa kompressoria pienellä teholla kuin ainoastaan yhtä kompressoria liikaa.

Ensimmäisenä kompressorina käytettiin UAD:n Teletronix LA-2A -kompressoria, joka emuloi samannimistä analogista kompressoria [kuva 18]. Tämä kompressorin on erittäin yksinkertainen, mutta hämmentävä, koska siinä on vain kaksi säädintä, vahvistussäädin ja huipun vähennys. Tässä kompressorissa suurennettiin vain vähän huipun vähennystä, koska signaalin vahvistukselle ei ollut tarvetta. Tämä toi vokaaleihin analogista lämmöntuntua.



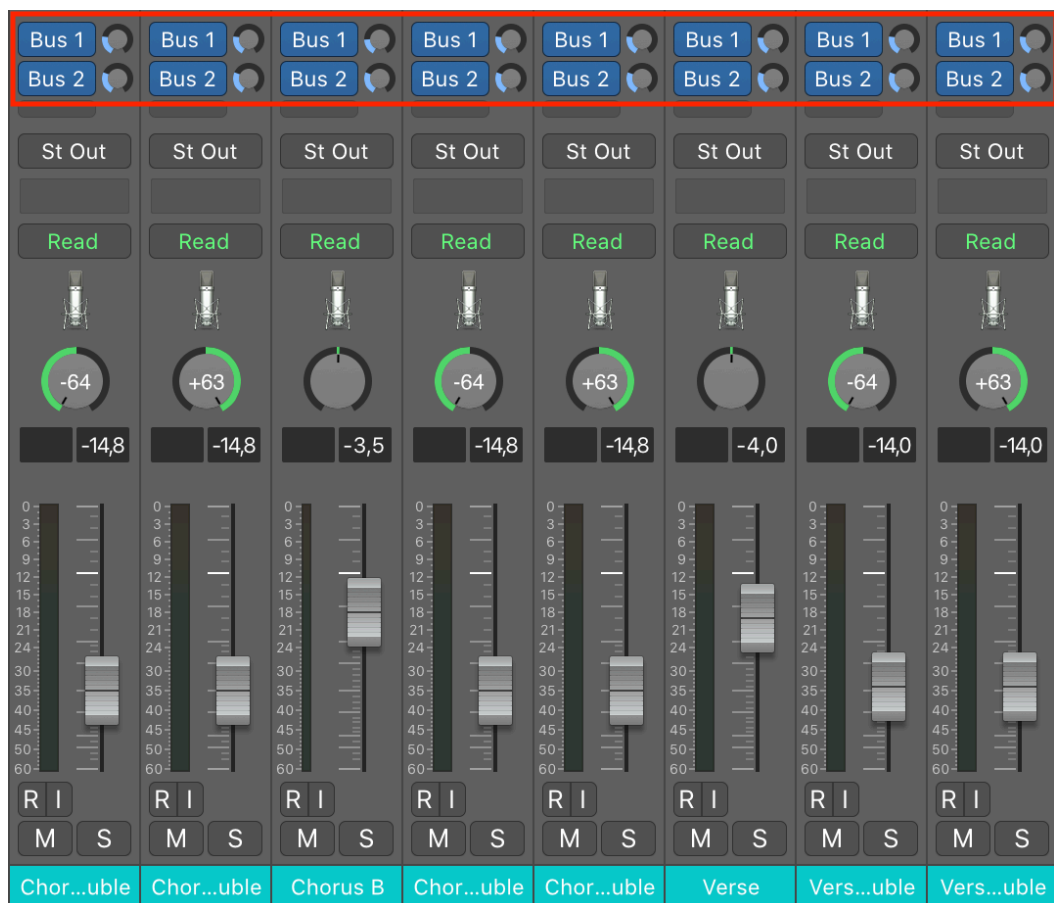
Kuva 18. Universal Audion Teletronix LA-2A -kompressorin.

Toisena kompressorina käytettiin Logicin omaa kompressoria, joka esiteltiin kuvassa 13. Siinä kynnyksiluku asetettiin -12 desibeliin 4:1-suhteella ja nopealla nousuajalla, jotta kompressorin alkaisi heti toimia. Näiden kahden kompressorin jälkeen vokaalit kulkivat kappaleen läpi erittäin tasaisesti. Tämän jälkeen tehtiin vielä sidechain-kompressointi bassorummun ja basson välille, mikä tarkoittaa sitä, että basson kompressorin laitetaan monitoroimaan bassorumpua, jolloin basson äänentaso laskee aina bassorummun lyödessä, mikä erottaa niiden iskut paremmin.

