

Miika Valli

MUSIIKINTALLENNUSFORMAATTIEN TEKNISEN TOTEUTUKSEN JA KOKEMUKSELLISUUDEN VERTAILU

Kandidaatintyö
Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta
Tarkastaja: Yliopistonlehtori Erja Sipilä
Toukokuu 2023

TIIVISTELMÄ

Miika Valli: Musiikintallennusformaattien teknisen toteutuksen ja kokemuksellisuuden vertailu
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Tieto- ja sähkötekniikan TkK-tutkinto-ohjelma, sähkötekniikka
Toukokuu 2023

Tässä kandidaatintyössä käsitellään eri musiikintallennusformaatteja niin tekniseltä toteutukseltaan kuin kokemuksellisestikin. Työn perimmäisenä tavoitteena on vertailla musiikintallennusformaatteja keskenään näistä näkökulmista ja lisäksi tutkia sitä, miten ne voivat olla yhteydessä toisiinsa. Kandidaatintyö keskittyy niiden formaattien käsittelyyn, joilla on suuri rooli nykypäivän musiikinkuuntelussa ja jotka ovat olleet parhaiten saatavilla minulle itselleni. Formaattien rajamista on täytynyt tehdä myös eri formaattien suuren määrän vuoksi. Tarvetta työlle määrittelee se, että vaikka nykyajan maailma on suuresti digitaalinen ja tukeutuu vahvasti abstrakteissa formaateissa olevaan musiikkiin, niin silti fyysisillä musiikintallennusformaateilla on vankka jalansija musiikinkuuntelussa, ja niiden suosio on vain lisääntynyt ajan saatossa. Paras esimerkki tästä ilmiöstä on vinyylilevyn suuri suosion kasvu viime vuosina.

Musiikintallennusformaattien teknistä toteutusta käsitellään formaatti kerrallaan fyysisistä analogisista formaateista aloittaen. Näistä esimerkiformaateina käytetään vinyylilevyä sekä C-kasettia. Tämän jälkeen siirrytään fyysisiin digitaalisiin formaatteihin, joista esimerkkinä on CD-levy. Lopuksi käsitellään eri äänitiedostomuotoja, jotka on luokiteltu tiedostomuotojen pakkaamisen luonteen tai sen puutteen perusteella. Esimerkkinä pakkaamattomasta tiedostosta käytetään WAV:a, häviöttömällä pakkauksella pakatusta tiedostosta FLAC:a ja häviöllisellä pakkauksella pakatusta tiedostosta MP3:a. Havaitaan, että formaatit eroavat tekniseltä toteutukseltaan huomattavasti toisistaan. Digitaalista signaalia tallettavat musiikintallennusformaatit ovat tekniseltä toteutukseltaan pääosin parempia kuin analogiset formaatit.

Musiikintallennusformaattien kokemuksellisuutta käsitellään ja vertaillaan keskenään kuuntelukokemuksen ja muiden aistinvaraisten kokemusten, esimerkiksi musiikintoiston ja pakkauksen osalta. Työssä havaitaan, että CD-levy sekä WAV- ja FLAC-tiedostot kuulostavat parhaimmillaan mutta eivät kuitenkaan niin luonnollisilta kuin analogiset formaatit. Formaattien pakkausissa vinyylilevy ja CD-levy ovat yliverkaisia muihin formaatteihin nähden vinyylilevyn pakkauksen suuren koon sekä CD-levyissä usein mukana tulevan paksun vihkosen vuoksi. Musiikintoistossa taas kaikki äänitiedostomuodot ovat helpoimpia formaatteja toistaa.

Vaikka eri musiikintallennusformaattien välillä on suuria eroja teknisessä toteutuksessa, niin kaikki formaatit ovat silti täysin kuunneltavissa. Tämä johtuu pääosin siitä, että ihmisen korvan kuulema maksimiäänentaajuus on melko matala, noin 20 kHz, jonka kaikki formaatit kykenevät helposti saavuttamaan nykyaikana. Muussa kokemuksellisuudessaakin eroja havaittiin, mutta niiden osuus ei ole musiikinkuuntelussa läheskään niin suuri kuin kuuntelukokemuksella.

Avainsanat: Vinyylilevy, C-kasetti, CD-levy, WAV, FLAC, MP3

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. TEKNINEN TOTEUTUS.....	2
2.1 Fyysiset formaatit.....	2
2.1.1 Analogiset formaatit	2
2.1.2 Digitaaliset formaatit	10
2.2 Äänitiedostomuodot	14
2.2.1 Pakkaamattomat tiedostomuodot.....	14
2.2.2 Tiedostomuodot häviöttömällä pakkauksella	15
2.2.3 Tiedostomuodot häviöllisellä pakkauksella.....	16
3. KOKEMUKSELLISUUS	18
3.1 Kuuntelukokemus	18
3.2 Muut aistinvaraiset kokemukset	21
4. YHTEENVETO.....	24
LÄHTEET	27

KUVALUETTELO

<i>Kuva 1. Tavanomaisen analogisen nauhurin toimintaperiaate [4, kuva VI].</i>	3
<i>Kuva 2. Vinyylilevy [5].</i>	3
<i>Kuva 3. AT-LP3-vinyylisoitin ja vahvistin (soittimen oikealla puolella).</i>	7
<i>Kuva 4. C-kasetti [13].</i>	7
<i>Kuva 5. Avattu C-kasetti.</i>	8
<i>Kuva 6. Tavanomaisen digitaalisen PCM-tekniikalla toteutetun nauhurin toimintaperiaate [4, kuva VI].</i>	11
<i>Kuva 7. CD-levy [16].</i>	12
<i>Kuva 8. Vinyylilevy (a) ja suurennos sen osasta (b).</i>	23

LYHENTEET JA MERKINNÄT

A/D-muunnin	Analog-to-Digital eli muunnin, joka muuntaa analogisen signaalin digitaaliseksi
CD-levy	Compact Disc eli levyn muotoinen fyysinen ja digitaalinen musiikintallennusformaatti
CD-ROM	Compact Disc Read-Only Memory eli CD-levy, jonne on tallennettu vain luettavissa olevaa dataa
C-kasetti	Compact Cassette eli kasetin muotoinen fyysinen ja analoginen musiikintallennusformaatti
D/A-muunnin	Digital-to-Analog eli muunnin, joka muuntaa digitaalisen signaalin analogiseksi
EP-levy	Extended Play eli levy, joka on pituudeltaan pidempi kuin single, mutta lyhyempi kuin albumi
FLAC	patentiton ja lisenssimaksuton häviötöntä äänenpakkausta käyttävä äänitiedostomuoto
GND	maapotentiaali
Good (G)	kuntoluokitukseltaan hyvä eli levyssä tai kasetissa on selvää kulumaa ja analogisissa formaateissa helposti kuultavissa olevia vaurioita, kannet ovat myös reilusti kuluneet, mutta vielä yhtenäiset
IFF	Electronic Artsin ja Commodoren kehittämä merkityistä palasista koostuva säiliömuoto
JPEG	häviöllistä tiedostonpakkausta käyttävä digitaalisen valokuvan tallennusformaatti
LP-levy	Long Play eli albumi
MC-rasia	Moving Coil eli äänirasiassa liikkuu käämi, ei magneetti
Mint (M)	kuntoluokitukseltaan käyttämätön eli soittamaton levy tai kasetti, joka on yleensä vielä valmistajan muoveissa
MM-rasia	Moving Magnet eli äänirasiassa liikkuu magneetti, ei käämi
MOL	Maximum Output Level eli ulostulosignaalin taso, mikä vastaa 3 %:n harmonista vääristymää alhaisilla taajuuksilla ja 3 %:n intermodulaation vääristymää korkeilla taajuuksilla
MP3	MPEG-1-standardiin perustuva, häviöllistä äänenpakkausta käyttävä äänitiedostomuoto
Near Mint (NM)	kuntoluokitukseltaan uudenveroinen eli käytetty, mutta silti virheetön
PCM	Pulse Code Modulation eli pulssikoodimodulaatio

Poor (P)	kuntoluokitukseltaan huono eli soittokelvoton levy tai kasetti, ja kannet ovat rikkoutuneet tai muuten pahoin vaurioituneet
PVC	Polyvinyl chloride eli polyvinyylikloridi
RIFF	Microsoftin ja IBM:n kehittämä, IFF-säiliöstä johdettu säiliömuoto
rpm	revolutions per minute eli kierrosta minuutissa, jonka yksikkö on $\frac{1}{\text{min}}$
SNR	signal-to-noise ratio eli hyötysignaalin teho suhteessa kohinan tehoon
SOL	Saturation Output Level eli ulostulosignaalin taso, missä nauhan ulostulosignaali pienenee tallennetun äänentason kasvaessa
VCC	käyttöjännite
Very Good (VG)	kuntoluokitukseltaan erittäin hyvä eli kuntoluokka VG+:n ominaisuudet, mutta hieman vahvempina
Very Good Plus (VG+)	kuntoluokitukseltaan erittäin hyvä plus, levyssä tai kasetissa jonkin verran rahinaa ja naarmuja, kansissa voi olla pieniä repeämiä ja naarmuja tai siistiä teippausta
WAV	pakkaamaton äänitiedostomuoto, joka käyttää RIFF-säiliötä PCM-äänien tallennukseen

1. JOHDANTO

Lukuisia eri musiikintallennusformaatteja eri teknisine toteutustapoineen on kehitetty Thomas Alva Edisonin marraskuussa 1877 keksimän fonografin jälkeen, niin fyysisiä kuin abstraktejakin, joista suurin osa on enää vain kaukainen muisto menneisyydestä [1, s. 1]. Nykyajan suuresti digitaalisessa maailmassa musiikkikin on tallennettuna pääosin eri äänitiedostomuodoissa tallennuslaitteille, kuten oman tietokoneen kiintolevyille tai yhä enenevässä määrin palvelimelle, josta sitä toistetaan omassa laitteessa internetin välityksellä. Mutta joitakin saattaa yllättää se, että fyysisetkin musiikintallennusformaattit ovat edelleen hyvin suosittuja ja niiden suosio on vain lisääntynyt ajan saatossa, eikä suosion loppumiselle ole havaittavissa merkkejä ainakaan lähitulevaisuudessa. Paras esimerkki fyysisten formaattien suosion kasvusta on vinyylilevy, jonka suosio on kasvanut tasaisesti vuodesta 2008 lähtien [2, s. 369].

Nämä eri musiikintallennusformaattit eroavat toisistaan niin tekniseltä toteutukseltaan kuin kokemuksellisestikin. Tämän kandidaatintyön tavoitteena onkin vertailla eri musiikintallennusformaatteja keskenään näistä näkökulmista ja tutkia sitä, miten ne ovat mahdollisesti yhteydessä toisiinsa. Mutta koska musiikintallennusformaatteja on lukemattomia, keskittyy tämä työ niiden formaattien käsittelyyn, joilla on suuri rooli tämänhetkessä musiikinkuuntelussa. Valintaa on myös ohjannut formaattit, jotka ovat parhaiten saatavilla minulle itselleni.

Kandidaatintyössä käsitellään musiikintallennusformaattien teknistä toteutusta luvussa 2, ja luvussa 3 käsitellään luvussa 2 esiintyvien formaattien kokemuksellisuutta pääosin kuuntelun, mutta myös muiden aistien osalta. Viimeisessä luvussa, eli luvussa 4, koostaan yhteenveto havainnoista ja pohditaan teknisen toteutuksen mahdollista yhteyttä kuuntelukokemukseen.

2. TEKNINEN TOTEUTUS

Tässä luvussa tarkastellaan eri musiikintallennusformaattien teknistä toteutusta ensin korkeammalla ja laajemmalla tasolla jaotellen formaatit fyysisiin formaatteihin ja äänitiedostomuotoihin. Tämän jälkeen luvussa siirrytään tarkastelemaan formaatteja pienemmissä kokonaisuuksissa ja lopulta tarkastelu keskittyy yksittäisiin formaatteihin ja äänitiedostomuotoihin.