## Kaiku ja viive

Kaiun ja viiveen lisäämiseksi molemmille luotiin omat rinnakkaiskanavat, jotta jokaisen elementin kaikua ja viivettä voitaisiin säätää helposti raidan mikserilohkosta. Kuvassa 19 on merkitty punaisella rinnakkaiskanavien säätimet. Kaiut ja viiveet lisättiin niille tarkoitetuille rinnakkaiskanaville ja alettiin lisätä niitä elementteihin.

Kaikua lisättiin vokaaleihin niin, että taustavokaaleihin annettiin vähän enemmän syötettä, kuin päävokaaleihin. Myös melodisiin elementteihin lisättiin kohtuudella kaikua ja lopuksi myös virvelirumpuun, koska se kuulosti vähän kuivalta. Viivettä lisättiin ainoastaan vokaaleihin.



Kuva 19. Rinnakkaiskanat ja niiden syötteen määrä eri kanavilla.

Kun kaikki halutut käsittelyt oli tehty, koko miksaus käytiin vielä kerran läpi ja äänentasot korjattiin tasapainoon ja varmistettiin, että kappaleeseen jää masterointia varten vähintään 6 desibeliä turvavaraa huippukohtaan ja nollakohtaan väliin. Sen jälkeen miksatut kappaleet tulostettiin WAV-tiedostona ja bittisyvyudeksi asetettiin 24 ja näytteenottotaajuudeksi 44 100 hertsiä.

## 5.2 Masterointi

Koska masteroinnin hallitsemiseen tarvitaan monien vuosien kokemus ja erityisen tarkat korvat, joita on harjoitettu vuosia, yritettiin tämä vaihe pitää yksinkertaisena, ettei pilata kappaletta prosessoimalla sitä liikaa.

Ennen masteroinnin aloittamista piti selvittää, miten äänekkyyden normalisointi toimii eri suoratoistopalveluissa ja mitä formaatteja ne hyväksyvät. Tähän otettiin esimerkiksi Spotify-suoratoistopalvelu, koska se on suosituin suoratoistopalvelu. Spotifyn FAQ-sivulta löytyi sopivasti ohjeet, miten äänekkyyttä tulisi käsitellä. Ohjeiden mukaan master-raidan äänekkyydystason tulisi olla -14 dB LUFS. Jos kappaleen äänekkyydystaso ylittää tai alittaa tämän lukeman, se normalisoidaan takaisin arvoon -14 dB LUFS, ja se voi aiheuttaa ongelmia kappaleessa. [19.]

Lisäksi piti tarkistaa digitaalisten jakelupalveluiden halutut formaatit, koska niiden kautta kappale päätyy suoratoistoon. Esimerkiksi otettiin tunnettu DistroKid-palvelu, jota moni tuttuni on käyttänyt ja he ovat olleet erittäin tyytyväisiä. DistroKid-palvelussa hyväksytään vähintään CD-laatu, eli 16-bittinen ja 44 100 -hertsisen tiedosto, mutta enimmäislaatu, joka hyväksytään, on 24-bittinen ja 96 000 -hertsinen. Tiedostomuotona hyväksytään WAV-, MP3-, AIFF-, CDDA-, M4A-, Windows Media- (WMA) ja FLAC-tiedostot. [20.] Nämä tiedot mielessä voitiin aloittaa masterointi.

Masteroinnissa käytettiin apuna iZotopen Ozone 9 elements -masterointityökalua, jonka sai lyhyen ajan ilmaiseksi. Tätä työkalua päädyttiin käyttämään sen korkean laadun ja aiemman kokemuksen vuoksi. Se sisältää taajuuskorjaimen, rajoittimen ja kuvittajan (engl. imager), jota ei tässä projektissa käytetty. Erityisesti sen rajoitin on erittäin tunnettu ja käytetty työkalu masteroinnissa, ja se on laadullisesti alan parhaimmistoa [23].

### Kompressor

Ensimmäisenä master-raidalle asetettiin kompressor hallitsemaan dynamiikkaa ja äännekkyyssmittari monitorointia varten. Kynnysluku asetettiin -25 desibeliin 2:1-suhdelluulla, 10 millisekunnin nousuajalla ja 80 millisekunnin laskuajalla. Tässäkin haluttiin, että kompressor alkaa vaikuttamaan nopeasti, mutta myös, että se lakkaa toimimasta hitaasti. Kompressor toimi tässä kohtaa liimana kappaleelle.

### Taajuuskorjain

Taajuuskorjauksessa [kuva 20] leikattiin ylipäästösuodattimella 22 hertsin kohdalta noin 0,3 desibeliä ja korostettiin noin 4 000 hertsin kohdalta laajasti 0,4 desibeliä. Lopuksi korostettiin vielä 19 000 hertsin aluetta 0,2 desibeliä. Näin saatiin hieman parannettua kappaleen selkeyttä.



Kuva 20. Master-raidan taajuuskorjaus Ozone 9 elements -masterointityökalulla.

## Rajoitin

Viimeisenä kappaleen äänekkyttä nostettiin rajoittimella, niin että sen äänekkyystaso olisi -14 dB LUFS. Rajoittimen kattoarvo asetettiin -1,0 desibeliin, jota kappaleen äänenvoimakkuus ei tulisi ylittämään, ja kynnsarvoa lähdettiin laskemaan pikkuhiljaa. Samalla monitoroitiin äänekkyysmittaria, joka mittaa koko kappaleen äänekkyyskeskiarvoa. Lopuksi kynnsarvo, jolla saavutettiin -14 dB LUFS -äänekkyystaso, oli -9,3 desibeliä [kuva 21]. Tässä vaiheessa kappale kuulosti kokonaisuudessaan jo melko hyvältä, eikä saturaatiolle tai muille efekteille ollut tarvetta.



Kuva 21. Rajoittimen avulla halutun -14 dB LUFS -äänekkyystason saavuttaminen.

Tämän jälkeen kappale kuunneltiin vielä kerran alusta loppuun ja tarkistettiin, että kaikki on kunnossa. Kun kaikki näytti ja kuulosti hyvältä, master-raita tulostettiin WAV-formaatissa, 44 100 hertsin näytteenottotaajuudella ja 24-bittisenä paremman laadun saavuttamiseksi ja sopivassa muodossa digitaalista jakelua varten.

### 5.3 Kappaleen vieminen digitaaliseen jakeluun

Kun kappale oli valmis jakeluun, sitä varten piti valita sopiva jakelupalvelu. Lähes kaikki jakelupalvelut ajavat saman asian, ja ainoa ero on yleensä hinnastossa. Jotkin palvelut veloittavat kertahinnan ja toiset kuukausihinnan. On myös palveluita, jotka eivät veloita jakelusta, mutta ottavat tietyn prosentin kappaleen tuloista. Palvelun valitsemisessa kannattaa pohtia, mikä on itselle sopivin vaihtoehto. Esimerkiksi jos on erittäin suosittu artisti tai yhtye ja musiikilla on suuret tulot, ei kannata valita palvelua, jossa veloitetaan prosentuaalisesti, vaan kannattaa valita palvelu, jossa on kertamaksu tai kuukausimaksu.

Kun kappale lähetetään digitaaliseen jakeluun, tarvitaan myös kansikuva kappaleelle. Kansikuvalla on kuitenkin sääntöjä, jotka pitää ottaa huomioon. Tässäkin käytettiin esimerkkinä DistroKid-palvelua. DistroKid-palveluun lähetettävän kansikuvan tulee olla täydellinen neliö ja 1 000 x 1 000 pikselin kokoinen jpeg-tiedosto. Kuitenkin suositellaan, että kansikuva on 3 000 x 3 000 pikseliä parhaan laadun saavuttamiseksi. Lisäksi kansikuvassa ei saa esiintyä seuraavia asioita:

- web-sivuston URL
- Twitter-nimi
- termit 'exclusive' tai 'limited edition'
- sumennettu, pikselöity tai muuten vain huonolaatuinen kuva
- kuvia, joihin ei ole lisenssiä tai oikeuksia
- hinnat
- alastomuus
- referenssejä fyysiseen mediaan (esimerkiksi 'CD'). [20.]