2.1 Fyysiset formaatit

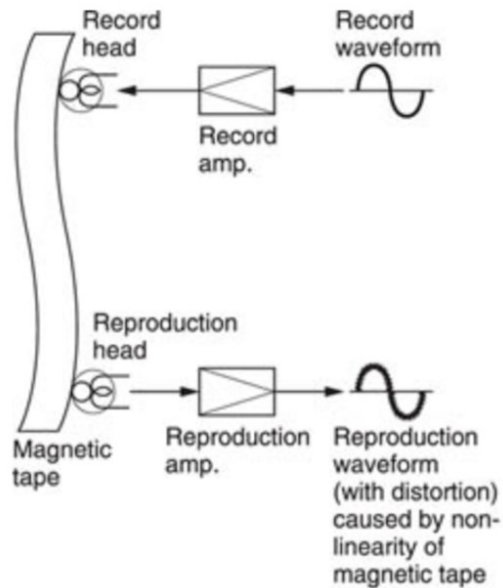
Fyysisellä musiikintallennusformaatilla tarkoitetaan jotain käsin kosketeltavaa esinettä, johon on tallennettu musiikkia, eli tarkemmin sanottuna ääntä, joko analogisessa tai digitaalisessa muodossa. Tunnetuin fyysisen musiikintallennusformaatin muoto on varmasti ympyrä, tunnetummin levy, mutta muitakin muotoja formaateille on, esimerkiksi C-kasetti (Compact Cassette) on muodoltaan pääasiallisesti suorakulmainen särmiö.

2.1.1 Analogiset formaatit

Analogiset musiikintallennusformaatit saavat nimensä siitä, että kyseiset formaatit tallettavat musiikin analogisena signaalina digitaalisen signaalin sijaan. Analoginen signaali on signaali, jossa jokin suure vaihtelee ajan suhteen jatkuvasti saaden äärettömän määrän eri arvoja. Tämä voi tarkoittaa esimerkiksi magneettikentän vaihteluita tai syvyyseroja muovissa, joita soitin lukee jälkikäteen toistoa varten. Analogisen luonteen vuoksi analogiset musiikintallennusformaatit teoriassa sisältävät enemmän tietoa kuin mikään digitaalinen signaali. Tällä ei kuitenkaan ole loppujen lopuksi musiikinkuuntelussa paljoakaan merkitystä, sillä digitaalisellakin signaalilla pystytään täysin esittämään taajuuDET, jotka ihminen kuulee, eli noin 20 Hz-20 kHz [3, s. 163]. Lisäksi analogiset signaalit ovat helppoja prosessoida. Toisaalta ongelma analogisissa signaaleissa on kuitenkin se, että signaalit vääristyvät ja saavat osakseen enemmän kohinaa kuin digitaaliset signaalit. Esimerkiksi vinyylilevyissä pienet pölyhiukkasetkin kuuluvat pienenä poksuntana kaiuttimista. Lisäksi analogiset tallennusformaatit kuluvat käytön myötä.

Kuvassa 1 näkyy tavanomaisen analogisen nauhurin toimintaperiaate, joka pätee esimerkiksi C-kasettiin. Äänitettäessä magneettinauhalle, äänisignaali, esimerkiksi mikrofonin havaitsema, viedään vahvistimen lävitse ja tämän jälkeen se kirjoitetaan äänipäällä nauhalle magneettikentän vaihteluiksi. Kun musiikkia halutaan kuunnella nauhalta, niin

toiminta on periaatteessa päinvastainen äänitykseen verrattuna. Magneettinauhaan kirjoitetut magneettikentän vaihtelut luetaan toisella äänipäällä takaisin sähköiseksi signaaliksi ja vahvistetaan edelleen, minkä jälkeen äänisignaali voidaan kuulla.



Kuva 1. Tavanomaisen analogisen nauhurin toimintaperiaate [4, kuva VI].

Vinyylilevyssä äänitys ja äänentoisto toimii pääosin samalla tavalla kuin analoginen nauhuri, mutta on tärkeää ottaa huomioon vinyylilevyn valmistajan ja kuuntelijan roolit. Toisin kuin C-kasetin toiminnassa, jossa kuuntelijan on hyvin yksinkertaista äänittää itse ääntä nauhalle, on vinyylilevyn tapauksessa tämä täysin mahdotonta ilman valtavaa laitteistoa. Vinyylilevyn kuluttajan rooli on siis vain äänen toistaminen, kun taas levyn valmistajan rooli on pelkästään äänen tallentaminen siihen.



Kuva 2. Vinyylilevy [5].

Vinyylilevyn valmistusprosessissa ensimmäinen levy, niin sanottu master-levy, tehdään kaivertamalla aluksi vahvistettu äänisignaali levyyn, minkä jälkeen siitä tehdään metallinen muotti. Tästä muotista valmistetaan painamalla kaikki lopuksi kuluttajille päätyvät vinyylilevyt. Kuluttajan vinyylisoittimessa neula kulkee vinyylilevyn uraa pitkin liikkuen siinä olevien syvyyksien vaihteluiden mukaan. Neulan liikkuminen taas synnyttää neulan äänirasiassa magneettikentän vaihteluita, jotka muuntuvat sähkösignaaliksi. Kuten nauhurin äänentoistossa, tämä sähköinen signaali vahvistetaan ja on valmis kuunneltavaksi.

Vinyylisoittimen neulalla ja äänirasialla on hyvin suuri rooli soittimen äänenlaadussa. Neulasta on saatavilla yleisesti kahta erilaista muotoa, kartiomaista ja elliptistä. Kartion muotoinen neula on reunoiltaan pyöreä ja kattaa täten suuremman alueen vinyylin pinnasta ja tästä syystä onkin epätarkempi ja huonompi äänenlaadultaan verrattuna elliptiseen neulaan, jossa on terävämpi kärki. [6] Kuten neuloista, äänirasioista on myös saatavilla pääosin kahta teknisesti erilaista kokonaisuutta, MC-rasia (Moving Coil) ja MM-rasia (Moving Magnet), joista MM-rasia on ehdottomasti suositumpi soittimissa edullisuuden, helpomman käyttöönoton ja huollettavuuden vuoksi [7].

MM-äänirasian sisällä on neula yhteydessä magneettiin, joka liikkuu neulan liikkeen mukana ja synnyttää sähköisen signaalin magneetin ympärille kiedottuun käämiin. Jännitteeltään ulostulosignaali on MM-rasiassa niin suuri, että vinyylin kuuntelu on mahdollista jo signaalin esivahvistuksen jälkeen. Liikkuvan magneetin äänirasiassa on usein myös mahdollista vaihtaa itse neula, jos tälle on tarvetta esimerkiksi kulumisen vuoksi. Oikeastaan ainut huono puoli MM-rasioissa verrattuna MC-rasioihin on niiden suurempi massa, mikä huonontaa neulan tarkkuutta seurata vinyylilevyn uria. [7]

MC-äänirasian toiminta on päinvastainen verrattuna MM-rasiaan. Siinä neula on yhteydessä käämiin, eikä magneettiin, ja magneetti sijaitsee käämin ympärillä. Käämissäkin on vähemmän silmukoita verrattuna MM-rasiaan, mikä vähentää rasian painoa ja siten parantaa sen kykyä seurata vinyylilevyn uria. Samalla se parantaa ulostulosignaalin taajuusvastetta. Ongelmiakin MC-rasian käytöllä kuitenkin on. Käämin silmukoita vähennettäessä ulostulosignaalin jännitekin pienenee murto-osaan MM-rasiaan verrattuna. Tämä tarkoittaa sitä, että ulostulosignaali vaatii paljon enemmän vahvistusvaiheitakin. Lisäksi MC-äänirasioissa neula on harvoin vaihdettavissa. [7]

Vinyylilevy, nimensä mukaisestikin, valmistetaan vinyylistä eli PVC:stä (polyvinyl chloride), ja se on lähes poikkeuksetta kaksipuolinen. Halkaisijaltaan vinyylilevy on yleensä 7 in tai 12 in, joista 7 in on usein käytetty singleissä ja 12 in albumeissa eli LP-levyissä (Long Play), mutta 12 in on käytetty 1970-luvulta lähtien paljon myös singleissä. Lisäksi

10 in on käytetty erityisesti EP-levyissä (Extended Play), mutta se on huomattavasti harvinaisempi koko kuin 7 in tai 12 in. Singlejulkaisuja, niin 7 in ja 12 in, pyöritetään levysoittimessa lähes poikkeuksetta 45 rpm:n (revolutions per minute) nopeudella, kun taas EP-levyjä ja LP-levyjä pyöritetään usein hitaammalla nopeudella, $33\frac{1}{3}$ rpm. Ennen vinyylilevyjä markkinoilla oli sellakasta valmistettuja levyjä. Ne olivat toiminnaltaan identtisiä vinyylilevyihin verrattuna, mutta niitä pyöritettiin huomattavasti suuremmalla nopeudella, 78 rpm. [5]

Levyn koon kasvattamisella saavutetaan luonnollisestikin pidempi kesto levyille, mutta kuuntelukokemukseen koolla ei ole merkitystä. 7 in:n vinyylilevyllä saavutetaan yleensä noin 5 min:n kesto per puoli, 10 in:n levyllä noin 10 min per puoli ja 12 in:n levyllä noin 22 min per puoli [5]. Nämä kestot voivat kuitenkin vaihdella paljonkin, sillä levyn uria lähentämällä tai niitä kaventamalla saadaan kasvatettua levyn kestoa, mutta samalla äänenlaatu kärsii urissa olevien syvyysvälien kaventuessa. Vinyylilevyn pyörimisnopeuksilla voidaan vaikuttaa sekä äänenlaatuun että levyn kestoan. Pienemmillä nopeuksilla saavutetaan levyn pidempi kesto, mutta toisaalta suuremmat nopeudet mahdollistavat paremman äänenlaadun. Esimerkiksi 45 rpm:n vinyylilevy kuulostaa paremmalta kuin muilta osin vastaava $33\frac{1}{3}$ rpm:n levy, sillä suuremmalla nopeudella pyörivästä 45 rpm:n levystä soittimen neula saa matkattua pidemmän matkan uraa. Täten sen urasta saa luettua enemmän tietoa kuin $33\frac{1}{3}$ rpm:n levystä samassa ajassa. Tämä voidaan todeta kaavoilla 1–9. Otetaan tarkasteluun esimerkiksi 2 12 in:n vinyylilevyä, joista toinen pyörii $33\frac{1}{3}$ rpm:n ja toinen 45 rpm:n nopeudella, eli levyn säde r on 6 in = 0,1524 m [8, s. 28]. Koska rpm:n yksikkö on $\frac{1}{\text{min}}$, niin $33\frac{1}{3}$ rpm = $\frac{5}{9}\frac{1}{\text{s}}$ ja 45 rpm = $\frac{3}{4}\frac{1}{\text{s}}$. Levyn kierrostaajuus voidaan laskea kaavalla 1

$$n = \frac{1}{T}, \quad (1)$$

jossa n on kierrostaajuus ja T kierrosaika. Koska kierrostaajuudet tiedetään jo, eli 45 rpm ja $33\frac{1}{3}$ rpm, voidaan kaava 1 muokata kaavan 2 muotoon

$$T = \frac{1}{n}. \quad (2)$$

Kaavalla 3 pystytään laskemaan levyn kierrosaika T

$$T = \frac{2\pi}{\omega}, \quad (3)$$

jossa ω on kulmanopeus. Koska kaavalla 2 saadaan laskettua kierrosaika T , niin on järkevää muuttaa kaava 3 kaavan 4 muotoon, eli

$$\omega = \frac{2\pi}{T}. \quad (4)$$

Kaavalla 5 voidaan laskea vinyylisoittimen neulan ratanopeus kulmanopeuden ω ja levyn säteen r avulla

$$v = r\omega, \quad (5)$$

jossa v on ratanopeus. Kaavalla 6 pystytään laskemaan vinyylilevyn kulkema matka

$$s = vt, \quad (6)$$

jossa s on kuljettu matka ja t on matkaan kulunut aika. Kaavat 2, 4, 5 ja 6 yhdistettynä saadaan laskettua vinyylisoittimen neulan kulkema matka s kaavalla 7

$$s = 2\pi rnt. \quad (7)$$

Valittaessa tarkasteluajaksi esimerkiksi 1 s, saadaan kaavalla 7 laskettua tulokset neulan kulkemalle matkalle $33 \frac{1}{3}$ rpm:n ja 45 rpm:n vinyylilevyillä kaavoilla 8 ja 9. Kun $n = 33 \frac{1}{3}$ rpm = $\frac{5}{9} \frac{1}{s}$, niin

$$s = 2\pi rnt = 2\pi \cdot 0,1524 \text{ m} \cdot \frac{5}{9} \frac{1}{s} \cdot 1 \text{ s} = 0,5319 \dots \text{ m} \approx 53,2 \text{ cm}, \quad (8)$$

ja kun $n = 45$ rpm = $\frac{3}{4} \frac{1}{s}$, niin

$$s = 2\pi rnt = 2\pi \cdot 0,1524 \text{ m} \cdot \frac{3}{4} \frac{1}{s} \cdot 1 \text{ s} = 0,7181 \dots \text{ m} \approx 71,8 \text{ cm}. \quad (9)$$

Kuten kaavaa 8 ja 9 käyttämällä nähdään, vinyylilevyn nopeudella 45 rpm soittimen neula kulkee pidemmän matkan kuin $33 \frac{1}{3}$ rpm.

Esimerkkivinyylisoittimena käytän omistamaani ja kuvassa 3 näkyvää Audio Technican AT-LP3:a sen teknisten tietojen esittelyyn. AT-LP3:sta saa ulos esivahvistamattoman tai -vahvistetun signaalin, missä vahvistamattoman signaalin ulostulojännite on 3,5 mV ja vahvistetun 220 mV. Vahvistetun signaalin vahvistus on MM-rasioille 36 dB ja MC-rasioille 56 dB. Signaali-kohinasuhde (SNR, signal-to-noise ratio) kyseisellä soittimella on yli

60 dB, mikä on hyvä [9, s. 15]. [10, s. 14] Äänirasiana AT-LP3-soittimessa on MM-tyyppinen AT91R, jossa on 20 Hz-20 kHz taajuusvaste, mikä on myös hyvä, sillä keskimääräisesti ihmisen kuulo sijoittuu näille taajuuksille [3, s. 163]. Lisäksi ulostulojännite kyseisessä rasiassa on 3,5 mV. [10, s. 14] [11, s. 1]



Kuva 3. AT-LP3-vinyylisoitin ja vahvistin (soittimen oikealla puolella).

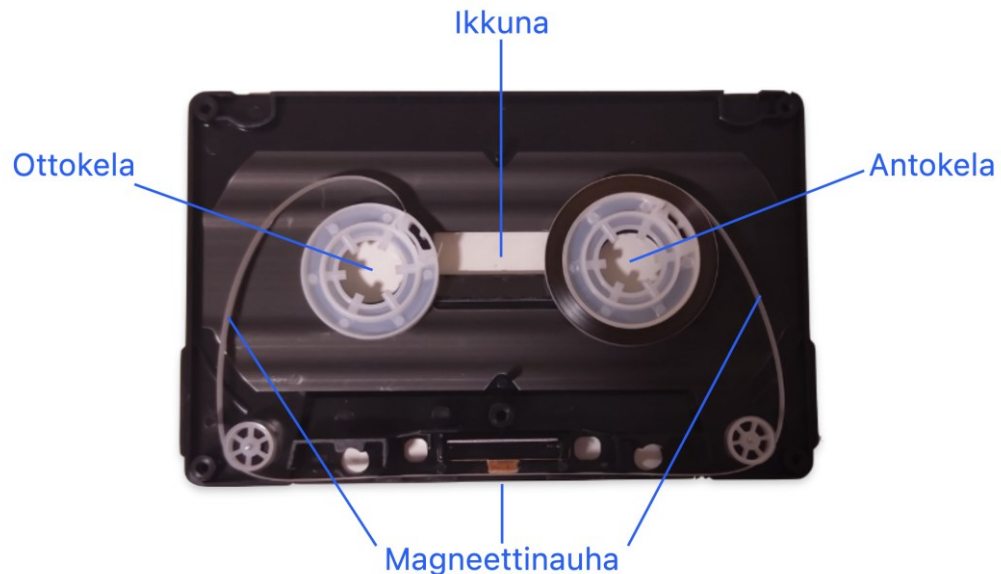
C-kasetin kehittänyt yhtiö Philips lanseerasi C-kasetin vuonna 1963 Berliinissä. Philips standardisoi C-kasetin magneettinauhan nopeudeksi $1 \frac{7}{8} \frac{\text{in}}{\text{s}} \approx 4,76 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$, nauhan leveydeksi 0,15 in = 3,81 mm ja kestoksi 60 min [8, s. 28]. [12, s. 102–103] Soittimen äänipäässä olevan kelan rautasydämen aukon leveydeksi asetettiin $2 \mu\text{m}$, jolla saavutettiin nauhasta luetulle taajuudelle 12 kHz:n teoreettinen maksimi, mikä on melko alhainen. Monessa C-kasettisoittimessa, erityisesti kalliimman hintaluokan laitteissa, aukon leveyttä pienennettiin, jotta saavutettiin korkeampien taajuuksien toisto nauhalta. Myös yli 20 kHz:n taajuudet saavutettiin täten helposti, mikä on tärkeää, sillä ihmisen kuulo ulottuu yleensä näin korkealle [3, s. 163]. [13]



Kuva 4. C-kasetti [13].

C-kasetti on rakenteeltaan yksinkertainen, mikä nähdään kuvassa 5. Avatun kasetin muovikotelossa on kaksi kela, antokela, josta magneettinauhaa siirtyy toiston aikana

toiselle kelalle, eli ottokelalle. Magneettinauha sisältää tallennetun äänen analogisena signaalina magneettikentän vaihteluina. Kasetin alareunaa pitkin kulkevasta nauhan osasta jokainen soitin pystyy ainakin lukemaan magneettinauhaa toistoa varten siihen tarkoitetulla äänipäällä, mutta useissa soittimissa on myös omat äänipäät nauhaan tallennusta ja sen tyhjentämistä varten. Kelojen välissä olevasta ikkunasta voi kuuntelija tarkastella, paljonko nauhaa on siirtynyt kelojen välillä.



Kuva 5. Avattu C-kasetti.

Kuten vinylilevyt, C-kasetitkin ovat kaksipuolisia. Yleisimmät kestot C-kaseteille molemmat puolet yhteenlaskettuna ovat 60 min, 90 min ja 120 min. Kestoa saadaan pidennettyä ohentamalla magneettinauhaa kasetissa. Yleensä 60 min:n kasetissa nauhan paksuus on noin 15–16 μm , 90 min:n kasetissa 10–11 μm ja 120 min:n kasetissa enää vain 6 μm . Magneettinauhan ohuuden vuoksi 120 min:n kasetti onkin harvinaisempi kuin muut kestot, sillä ne venyvät ja katkeavat herkemmin kuin lyhyemmissä kaseteissa. Leveydeltään C-kasetin magneettinauha on pysynyt koko ajan Philipsin sille vuonna 1963 asettamassa standardissa, eli 3,81 mm:ssä. [13] Pituus l magneettinauhalle voidaan laskea nauhan standardinopeus v ja kasetin kesto t tuntien kaavan 10 avulla

$$l = \frac{vt}{2}, \quad (10)$$

jossa l on C-kasetin magneettinauhan pituus, v nauhan nopeus ja t kasetin kesto. Nopeuden ja ajan tulon jakaminen 2:lla johtuu C-kasetin kaksipuolisuudesta; ilmoitettu kasetin kesto on sen molempien puolien yhteenlaskettu kesto, ja kun kasetin kuunneltava

puoli vaihtuu, niin sama magneettinauha pyörii vain toiseen suuntaan. Koska magneettinauhan standardinopeus v on ilmoitettu yksikössä $\frac{\text{cm}}{\text{s}}$, on tämä järkevää muuntaa yksikköön $\frac{\text{m}}{\text{min}}$ kaavan 10 käytön helpottamiseksi, jolloin nopeus v on muunnettuna $4,76 \frac{\text{cm}}{\text{s}} = 2,856 \frac{\text{m}}{\text{min}}$. Kaavoilla 11, 12 ja 13 saadaan laskettua C-kasetin magneettinauhan pituus l , kun kasetin toistonopeus v on $2,856 \frac{\text{m}}{\text{min}}$ ja kasetin kesto t on 60 min, 90 min ja 120 min. Kun $t = 60$ min, niin

$$l = \frac{vt}{2} = \frac{2,856 \frac{\text{m}}{\text{min}} \cdot 60 \text{ min}}{2} = 85,68 \text{ m}, \quad (11)$$

kun $t = 90$ min, niin

$$l = \frac{vt}{2} = \frac{2,856 \frac{\text{m}}{\text{min}} \cdot 90 \text{ min}}{2} = 128,52 \text{ m}, \quad (12)$$

ja lopuksi, kun $t = 120$ min, niin

$$l = \frac{vt}{2} = \frac{2,856 \frac{\text{m}}{\text{min}} \cdot 120 \text{ min}}{2} = 171,36 \text{ m}. \quad (13)$$

C-kasetit on jaettu neljään eri ryhmään niiden magneettinauhojen valmistusmateriaalin perusteella ja täten myös nauhojen biasoinnit, eli tasavirtakäyttöolosuhteiden asetukset vaihtelevat eri tyyppien kesken. Nämä tyypit ovat Type I, II, III sekä IV, ja yleisesti ottaen kasetin äänenlaatu paranee tyyppin järjestysnumeron kasvaessa. Näistä Type I on valmistettu rauta(III)oksidista (Fe_2O_3), Type II kromidioksidista (CrO_2), Type III rauta(III)oksidin ja kromidioksidin kerroksista ja Type IV on valmistettu puhtaasta metallista. [14, luku 6]

Type I C-kasettien ominaisuuksia on korkea keskitaajuuksien MOL (Maximum Output Level) ja sen laskeminen hitaasti matalilla taajuuksilla. Type II:n kaseteissa on keskimäärin alempi diskantin, eli ylimmän äänen, MOL ja SOL (Saturation Output Level) sekä korkeampi SNR kuin Type I kaseteissa. Type III kasetin valmistusmateriaalien sekoituksella pyritään yhdistämään Type I ja II kasettien hyvät ominaisuudet. Type IV kaseteissa on korkein keskitaajuuksien MOL, diskantin SOL ja dynaaminen alue sekä alin äänen vääristyminen. Dynaamisella alueella tarkoitetaan voimakkaimman ja hiljaisimman äänen eroa desibeleinä. Pääosin Type I ja II kasetit ovat suunnattuja kuluttajille, niiden edullisuuden ja keskimääräiselle kuluttajalle riittävän äänenlaadun vuoksi. Type III ja IV kasetit ovat kalliita valmistaa ja ne ovatkin enemmän suunnattuja ammattilaisille kuin