Kun kansikuva on valmis ja oikeassa muodossa, voidaan kappale ja kansikuva lähettää DistroKid-jakelupalveluun ja odottaa julkaisupäivää. Kun materiaalit on lähetetty, kestää noin 2–5 päivää, että se julkaistaan Spotifyssa. Jakelupalveluissa voi kuitenkin itse valita julkaisuajankohdan.



## 6 Yhteenveto

Hyvä suunnittelu on puoliksi tehty työ. Sama pätee myös musiikin jälkikäsitelyssä. Mitä tarkemmin asioita pohtii ja pystyy ennalta suunnittelemaan, sitä helpompaa ja nopeampaa työn eteneminen on. Jos tässä työssä ei olisi suunniteltu vaiheita ennalta, lopputulos ei olisi ollut läheskään yhtä hyvä. Suunnittelu alkoi jo siitä, kun nauhoitettiin kappaleen instrumentteja ja vokaaleja panostaen laatuun, jotta miksaaminen olisi helpompaa. Myös heti miksaus alussa otettiin huomioon masteroinnin tarpeet kuten turvavaran jättäminen. Kun näitä asioita mietitään monta siirtoa etukäteen ja niihin varaudutaan, ei myöhemmin tule epämukavia yllätyksiä.

Työn aikana oppi paljon uusia asioita, mutta päällimmäisenä jäi mieleen kappaleen kolmiulotteisuuden luominen, mitä ei ollut ennen tullut pohdittua. Lisäksi koko masterointivaihe oli toivottu uusi taito. Miksaus suunnitteluosio, jossa mietittiin kappaleen tunnelmaa ja viestiä, oli myös mielenkiintoinen osuus.

Kokonaisuudessaan työ kulki sujuvasti, mutta rajallisen ajan vuoksi jouduttiin kiirehtiämään liikaa tietyissä asioissa eikä ehditty hioa niitä loppuun. Kuitenkin musiikin jälkikäsitelyssä on paljon enemmän eri tekniikoita ja työtapoja, joihin olisi voinut tutustua työn puitteissa. Haastavinta työssä oli elementtien määrä, sillä tämä oli ensimmäinen kerta, kun tekijä käsitteli yli kymmenen raidan kappaletta ja ensimmäinen kerta, kun tehtiin molemmat, miksaus ja masterointi. Raitojen määrä teki varsinkin voimakkuustasapainosta ja stereokuvan luomisesta hankalaa.

Ajallisesti työ jouduttiin jakamaan kahteen osaan, miksaukseen ja masterointiin. Samoin kuin miksaus tulisi aina suorittaa eri päivänä kuin nauhoitus, myös masterointi tulee tehdä eri päivänä kuin miksaus. Tämä johtuu siitä, että korvat tottuvat ääniin tietyn ajan jälkeen ja näin estävät kuulemasta virheitä. Siksi suositellaankin, että molemmissa jälkikäsitelyn vaiheissa työn välissä pidetään paljon taukoja, jotta korvat ehtivät levätä. Miksaus suoritettiin kahtena eri päivänä parhaan laadun varmistamiseksi, mutta masterointi saatiin tehtyä yhdessä päivässä.

Lopputulokseen voi olla tyytyväinen, koska kappaleesta saatiin lopulta julkaisukelpoinen, vaikkei sitä vielä julkaistukaan. Alussa kyllä jännitti masterointivaiheen monimutkaisuus, mutta kun miksaus oli hyvää, myös masterointi sujui odotettua paremmin. Jos aikaa olisi jäänyt enemmän, olisi ollut hyvä oppia lisää masteroinnista. Koko työ oli erittäin opettavainen kokemus niin teknisestä kuin musiikillisesta näkökulmasta.