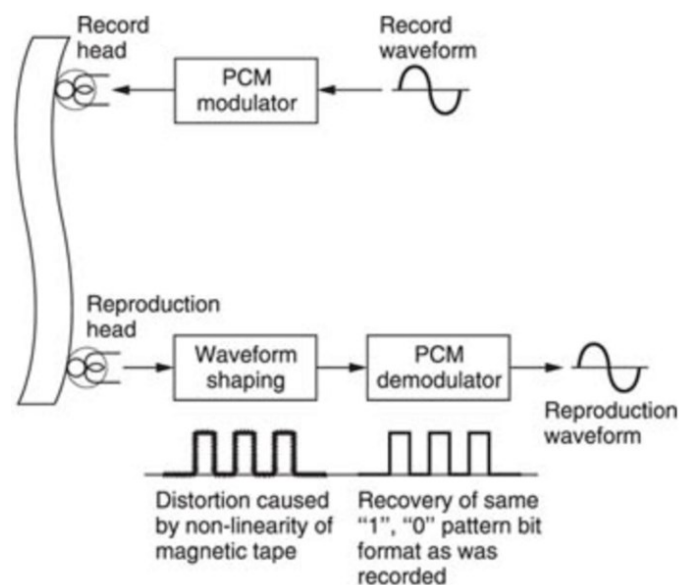
kuluttajille, joskin Type III kasetit ovat käytännössä kadonneet markkinoilta eräänlaisen väliinpuotoajan aseman vuoksi; Type III kasetit olivat kalliita verrattuna Type I:een ja II:een, jolloin kuluttajat eivät sopineet asiakaskunnaksi ja Type IV kasettien paremmat ominaisuudet voittivat ammattilaiset puolelleen. [15]

2.1.2 Digitaaliset formaatit

Digitaaliset musiikintallennusformaatit tallentavat siihen tallennetun musiikin digitaalisenä signaalina, eli formaattiin tallennetaan diskreettejä arvoja äärellisestä joukosta jatkuvan analogisen signaalin sijasta, joka voi saada äärettömän määrän eri arvoja. Koska todellinen maailma on analoginen, niin yleensä jossain vaiheessa digitaalisen signaalin prosessointia mukana on myös analogisen signaalin muuntamista digitaaliseen muotoon. Tämä tapahtuu ottamalla näytteitä analogisesta signaalista, eli jollain taajuudella signaalista luetaan sen kyseisen hetken arvo, joka sitten muunnetaan biteiksi digitaalista signaalia varten. Muunto tapahtuu tarkistamalla, mitä lähintä bittien muodostamaa digitaalista arvoa oikea näytteen arvo vastaa. Muunnon tarkkuus riippuu näytteen otusta, kuinka montaa bittiä formaatti käyttää, koska tällöin digitaalinen arvo on todennäköisesti lähempänä analogisesta signaalista otetun näytteen oikeaa arvoa. Näytteenottotaajuuden määräytyminen perustuu pääosin Nyquistin teoreemaan, jonka mukaan analogisesta signaalista otettujen näytteiden taajuuden on oltava suurempi kuin kaksinkertainen verrattuna analogisen signaalin suurimpaan taajuuteen. Tämä johtuu siitä, että alkuperäistä signaalia vastaava analoginen signaali pystytään rakentamaan myöhemmin, eikä tällöin laskostumista, eli signaalin vääristymistä, tapahtuisi.

Digitaalisella signaalilla saadaan esitettyä jokin fyysinen suure, esimerkiksi sähkövirta tai jännite yksinkertaisemmassa binäärimuodossa, arvoina 0 ja 1. Digitaalinen signaali koostuu yleensä kahdesta eri jännitteen tasosta, joista toinen vastaa arvoa 0 ja toinen arvoa 1. Yleensä arvo 0 vastaa laitteen maapotentiaalia GND, eli jännitteeltään 0 V ja arvo 1 vastaa käyttöjännitettä VCC, jolla on monta eri vaihtoehtoa jännitteelle, mutta yleisin on +5 V. Hyvä puoli digitaalisissa musiikintallennusformaateissa on se, että hyötysignaaleihin summautuu paljon vähemmän kohinaa ja häiriöitä kuin analogisissa formaateissa. Lisäksi kohinalla on yleensäkin paljon vähemmän vaikutusta, sillä vähäisellä kohinalla soitin pystyy kuitenkin lukemaan kaikki signaalin tasot oikein, ja jos näin käy, niin ulostulosignaali on identtinen täysin puhtaaseen signaaliin verrattuna. Digitaaliset musiikintallennusformaatit ovat myös hyvin yhteensopivia tietotekniikan kanssa binäärisen luonteensa vuoksi. Huono puoli digitaalisissa signaaleissa on se, että ne vaativat yleensä monimutkaisempaa käsittelyä, ja digitaalisten signaalien käsittely on myös enemmän energiaa kuluttavaa verrattuna analogisiin signaaleihin.

Kuvassa 6 näkyy tavallisen digitaalisen PCM-tekniikalla (Pulse Code Modulation) toteutetun nauhurin äänityksen ja äänentoiston periaatteet, jotka koskevat magneettinauhalle äänittämistä. Periaatteet ovat kuitenkin samat, jos verrataan esimerkiksi CD-levyyn (Compact Disc), jossa magneettinauhan tilalla olisi muovinen levy ja äänipään tilalla taas laser. Äänitetty signaali viedään A/D-muuntimen (Analog-to-Digital) lävitse, mikä koodaa analogisen äänisignaalin digitaaliseen muotoon, minkä jälkeen signaali tallennetaan magneettinauhalle. Magneettinauhasta luetusta signaalista luodaan seuraavaksi digitaalinen signaali uudelleen, joka voi sisältää erilaisia häiriötä, kuten signaalin vääristymistä. Lopuksi signaali viedään D/A-muuntimen (Digital-to-Analog) lävitse, mikä muuntaa digitaalisen signaalin takaisin analogiseen, kuultavaan muotoon. [4, kuva VI]



Kuva 6. Tavanomaisen digitaalisen PCM-tekniikalla toteutetun nauhurin toimintaperiaate [4, kuva VI].

CD-levy, joka kehitettiin Sonyn ja Philipsin yhteistyönä, lanseerattiin Japanissa lokakuussa 1982 nimellä *Digital Audio Compact Disc*, eli CD-DA, johon tässäkin työssä keskitytään, sillä tätä nimeä käytetään nimenomaan CD-levyistä, jotka on tarkoitettu pelkästään äänen tallentamiseen. Myöhemmin on julkaistu esimerkiksi nimellä CD-ROM (Compact Disc Read-Only Memory) tunnettu CD-levy, joka on tarkoitettu muunkin datan kuin äänen tallentamiseen. CD-levy on optinen levy, mikä tarkoittaa sitä, että se tallentaa ääntä fyysisinä eroavaisuuksina levyn pinnalla, joita pystytään lukemaan valon, yleensä laserin, avulla siirtelemällä laseria soittimessa pyörivän levyn dataa sisältävää viivaa pitkin. CD-levyn tapauksessa käytetty puolijohdelaser on aallonpituudeltaan 780 nm, mikä vastaa infrapunaa, eli CD-soittimien laserit ovat läpinäkyviä. CD-levyyn tallennetut kapaleet, joita laser lukee, kulkevat levyssä yhtenä yhtäjaksoisena spiraalin muotoisena

viivana. Tämä viiva koostuu kahdesta eri tasosta, tasaisesta pinnasta, joka vastaa bitin arvoa 1, ja kuopista, jotka vastaavat bitin arvoa 0. [16]



Kuva 7. CD-levy [16].

CD-DA-levyn standardi on julkaistu kokonaisuudessaan vuonna 1980 kirjana nimellä *Red Book*. Kirjassa määritellyn standardin mukaan CD-levy on halkaisijaltaan 12 cm sekä paksuudeltaan 1,2 mm, ja se voi sisältää maksimissaan 79 min 48 s ääntä, mutta pidempiäkin kestoja levyille on saatu tallennettua. [16] [17] Esimerkiksi yhtyeen *Mission of Burma* kokoelmalevy *Mission of Burma* oli vuonna 1988 julkaistuna ensimmäinen CD-levy, jonka kesto ylitti 80 min kokonaiskestolla 80 min 8 s [18]. Standardin mukaan levyille mahtuu maksimissaan 99 kappaletta ja lyhyin pituus kappaleelle on 4 s [17].

CD-levyyn on tallennettu 2 kanavaa ääntä, vasen ja oikea, mikä tarkoittaa, että CD-levyltä luettu ääni kuullaan stereona. Ääni on tallennettu analogisen signaalin pohjalta PCM-tekniikalla, ja molemmat äänikanavat sisältävät etumerkin sisältävää 16-bittistä ääntä, josta on otettu näytteitä 44,1 kHz:n taajuudella. Nyquistin teoreeman mukaan suurin taajuus, joka analogisesta signaalista voidaan tällä näytteenottotaajuudella esittää, on näytteenottotaajuudesta puolet eli 22,05 kHz. Tavallisessa CD-soittimessa taajuusvaste on 20 Hz-20 kHz, ja SNR on yli 90 dB, mikä on erittäin korkea [4, taulukko 8.1]. [16] Syy miksi näytteenottotaajuudeksi on valittu 44,1 kHz, eikä esimerkiksi 40 kHz, mikä olisi ollut myös riittävä 20 kHz:n taajuudelle laskostumisen välttämiseksi Nyquistin teoreeman mukaan, on se, että CD-levyn kehitystyön aikana oli käytössä jo PCM-modulaattoreita, jotka käyttivät näytteenottotaajuutena 44,1 kHz:ä. Tätä näytteenottotaajuutta halettiin hyödyntää myös CD-soittimissa. [19]

Koska CD-levy käyttää etumerkin sisältävää 16-bittistä ääntä, tarkoittaa tämä sitä, että 1 bitti on varattu esittämään etumerkkiä + positiivisille luvuille ja - negatiivisille, ja 15 bittiä itse arvolle. Kaavan 14 avulla pystytään laskemaan, kuinka montaa eri arvoa voidaan biteillä esittää desimaalijärjestelmässä

$$N = 2^n, \quad (14)$$

jossa N on arvojen lukumäärä desimaalijärjestelmässä ja n bittien lukumäärä. Kaavan 14 perusteella CD-levyn 16 bitin etumerkin sisältävällä tarkkuudella voidaan esittää eri arvoja desimaalijärjestelmässä kaavan 15 mukaan

$$N = 2^{16} = 65\,536 \text{ kpl.} \quad (15)$$

Mutta koska kyse oli etumerkin sisältävästä tarkkuudesta, niin kaavassa 15 laskettu luku jakautuu puolittamalla negatiiviseen ja ei-negatiiviseen osuuteen, jolloin arvot jakautuvat välille -32 768 - +32 767.

Tiedonsiirtonopeus PCM-tekniikkaa käyttävälle tallennusformaatile saadaan laskettua kaavalla 16

$$R = f_s n_b n_c, \quad (16)$$

jossa R on tiedonsiirtonopeus, f_s näytteenottotaajuus, n_b bittien määrä äänen tarkkuudessa, ja n_c kanavien määrä äänessä. Kaavalla 17 saadaan laskettua tiedonsiirtonopeus CD-levyssä

$$R = f_s n_b n_c = 44\,100 \frac{1}{s} \cdot 16 \text{ bit} \cdot 2 = 1\,411\,200 \frac{\text{bit}}{s}. \quad (17)$$

Kaavalla 18 pystytään laskemaan tallennusformaatin kapasiteetti bitteinä

$$N = Rt, \quad (18)$$

jossa N on bittien lukumäärä, eli levyn kapasiteetti, R tiedonsiirtonopeus ja t levyn kesto. Kaavalla 19 voidaan laskea CD-levyn kapasiteetti, kun levyn kestonä käytetään yleisesti ilmoitettua 74 min:a, joka on sekunteina 4 440 s

$$N = Rt = 1\,411\,200 \frac{\text{bit}}{s} \cdot 4\,440 \text{ s} = 6\,265\,728\,000 \text{ bit} = 783,216 \text{ MB} \approx 783 \text{ MB}, \quad (19)$$

jossa bitit saadaan muutettua tavuiksi jakamalla kapasiteetti bitteinä 8:lla, koska 1 B = 8 bit.

2.2 Äänitiedostomuodot

Äänitiedostomuoto on tietotekniikassa käytetty, digitaalista äänidataa sisältävä tiedostomuoto. Äänidatan bittien asetelua kutsutaan äänikoodausmuodoksi, jota esiintyy toteutusmuodoiltaan äänidataa pakkaavina ja pakkaamattomina. Lisäksi äänitiedoston pakkaaminen voidaan jakaa kahteen eri tyyppiin, häviölliseen ja häviöttömään. [20] Eri äänitiedostojen valtavan määrän vuoksi käsiteltävien äänitiedostomuotojen määrää on täytynyt rajata, ja perusteena valinnoille on käytetty tiedostomuotojen suosiota ja helppoa saatavuutta [21]. Esimerkkeinä äänitiedostomuodoista tässä luvussa käytetään pakkaamattomasta tiedostomuodosta Waveform Audio File Format:a (WAV), Free Lossless Audio Codec:a (FLAC) häviöttömästä pakkauksesta ja MPEG-1 Audio Layer 3:a (MP3) häviöllisestä pakkauksesta.

2.2.1 Pakkaamattomat tiedostomuodot

Pakkaamattomissa tiedostomuodoissa alkuperäistä äänidataa ei pakata lainkaan, vaan data pelkästään säilötään tiedostoksi. Näin saavutetaan paras mahdollinen äänenlaatu, sillä pakkaamattomien tiedostomuotojen data on usein tallennettu PCM-tekniikkaa hyödyntäen, juuri kuten CD-levyissä. Pakkaamattomissa tiedostoissa voidaan kuitenkin käyttää korkeampaa näytteenottotaajuutta ja bittisyvyyttä kuin CD-levyissä, joten parempikin äänenlaatu on saavutettavissa. [20] Pakkaamattomat tiedostomuodot ovat hyvin isoja tiedostokooltaan, sillä tiedostoista ei ole poistettu mitään dataa. Mutta jos levytilasta ei ole puutetta, niin pakkaamattomat tiedostomuodot sopivat erittäin hyvin esimerkiksi musiikin arkistointiin, koska musiikki säilyy sen alkuperäisessä, muokkaamattomassa muodossa. [22, luku 4] Esimerkkinä pakkaamattomasta tiedostomuodosta käytetään WAV:a, sillä se on yleisin tiedostomuoto pakkaamattomalle äänidatalle Microsoft Windows:a käyttävissä tietokoneissa, mutta myös muut käyttöjärjestelmät tukevat sitä [23].

WAV-tiedostomuodon kehittivät Microsoft ja IBM 1990-luvun alussa, ja se on vain säiliö äänidatalle, mikä tarkoittaa sitä, että se voi sisältää myös pakattua äänidataa [23]. Säiliönä WAV käyttää Resource Interchange File Format:a (RIFF), jonka kehittivät vuonna 1991 myös Microsoft ja IBM, jotka taas laajensivat RIFF-säiliön Electronic Artsin ja Commodoren vuonna 1985 kehittämästä Interchange File Format:sta (IFF). Sekä IFF ja RIFF säilivät datan merkittävänä bittipalasinä, joissa merkinä käytetään 32-bittistä kokonaislukua, joka kertoo bittipalasin sisällön koon tavuina [24] [25]. Vaikka WAV-tiedostot hyväksyvät myös pakattua äänidataa, useimmat WAV-tiedostot kuitenkin sisältävät pakkaamatonta, PCM-tekniikalla tuotettua digitaalista äänidataa, yleensä CD-tasoisena [23].

Tästä syystä WAV:a kutsutaankin PCM-koodekiksi. WAV-tiedostoja käytetään usein tietokoneiden ulkopuolella CD-ROM-levyissä ja puhelinsovelluksissa, kuten puhelinvastauksissa. Tämä johtuu siitä, että WAV-tiedostot eivät pakkaamattoman luonteensa vuoksi vaadi prosessoritehoa äänen dekodeukseen, mikä on erinomainen ominaisuus esimerkiksi CD-soittimissa ja puhelimissa. [26, luku 4]

WAV-tiedostomuoto on suosittu myös ammattilaisten keskuudessa. Adoben haastattelema luova tuottaja ja äänimiksaaja Lo Boutillette kertoo WAV:n olevan hänen suosimansa äänitiedostomuoto, sillä se mahdollistaa muita tiedostomuotoja suuremman dynaamisen alueen ja bittisyvyyden. Samaa mieltä tästä on tuottaja, miksaaja ja ääniteknikko Gus Berry, joka lisää, että WAV-tiedosto voi olla 24- tai 32-bittinen syvyydeltään sekä 192 kHz näytteenottotaajuudeltaan tai nykyään jopa tätäkin korkeampi. WAV-tiedostot pitävät pakkaamattomuutensa vuoksi myös aikakoodinsa siirrettäessä tiedostoja edestakaisin ihmisten välillä, mistä on hyötyä esimerkiksi suurissa videoprojekteissa, joissa synkronisaatio on aina tärkeää. [27]

2.2.2 Tiedostomuodot häviöttömällä pakkauksella

Häviöttömällä pakkaamisella tarkoitetaan sitä, että äänidatan pakkaamisen jälkeen pakkaamaton äänidata pystytään luomaan myöhemmin täysin samanlaisena [28, johdanto]. Tällainen pakkaaminen on hyvä kompromissi äänenlaadun ja tiedostokoon välillä, sillä häviötön pakkaaminen säilyttää alkuperäisen äänenlaadun, mutta se pienentää samalla tiedostokokoa. Häviötöntä pakkaamista käyttävät tiedostomuodot muistuttavatkin tietokoneiden käyttämää ZIP-tiedostomuotoa; algoritmit tunnistavat tiedostossa usein toistuvat kuviot ja tallentavat nämä vain kerran ja tiedosto viittaa niihin purun yhteydessä säästämällä samalla tallennustilaa [29].

Häviöttömällä pakkauksella tuotettu tiedosto ei tietenkään ole läheskään yhtä pieni verrattuna häviöllistä pakkausta käyttävään tiedostoon. MP3-tiedosto voi olla vain 10 % alkuperäisen pakkaamattoman tiedoston koosta, kun taas häviötöntä pakkausta käyttävä tiedostomuoto on normaalisti noin 50 % alkuperäisen tiedoston koosta. Tämän vuoksi häviötöntä pakkausta käyttävät tiedostot eivät sovellu kovin hyvin laitteisiin, joissa tallennustilaa on hyvin rajoitetusti, mutta esimerkiksi tietokoneisiin häviötöntä pakkausta käyttävät tiedostot soveltuvat erinomaisesti, erityisesti koska tallennustila on nykyään hyvin halpaa. [22, luku 4] Esimerkkinä häviötöntä pakkausta käyttävästä tiedostomuodosta käytetään FLAC:a, sillä se on hyvin suosittu tiedostomuoto patentittomuutensa ja avoimen lähdekoodinsa ansiosta [30]. Lisäksi FLAC on tiedostomuotona nykyään yhtä tuettu

kuin MP3 sekä nopein ja kaikkein tuetuin häviötöntä pakkausta käyttävistä tiedostomuodoista [26, luku 4] [31].

FLAC on Xiph.Org Foundation:n 20. heinäkuuta 2001 julkaisema, ja edelleen kehittämä, häviötöntä pakkausta käyttävä tiedostomuoto [32]. FLAC:ssa käytetään nopeaa algoritmia tiedostonpurussa ja purkunopeus on asymmetrinen. Tämä on sen ansiota, että FLAC käyttää purun vaatimissa laskutoimituksissa pelkästään kokonaislukuja, mikä nopeuttaa ja samalla tietenkin myös keventää purkua, jolloin se ei vaadi suurta laskentatehoakaan purun suorittavalta soittimelta. FLAC tukee myös jopa 32-bittistä ääntä, jolloin se soveltuu hyvin myös vaativamman kuluttajan sekä ammattilaisen käyttöön. Tämän vuoksi se onkin erinomainen tiedostomuoto, kun tarvitaan korkealaatuista ääntä kohtalaisen kokoisella tiedostokoolla.

Kuten aiemmin on mainittu, häviötöntä pakkausta käyttävät tiedostomuodot saavuttavat usein noin 50 % pienemmän tiedostokoon verrattuna pakkaamattomaan tiedostoon, mutta FLAC saavuttaa jopa tätäkin suuremman pienennyksen, noin 60 % verrattuna pakkaamattomaan tiedostoon [30]. FLAC on kaiken lisäksi erittäin joustava tiedostomuoto tukien useita bittisyvyyksiä äänessä, aina 4-bittisestä 32-bittiseen. Joustavuutta lisää myös se, että FLAC tukee useita näytteenottotaajuuksia 1 Hz:stä jopa 65 535 Hz:iin asti sekä kaikkia taajuuksia näiden ääriarvojen välillä, rajoitteena vain se, että mahdolliset näytteenottotaajuudet esiintyvät 1 Hz:n välein. Lopuksi FLAC:n joustavuutta lisää sen mahdollisuus tukea montaa eri äänikanavien kokoonpanoa, nimittäin FLAC:ssa äänikanavien määrä voi olla 1 kanavasta jopa 8 kanavaan. [26, luku 4] [31] [33]

2.2.3 Tiedostomuodot häviöllisellä pakkauksella

Häviöllisellä pakkaamisella tarkoitetaan sitä, että äänidatan pakkaaminen poistaa alkuperäisestä pakkaamattomasta äänidatasta dataa, kylläkin yleensä sellaista dataa, jota ihminen ei kuule helposti. Häviöllistä pakkausta käyttävän tiedostomuodon enkooderi käyttää algoritmeja, jotka hyödyntävät hyväksytyjä psykoakustisia malleja ja joiden perusteella enkooderi poistaa äänidatasta äänet, joita ihminen ei kuule [34]. Tällä saadaan pienennettyä alkuperäistä pakkaamatonta tiedostoa merkittävästi, helposti jopa 10 %:iin alkuperäisestä pakkaamattomasta äänitiedostosta. Samalla kuitenkin äänenlaatu kärsii, yleensä häviöllistä pakkausta käyttävissä äänitiedostoissa korkeat taajuudet voivat kuulostaa livertäviltä. [35] Äänenlaadun huonontumisen määrä tietenkin riippuu kompression tyypistä, sen määrästä sekä kompression bittinopeudesta, joka on usein 128, 160, 192 tai $256 \frac{\text{kbit}}{\text{s}}$ [36].

Ongelma alkuperäisten pakkaamattomien äänitiedostojen koon merkittävässä pienentämisessä on se, että tällöin äänen näytteenottotaajuutta alennetaan merkittävästi. Tämä taas aiheuttaa sen, että ääni voi mahdollisesti kuulostaa pakkaamisen vuoksi tasaiselta, sillä häviöllisellä pakkauksella ei ole enää alkuperäisen äänidatan laajaa dynaamista aluetta, eikä vastaavaa taajuusvastetta erityisesti korkeilla taajuuksilla. Monelle musiikin kuluttajalle kompressoitujen kuuloisen äänen kuitenkin kelpaa mainiosti, mikä on verrattavissa vaikkapa radion kuunteluun. Suurimmalle osalle ihmisistä radion äänenlaatu on täysin riittävä. Kuitenkin joillekin, erityisesti ammattilaisille, äänitiedoston häviöllinen pakkaaminen ei ole hyväksyttävä vaihtoehto korkealaatuiselle äänentoistolle. [22, luku 4] Esimerkkinä häviöllistä pakkausta käyttävästä tiedostomuodosta käytetään MP3:a, sillä se on ehdottomasti suosituin tiedostomuoto kategoriassaan ja yleensäkin musiikinkuuntelussa [36].