## Lähteet

- 1 Linna, Lea & Tynkkynen, Tomi. 2016. Jaksollinen liike ja aallot (LOPS 2016). E-kirja. Studeo.
- 2 Huber, David & Runstein, Robert. 2017. Modern Recording Techniques. 9th edition. E-kirja. Routledge.
- 3 Ruippo, Matti. 1999. Bändikamat: Opas bändilaitteiden käyttäjille. 2., uudistettu painos. Orivesi: Idemco Oy.
- 4 Harju, Matti. Digitaaliaudion perusteet. Aaltomuoto. Verkkoaineisto. <<https://aaltomuoto.wordpress.com/aani/aanisunnittelu-ja-studiotyo/digitaaliaudion-perusteet/>>. Luettu 28.10.2020.
- 5 Miller, Michael. 2016. Idiot's Guides: Mixing Music. E-kirja. Alpha.
- 6 Universal Audio Apollo Twin MKII Duo. 2017. Verkkoaineisto. Thomann. <[https://www.thomann.de/fi/universal\\_audio\\_apollo\\_twin\\_mkii\\_duo.htm](https://www.thomann.de/fi/universal_audio_apollo_twin_mkii_duo.htm)>. Luettu 14.10.2020.
- 7 Harris, Ben. Home Studio Setup. E-kirja. Routledge.
- 8 Walsh, Michael. 2012. Studio Monitor Advice Pt 2: Placement + Understanding the Sound of Your Room. Verkkoaineisto. Dubspot. <<http://blog.dubspot.com/studio-monitor-advice-pt-2/>>. 27.4.2012. Luettu 30.10.2020.
- 9 Gee, Rob. 2020. KRK Systems RP5G3 Rokit Monitors – White. Verkkoaineisto. Mixdown. <<http://www.mixdownmag.com.au/krk-systems-rp5g3-rokit-monitors-white>>. 9.9.2020. Luettu 14.10.2020.
- 10 Owinski, Bobby. 2018. Simple Steps to Improve Your Home Studio Listening Environment. Verkkoaineisto. Bobby Owinski Music Production Blog. <<https://bobbyowinskiblog.com/2018/12/19/home-studio-listening-environment/>>. 19.12.2018. Luettu 30.10.2020.
- 11 What Makes Apollo Audio Interfaces Different. Verkkoaineisto. Universal Audio. <<https://www.uaudio.com/learn-about-uad-plugins>>. Luettu 2.11.2020.
- 12 Izhaki, Roey. 2017. Mixing Audio. 3rd Edition. E-kirja. Routledge.

- 13 Weiss, Matthew. 2013. How to Create Width, Height and Depth in a Mix. Verkkoaineisto. Pro Audio Files. <<https://theproaudiofiles.com/width-height-depth-in-a-mix/>>. 30.12.2013. Luettu 4.11.2020.
- 14 Senior, Mike. 2018. Mixing Secrets for the Small Studio. 2nd Edition. E-kirja. Routledge.
- 15 Göknaar, Evren. 2020. Major Label Mastering. E-kirja. Focal Press.
- 16 8 Tips for Compression in Mastering. 2017. Verkkoaineisto. Waves. <<https://www.waves.com/8-tips-for-compression-in-mastering>>. 15.6.2017. Luettu 4.11.2020.
- 17 Dixon, Daniel. 2018. Album Sequencing in the Age of Streaming. Verkkoaineisto. iZotope. <<https://www.izotope.com/en/learn/album-sequencing-in-the-age-of-streaming.html>>. 20.8.2018. Luettu 5.11.2020.
- 18 Carter, Michael. 2015. How To EQ Vocals. Verkkoaineisto. TalkinMusic. <<https://talkinmusic.com/how-to-eq-vocals/>>. 12.3.2015. Luettu 5.11.2020.
- 19 FAQ. Verkkoaineisto. Spotify. <<https://artists.spotify.com/faq/mastering-and-loudness#what-is-loudness-normalization-and-why-is-it-used>>. Luettu 5.11.2020.
- 20 What Are the Requirements for Album Art. Verkkoaineisto. DistroKid. <<https://distrokid.zendesk.com/hc/en-us/articles/360013534334-What-Are-the-Requirements-for-Album-Art->>. Luettu 5.11.2020.
- 21 Newell, Philip. 2017. Recording Studio Design. 4th Edition. E-kirja. Routledge.
- 22 Shea, Mike. 2012. How to Build a Small Budget Recording Studio from Scratch 4/E. 4th Edition. E-kirja. McGraw-Hill Education TAB.
- 23 Woddell, Gebre E. 2013. Complete Audio Mastering: Practical Techniques. E-kirja. McGraw-Hill Education TAB.