Kaikkien aikojen suosituin digitaalinen äänentallennusformaatti on MP3-äänitiedostomuoto. Sen on julkaissut vuonna 1993 Moving Picture Experts Group. Sillä saadaan pienennettyä alkuperäisen pakkaamattoman äänitiedoston kokoa noin 90 % ja Adoben artikkelin mukaan jopa 90 % jo valmiiksi häviöttömästi pakattuun tiedostoon verrattuna [27] [36]. Syy suosiolle on se, että siinä on varsin hyvä pakkaamisen ja äänenlaadun suhde ja tuki MP3-tiedoston toistoon löytyy kaikkialta. Mutta MP3-tiedoston häviöllisen luonteen vuoksi alkuperäisestä äänidatasta poistettua dataa ei saada palautettua koskaan, mistä voi syntyä virheellistä äänidataa MP3-tiedostoon. MP3-tiedostoon on verrattavissa digitaalinen kuvatiedostomuoto Joint Photographic Experts Group (JPEG), jossa käytetään myös häviöllistä pakkausalgoritmia. JPEG-kuvissa voi pakkaamisen takia esiintyä visuaalisia virheitä, yleensä violetteja, vihreitä tai keltaisia pikselitahroja. [26, luku 4]

Kuten aiemmin on mainittu, kuluttajalle äänitiedoston häviöllinen pakkaaminen voi käydä hyvin, mutta se ei kuitenkaan ole hyväksyttävä vaihtoehto ammattilaisille. Syy tähän on se, että vaikka suurin osa äänistä, jotka alkuperäisestä äänitiedostosta poistetaan ovat sellaisia, joita ihminen ei voi kuulla, tarvitsevat ammattilaiset suurempaa bittisyvyyttä kuin mitä MP3-tiedostomuoto tarjoaa. Adoben haastattelema tuottaja, miksaaja ja ääniteknikko Gus Berry mainitsee, että MP3-tiedostot voivat olla bittisyvyydeltään maksimissaan vain 16-bittisiä, mikä on aivan liian vähän hänen tarpeisiinsa. Hän toteaaakin, että äänidatan on oltava bittisyvyydeltään vähintään 24-bittistä, kun ääntä nauhoitetaan ja miksataan. [27]

3. KOKEMUKSELLISUUS

Tässä luvussa tarkastellaan edellisessä luvussa käsitellyjä musiikintallennusformaatteja kokemuksellisuuden näkökulmasta. Tärkein ja suurin osa-alue tarkasteltaessa musiikkia on luonnollisesti kuuntelukokemus, mutta myös muu kokemuksellisuus ja siihen vaikuttavat tekijät, kuten levypakkaus, on tärkeää ottaa osaksi tarkastelua.

Koska jotkut luvussa 2 käsitellyistä fyysistä formaateista ovat jo vanhoja, niin suuri osa myös myytävistä levyistä ja kaseteista on käytettyjä. Erityisesti analogisissa formaateissa on tärkeää ottaa huomioon käytetyn levyn tai kasetin kunto, sillä suurella kuuntelumäärällä niiden äänenlaatu voi huonontua merkittävästi. Lisäksi käytetyissä fyysisissä formaateissa levyn tai kasetin kannetkin voivat olla esimerkiksi kuluneet tai naarmuuntuneet. Tästä syystä käytetyille formaateille onkin olemassa kuntoluokitusjärjestelmiä, joista käytetyin on Goldmine-standardi. Tämä sama standardi pätee itse levyn tai kasetin kuntoon sekä niiden pakkausten kuntoon. [37]

Goldmine-standardissa levyt, kasetit ja niiden pakkaukset arvioidaan seuraavanlaisella asteikolla: Mint (M, käyttämätön), Near Mint (NM, uudenveroinen), Very Good Plus (VG+, erittäin hyvä plus), Very Good (VG, erittäin hyvä), Good (G, hyvä) ja Poor (P, huono) [37]. Kunto esitetään muodossa X/X, jossa kirjaimella X merkitään kunnan tunnusta, joka taas voi olla esimerkiksi VG+. Vinoviivan vasemmalla puolella oleva luokka esittää itse levyn tai kasetin kunnan, ja vinoviivan oikealla puolella oleva luokka pakkauksen kunnan. Suurin osa tässä luvussa käsiteltävistä formaateista ovat täysin uusia, eli luokitukseltaan M/M, mutta myös käytettyjä formaatteja käytetään niiden paremman saatavuuden vuoksi. Jos käsiteltävä formaatti on käytetty, niin sen kuntoluokitus ilmoitetaan erikseen, sillä luokituksella voi olla merkittäväkin vaikutus kokemuksellisuuteen.

3.1 Kuuntelukokemus

Tässä alaluvussa käsitellään formaattien kokemuksellisuutta ainoastaan kuuntelukokemuksen osalta, eli mikään muu kokemuksellisuuden osa-alue ei vaikuta havaintoihin, ei positiivisesti eikä negatiivisesti, vaikka havainnot liittyisivätkin välillisesti kuuntelukokemukseen. Esimerkiksi, jos jossakin formaatissa kappaleen vaihtaminen toiseen on helpompaa kuin toisessa formaatissa, niin sitä ei oteta huomioon tässä alaluvussa, vaan tämänkaltaisia asioita käsitellään luvussa 3.2. Lisäksi pyrin käyttämään havainnoissani mahdollisimman samankaltaista laitteistoa eri musiikkiformaattien välillä, jotta niillä olisi minimaalinen vaikutus kuuntelukokemukseen.

Uudet $33\frac{1}{3}$ rpm:n nopeudella pyörivät vinyylilevyt kuulostavat mielestäni oikein hyviltä ja ovat verrattavissa jopa CD-levyn äänenlaatuun, vaikka CD-levy onkin formaattina parempi ainakin teknisen toteutuksen osalta kuin vinyylilevy. Lisäksi en huomaa merkittävää eroa äänenlaadussa $33\frac{1}{3}$ rpm:n vinyylilevyjen ja 45 rpm:n levyjen välillä, vaikka teoriassa 45 rpm:n levyjen pitäisi kuulostaa paremmilta. Huomaan kuitenkin sen, että 45 rpm:n levyissä on hiukan parempi dynaaminen alue, jolloin korkeat ja matalat äänet tulevat paremmin esiin. Myös käytetyt vinyylilevyt voivat kuulostavat erinomaisilta. Oman kokemukseni perusteella, jos levyn kuntoluokitus on vähintään VG+, niin levyn äänenlaadulla ei juurikaan ole merkittävää eroa uuteen levyyn verrattuna. Suurin kuuntelukokemusta heikentävä tekijä on tällöin satunnaiset poksahdellut, jotka eivät mielestäni juurikaan häiritse kuuntelukokemusta. Nämä kyseiset poksahdellut johtuvat useimmiten levyn ajan saatossa kertyneistä naarmuista.

Sanoisin, että merkittävin muuttuja vinyylilevyjen välisissä eroissa on levyn masterointi, jos levyjen kuntoluokituksessa ei ole merkittävää eroa. Olenkin vertaillut joitakin levyjä, jotka uusintapainoksena kuulostavat paljon huonommilla kuin alkuperäinen painos käytettynä. Erot masterointien välillä ovat havaittavissa esimerkiksi pienempänä dynaamisena alueena. Yksi syy tähän voi olla se, että alkuperäinen painos tehdään aina alkuperäisen, niin sanotun master-nauhan pohjalta, jolloin levy kuulostaa mahdollisimman hyvältä ja lisäksi siltä kuin sen on alun perinkin haluttu kuulostavan. Tiedän, että tästä syystä osa vinyylilevyn harrastajista suostuu hankkimaan vain ja ainoastaan vinyylilevyjen alkuperäisiä painoksia.

Sen lisäksi, että vinyylilevyt voivat parhaimmillaan kuulostaa erittäin hyviltä, omaavat ne myös poikkeuksellisia ja ainutlaatuisia kuuntelukokemukseen vaikuttavia tekijöitä. Niissä äänessä on mukana hiukan jälkikaikua, jonka voisi kuvitella olevan negatiivinen asia, mutta mielestäni se tuo musiikkiin hieman tilan tunnetta. Lisäksi ääni on lämmin sekä paljon luonnollisempi kuin digitaalisissa formaateissa, esimerkiksi CD-levyissä. Moni voi olla sitä mieltä, että vinyylilevyissä esiintyvien heikkouksien, kuten mahdollisten äänen poksahdellujen vuoksi vinyylilevyt ovat huonompi vaihtoehto digitaalisille formaateille. Mielestäni kuitenkin juuri nämä heikkoudet tekevät vinyylilevyistä formaatin, joka on lähinnä oikeaa äänimaailmaa. Hyvä vertaus onkin se, että vinyylilevyt muistuttavat ääneltään artistien live-esiintymisiä; näissä esiintymisissä ääni ei ole täydellistä, mutta silti ne ovat suosittuja niiden ainutlaatuisuutensa vuoksi. Tunnelma eri artistien taltioiduissa live-esiintymisissä onkin vinyylilevyille painettuna käsin kosketeltavaa.

C-kasettien kuuntelukokemuksen tutkinnassa käytettiin vain tyypiltään Type I ja Type II C-kasetteja, Type III ja Type IV kasettien vaikean saatavuuden vuoksi. Molemmat näistä tyypeistä on ostettu käytettynä kuntoluokituksella NM/NM. Kuten luvussa 2.1.1 on mainittu, Type III kasetit eivät koskaan keränneet suosiota osakseen, joten niitä on tästä syystä vaikea löytää, ja Type IV kasetteja käyttävät pääosin vain ammattilaiset niiden kalliin hinnan vuoksi. Molempien C-kasettien tyyppien kuuntelukokemus on erittäin miellyttävä. Kasettien äänenlaatu onkin verrattavissa mielestäni vinylilevyyn, pois lukien vinylilevyjen poksunta, sillä sitä ei C-kaseteissa ilmene. Lisäksi molemmat tyypit, Type I ja Type II kuulostavat hyvin samantlaisilta, mutta Type II kaseteissa on paljon selkeämmät korkeat taajuudet. Molemmissa tyypeissä kuitenkin esiintyy pientä, ja vain ajoittaista äänen huojuntaa, mikä ei juurikaan kuuntelukokemusta häiritse. Huojunta voi johtua kahdesta eri syystä: joko kasettisoittimessa on jotain vikaa, yleensä kasettia pyörittävä remmi vaatii vaihdon, tai sitten kasetin magneettinauha on venynyt suuren kuuntelumäärän vuoksi. Molemmatkin näistä voivat olla syynä äänen huojunnalle, sillä kasettisoittimeni ja siinä soittamani C-kasetit lähestyvät jo 40 vuoden ikää.

CD-levyn ja WAV- sekä FLAC-tiedostomuotojen kuuntelukokemuksessa en huomannut minkäänlaista eroa äänenlaadussa, mikä ei kylläkään ole yllättävää, sillä sekä WAV että FLAC tarjoavat CD-levyn tasoista ääntä, mahdollisesti jopa parempaakin ainakin teoriassa. Kaikki taajuudet kuuluvat kyseisissä formaateissa hyvin selkeinä, ja lisäksi kaikki häiriöt äänessä ovat käytännössä olemattomia. Vaikka MP3-tiedostomuodossa ei ole mielestäni suurta eroa äänenlaadussa CD-levyyn, WAV:iin tai FLAC:iin verrattuna, tein kuitenkin havainnon, että se ei ole yhtä tarkka kuin kyseiset formaatit, tarkoittaen tällä sitä, että eri äänet kuulostavat sekoittuvan keskenään. Esimerkiksi, jos korkea taajuus muuttuu nopeasti matalaksi taajuudeksi, taajuudet tuntuvat summautuvan näiden keskiarvoksi, jolloin ääni kuulostaa hieman kompressoidulta. MP3-tiedostossa ei myöskään ole mielestäni niin selkeät korkeat ja matalat taajuudet verrattuna CD-levyyn, WAV:iin ja FLAC:iin.

Sanoisinkin, että kaikista formaateista CD-levy, WAV ja FLAC kuulostavat selkeästi parhaimmilta kaikista vertailtavina olevista formaateista; ehkä jopa liiankin hyviltä. Tarkoitan tällä sitä, että digitaalisista formaateista puuttuu analogisten formaattien luonnollisuus ja lämpö äänessä, onhan maailmakin kuitenkin luonteeltaan analoginen. Lisäksi digitaaliset formaatit ovat mielestäni hiukan sieluttomia, sillä kaikki musiikki kuulostaa loppujen lopuksi samankaltaiselta formaateissa tarkoin määriteltyjen standardien vuoksi. Analogisissa formaateissa jokainen levy ja kasetti on ainutlaatuinen eivätkä mitkään kaksi levyä tai kasettia kuulosta täysin samantlaisilta.

3.2 Muut aistinvaraiset kokemukset

Levyn tai kasetin pakkaus on hyvin olennainen osa musiikin kokemuksellisuutta. Kun vertaillaan studioalbumin pakkausta eri formaattien kesken, niin vinyylilevyn pakkaus koostuu yleensä pahvikansista, joissa on kansitaide etupuolella ja takapuolella kappaleiden listaus. Pahvikansien sisältä liukuu ulos levyn sisältävä paperista valmistettu sisäpussi, joka on joko tyhjä tai siinä voi olla jotain painettuna, usein kappaleiden sanoitukset tai valokuvia esimerkiksi yhtyeestä. Vinyylilevyn keskellä on myös etiketti, jossa on kappalelista, albumin nimi, tekijätietoja ja merkintä siitä, kumpi puoli vinyylilevystä on kuunneltavana. C-kasettien pakkaus koostuu useimmiten läpinäkyvästä muovista valmistetuista kansista, joiden etupuolella on kansitaide ja takapuolella kappaleista, joka ulottuu kylläkin vain noin kolmasosalle takakansista, sillä loppuosasta näkee itse kasetin kannen lävitse. Kannot avattua, löytyy niiden sisältä itse C-kasetti ja etukansien kääntöpuolelle painettuna kappaleista tekijätietoineen. C-kasettiin on yleensä myös painettu samat tiedot kuin vinyylilevyynkin, tekijätietoja lukuun ottamatta.

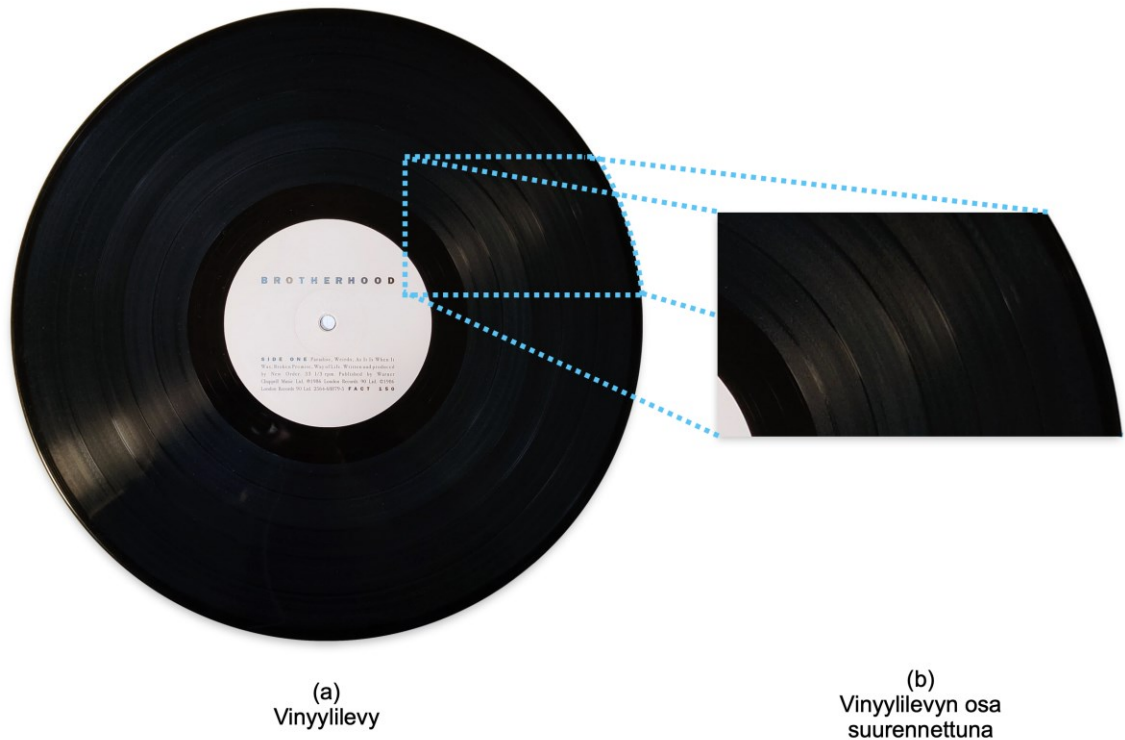
CD-levyn pakkaus on melko lailla yhdistelmä vinyylilevyn ja C-kasetin pakkausta, muutamilla ainutlaatuisilla ominaisuuksilla. Se koostuu yleensä läpinäkyvästä muovista valmistetuista kansista, jonka takapuolella on listaus kappaleista. Etukansien lävitse näkee kansitaiteen, mutta yleensä tämä on kuitenkin kansien sisällä olevan vihkosien kansissa oleva taide. Kansien sisältä löytyy itse CD-levy, ja edellä mainitsemani vihkonen, joka voi sisältää hyvinkin paljon ja monipuolista informaatiota, mutta yleensä se sisältää vähintään kappaleiden sanoitukset tekijätietoineen. CD-levyynkin on usein painettu tietoa, mutta ei niin laajasti kuin vinyylilevyssä tai C-kasetissa, pääosin artistin ja levyn nimi taustakuvalla. Tiedostomuodoissa musiikilla ei tietenkään ole pakkausta, mutta levyille pystyy silti asettamaan erinäisiä tietoja albumin, kappaleen ja artistin nimen lisäksi. Näitä ovat esimerkiksi kansitaide, kappalenumeroinnit albumissa ja tekijätiedot. Näillä ei kuitenkaan ole musiikin kokemuksellisuudessa läheskään yhtä suurta merkitystä kuin fyysisillä formaateilla.

Sanoisin, että musiikin pakkausta vertailtaessa vinyylilevy ja CD-levy ovat ylivertaisesti parempia muihin formaatteihin nähden. Vinyylilevy hyötyy valtavasta koostaan, mikä tuo esimerkiksi kansitaidetta paremmin esille ja lisäksi pakkauksen kerroksellisuuden avulla saavutetaan enemmän pinta-alaa tiedon painamiselle. CD-levy taas hyötyy pääosin pakkauksen sisältämästä vihkosesta, joka voi olla monisivuinen, mikä mahdollistaa laajan informaation painamisen albumista, mahdollisesti jopa laajemmin kuin vinyylilevyssä.

Kasetin, levyn ja äänitiedoston toistamisessa on valtavia eroja eri formaattien välillä. C-kasetissa musiikin toistaminen on selvästi vaikeinta. Syy tähän on se, että siinä on erittäin vaikeaa löytää haluttu kohta kappaleesta tai esimerkiksi kappaleen alkukohta, sillä kasetin kelaaminen on ainut tapa siirtyä kasetissa eteen- ja taaksepäin. Lisäksi C-kasetissa täytyy aina palata manuaalisesti kelaamalla kasetin alkuun, jos kasettia ei kuuntele loppuun asti. Kuten vinyylilevyissä, myös C-kasetissa on kaksi puolta, jolloin noin puolessavälissä albumia kasetti täytyy kääntää ympäri, mikä häiritsee albumin kuuntelua hieman.

CD-levyn toistaminen on samankaltainen kokemus C-kasettiin verrattuna, mutta tietyn parannuksen. CD-levy on yksipuolinen, jolloin albumin pystyy kuuntelemaan kokonaan lävitse levyä kääntämättä. Lisäksi CD-levyissä on mahdollista siirtyä kappaleesta toiseen vain nappia painamalla. CD-levyä yhdistää myös muiden digitaalisten formaattien ja tiedostomuotojen kanssa mahdollisuus lisätoimintojen käyttöön, esimerkiksi kappaleiden sekoittamiseen sekä jatkuvaan kappaleiden tai albumin toistoon.

Vaikka vinyylilevy onkin selvästi vanhin käsitellyistä formaateista, niin levyn toistaminen on siinä yllättävänkin joustavaa. Vinyylilevyssä pystyy aloittamaan toiston mistä tahansa levyn tai kappaleen kohdasta, vaikka kappaleen keskeltä, vain asettamalla neulan haluttuun kohtaan. Mutta kuten C-kasetissa, vinyylilevyssäkin on kaksi puolta, mikä häiritsee hieman kuuntelukokemusta, ja lisäksi vinyylilevyssä on melko lyhyt kesto kullekin puolelle, vain noin 22 min. Kuvassa 8a näkyykin vinyylilevy ja kuvassa 8b suurennos sen osasta, josta näkyy kohdat, joista eri kappaleet alkavat. Nämä kohdat esiintyvät ohuina ja tasapaksuisina renkaina, joissa ei ole uria yhtä siirtymäuraa lukuun ottamatta, minkä avulla neula pystyy siirtymään seuraavaan kappaleeseen. Esimerkiksi kuvassa 8a näkyvästä vinyylilevyn puolesta on kuunneltavissa albumin ensimmäiset 5 kappaletta.



Kuva 8. Vinyylilevy (a) ja suurennos sen osasta (b).

Kuten vinyylilevyssä, myös äänitiedostoissa on mahdollista valita albumista mikä kappale tahansa kuunneltavaksi muutamalla napin painalluksella, ja lisäksi niissä pystyy myös siirtymään nopeasti kappaleen sisällä haluttuun kohtaan. Sanoisinkin, että äänitiedostomuotojen toistaminen on monipuolisinta ja vaivattominta kaikista käsitellyistä formateista.

4. YHTEENVETO

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on ollut vertailla eri musiikintallennusformaatteja keskenään sekä teknisen toteutuksen näkökulmasta että kokemuksellisesti. Lisäksi tässä luvussa pohditaan teknisen toteutuksen ja kokemuksellisuuden yhteyttä.

Luvussa 2 on käsitelty eri musiikintallennusformaattien teknistä toteutusta. Luku on jaettu osiin käsiteltävien formaattien luonteen mukaan ja se alkaa fyysisistä analogisista formaateista. Fyysisistä analogisista formaateista käsiteltävinä formaatteina on ollut vinylilevy ja C-kasetti. Molemmat näistä formaateista ovat melko yksinkertaisia toteutuksiltaan, mutta ovat kuitenkin täysin kykeneväisiä toistamaan kaikki ihmiskorvan kuulemat äänentaajuudet. Näillä formaateilla on kuitenkin negatiivisiakin ominaisuuksia, suurimpina ongelmina ovat kohina ja formaattien kuluminen käytössä. Fyysisistä digitaalisista formaateista käsiteltävänä on ollut CD-levy, joka on formaattina hyvin edistyksellinen verrattuna analogisiin formaatteihin. Siinä on erittäin alhainen kohina ja se on kykeneväinen toistamaan kaikki ihmisen kuulemat äänentaajuudet, kuten analogisetkin formaatit. Lisäksi CD-levy on digitaalisen luonteensa vuoksi tietotekniikan kanssa helposti yhteensopiva. CD-levy kuitenkin vaatii enemmän signaalinkäsittelyä kuin analogiset formaatit.

Luvussa 2 on lisäksi käsitelty eri tiedostomuotoja ja ne on luokiteltu tiedostomuotojen pakkaamisen luonteen, tai sen puutteen, perusteella. Pakkaamattomista tiedostomuodoista esimerkkinä käytetään WAV-tiedostoa, jossa on erittäin hyvä äänenlaatu suurten bittisyvyyksien sekä näytteenottotaajuuksien ansiosta. Pakkaamattoman luonteen vuoksi WAV-tiedostojen koot ovat kuitenkin hyvin suuria. Pakatuista tiedostoista, joissa on häviötön pakkaus, käytetään esimerkkinä FLAC:a, joka on erittäin nopea purkaa ja pystyy pienentämään tiedostokoon jopa 40 %:iin alkuperäisestä pakkaamattomasta tiedostosta. FLAC-tiedostoissa on myös erittäin laaja ja joustava tuki monenlaiseen käyttötarkoitukseen. FLAC kuitenkin vaatii prosessointitehoa tiedostonpurulle, mitä pakkaamattomat tiedostot eivät tarvitse. MP3-tiedostoa käytetään esimerkkinä pakatuista tiedostoista, joissa on häviöllinen pakkaus sen erittäin suuren suosion ja tuen vuoksi. MP3-tiedostot pystyvät pienentämään pakkaamatonta tiedostoa jopa 90 %:a, mutta poistavat samalla pysyvästi dataa alkuperäisestä tiedostosta. Lisäksi MP3 tukee maksimissaan 16-bittistä ääntä, kun taas WAV ja FLAC tukevat jopa 32-bittistä ääntä.

Luvussa 3 on käsitelty musiikintallennusformaattien kokemuksellisuutta kuuntelukokemuksen ja muiden aistinvaraisten kokemusten osalta. Kuuntelukokemus vaihtelee eri

formaattien välillä, mutta ei kuitenkaan merkittävästi; kaikki formaatit ovat täysin kuuntelemisen arvoisia. Havaitsin parhaan äänenlaadun olevan CD-levyissä sekä WAV- ja FLAC-tiedostomuodoissa, mutta analogisissa formaateissa saavutetaan mielestäni luonnollisempi äänimaailma. Analogisissa formaateissa esiintyy kuitenkin enemmän kuuntelukokemusta häiritseviä tekijöitä. Esimerkiksi vinyylilevyissä häiriötä esiintyy pääosin äänen poksuntana, joka voi johtua pienistäkin asioista, kuten levyn urissa olevista pölyhiukkasista.

Muut aistinvaraiset kokemukset vaihtelevat paljon enemmän eri musiikintallennusformaattien välillä verrattuna kuuntelukokemukseen. Formaattien pakkauksissa vinyylilevyllä ja CD-levyllä on merkittävä etu muihin formaatteihin. Vinyylilevy hyötyy sen suuresta koosta mahdollistaen valtavan pinta-alan tiedon painamiselle sekä tilan suurelle ja vaikuttavalle kansikuvulle. CD-levyn pakkauksessa taas on usein mukana monisivuinen vihko, johon saadaan myös mahdutettua paljon tietoa. Formaatin toisto on selvästi vaikeinta C-kasetissa, sillä siinä ainut tapa etsiä kappaleita on kasetin kelaaminen, joka on erittäin hidasta erityisesti, jos sitä joutuu tekemään suuressa määrin. Vinyylilevyissä kappaleiden toistaminen on melkein yhtä helppoa kuin digitaalisissa formaateissa, sillä toiston pystyy aloittamaan mistä tahansa kuuntelijan haluamasta vinyylilevyn kohdasta. Digitaalisten formaattien etuna on kuitenkin mahdollisuus lisätoiminnoille, kuten kappaleiden keskenään sekoittamiselle.

Vaikka teknisessä toteutuksessa on suuria eroja eri musiikintallennusformaattien välillä, ei tällä ole niin suurta eroa kokemuksellisuudessa. Analogisissa formaateissa ääni on tallennettu analogisena signaalina, mikä tarkoittaa sitä, että signaali on jatkuva voi saada äärettömän määrän eri arvoja. Digitaalinen signaali ei ole jatkuva ja se voi saada arvoja vain äärellisestä joukosta. Silti ihminen ei kuule merkittävää eroa näiden välillä, sillä ihmisen kuuloalue on suhteellisen kapea. Digitaalisissa formaateissa kuuluu analogisia formaatteja vähemmän kohinaa, mikä johtuu digitaalisen signaalin luonteesta. Digitaalisessa signaalissa on myös kohinaa, mutta sen merkitys pienenee, koska soittimen tarvitsee pystyä vain erottamaan signaalista bitin arvo, minkä se pystyy suorittamaan suurimman kohinan sävyttämästä signaalista.

Äänitiedostomuodoissa mitätöityy CD-levyissä oleva aikarajoite musiikin kestolle ja tämä luo uusia mahdollisuuksia esimerkiksi suuremmille bittisyvyyksille sekä suuremmille näytteenottotaajuuksille, erityisesti pakkaamattomissa tiedostoissa, mutta myös häviötöntä pakkausta käyttävissä pakkaavissa tiedostomuodoissa. Esimerkiksi WAV-tiedostoissa bittisyvyys voi olla 32 bittiä, ja näytteenottotaajuus jopa 192 kHz, kun taas CD-levyissä bittisyvyytenä käytetään 16 bittiä ja näytteenottotaajuutena 44,1 kHz:ä. Vaikka

WAV-tiedostoissa näytteenottotaajuus voi olla moninkertaisesti suurempi kuin CD-levyssä, niin ihminen ei voi kuitenkaan tätä kuulla. Suuremmasta näytteenottotaajuudesta voi silti olla merkittävää hyötyä ammattilaisten käytössä.

Tekninen toteutus on yhteydessä muuhunkin kokemuksellisuuteen kuin kuuntelukokemukseen. Molemmat työssä käsitellyt analogiset formaatit on toteutettu kaksipuolisina, joten kesken albumin levyä tai kasettia on käännettävä, kun taas CD-levyä ei tarvitse kääntää yksipuolisen toteutuksen vuoksi. Äänitiedostomuodoissa kokemuksellisuuden merkitys, kuuntelukokemusta lukuun ottamatta, on melko olematon verrattuna fyysisiin formaatteihin äänitiedostojen abstraktin luonteen vuoksi, mistä fyysiset formaatit saavat merkittävää etua puolelleen.

LÄHTEET

- [1] A. J. Millard, *America on record: a history of recorded sound*, Second edition. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.
- [2] R. Shuker, *Popular music culture: the key concepts*, Fifth edition. teoksessa Routledge key guides. Abingdon, Oxon; New York: Routledge, 2021. Viitattu: 12. helmikuuta 2023. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www-taylorfrancis-com.libproxy.tuni.fi/books/mono/10.4324/9781003168751/popular-music-culture-roy-shuker>
- [3] S. Rosen ja P. Howell, *Signals and systems for speech and hearing*, 2. ed. Bingley: Emerald, 2011.
- [4] J. Maes ja M. Vercammen, *Digital audio technology a guide to CD, MiniDisc, SACD, DVD(A), MP3 and DAT*, 4th ed. Oxford: Focal, 2001. Viitattu: 11. helmikuuta 2023. [Verkossa]. Saatavissa: https://learning.oreilly.com/library/view/digital-audio-technology/9780240516547/?sso_link=yes&sso_link_from=tampere-university
- [5] "Phonograph record", *Wikipedia*. https://en.wikipedia.org/wiki/Phonograph_record (viitattu 22. maaliskuuta 2023).
- [6] "What's the Difference Between a Conical and Elliptical Stylus?", *Fluance*. https://blog.fluance.com/conical-stylus-vs-elliptical-stylus-on-a-turntable/#Which_Stylus_Shape_is_Better (viitattu 22. maaliskuuta 2023).
- [7] "What Are the Differences Between Moving Magnet and Moving Coil Phono Cartridges?", *Audio Technica*. <https://www.audio-technica.com/en-us/support/audio-solutions-question-week-differences-moving-magnet-moving-coil-phono-cartridges/> (viitattu 23. maaliskuuta 2023).
- [8] Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry, *Suureet ja yksiköt. Si-mittayksikköjärjestelmä*, 5. painos. Helsinki, 2001. Viitattu: 13. helmikuuta 2023. [Verkossa]. Saatavissa: <http://web.archive.org/web/20120831234747/http://www.sfs.fi/files/70/si-opas.pdf>
- [9] J. C. Morris, *Analogue electronics*, 2nd ed. London: Arnold, 1999.
- [10] "AT-LP3 User Manual". 2016. Viitattu: 13. helmikuuta 2023. [Verkossa]. Saatavissa: https://docs.audio-technica.com/us/at_lp3_om.pdf?_gl=1*eathaf*_ga*MTlwMDk3MTkzNi4xNjc3MTkxNDIx*_ga_GWLV049W8H*MTY3NzE5MTQyMC4xLjAuMTY3NzE5MTQyMy4wLjAuMA..
- [11] "AT91 User Manual". 2017. Viitattu: 13. helmikuuta 2023. [Verkossa]. Saatavissa: https://docs.audio-technica.com/eu/AT91_Manual_10-LAN_112301313V1_V170720.pdf

- [12] E. D. Daniel, C. D. Mee, ja M. H. Clark, *Magnetic recording: the first 100 years*. New York: IEEE Press, 1998.
- [13] "Cassette tape", *Wikipedia*. https://en.wikipedia.org/wiki/Cassette_tape (viitattu 23. maaliskuuta 2023).
- [14] F. Rumsey ja T. McCormick, *Sound and recording: an introduction*, 5th ed. Oxford: Focal Press, 2006. Viitattu: 24. helmikuuta 2023. [Verkossa]. Saatavissa: https://learning.oreilly.com/library/view/sound-and-recording/9780240519968/?sso_link=yes&sso_link_from=tampere-university
- [15] "Compact Cassette tape types and formulations", *Wikipedia*. https://en.wikipedia.org/wiki/Compact_Cassette_tape_types_and_formulations (viitattu 23. maaliskuuta 2023).
- [16] "Compact Disc Digital Audio", *Wikipedia*. https://en.wikipedia.org/wiki/Compact_Disc_Digital_Audio (viitattu 25. maaliskuuta 2023).
- [17] "Red Book CD Format Explained", *Travsonic*. <https://www.travsonic.com/red-book-cd-format/> (viitattu 25. maaliskuuta 2023).
- [18] "Mission of Burma - Mission of Burma", *Discogs*. <https://www.discogs.com/release/1129709-Mission-Of-Burma-Mission-Of-Burma> (viitattu 27. helmikuuta 2023).
- [19] "44,100 Hz", *Wikipedia*. https://en.wikipedia.org/wiki/44,100_Hz (viitattu 25. maaliskuuta 2023).
- [20] "Audio file format", *Wikipedia*. https://en.wikipedia.org/wiki/Audio_file_format (viitattu 10. maaliskuuta 2023).
- [21] "Audio File Formats", *FileInfo*. <https://fileinfo.com/filetypes/audio-all> (viitattu 8. maaliskuuta 2023).
- [22] M. Miller, *The Ultimate Digital Music Guide: The Best Way to Store, Organize, and Play Digital Music*. Indianapolis, Ind: Que, 2012. Viitattu: 9. maaliskuuta 2023. [Verkossa]. Saatavissa: https://learning.oreilly.com/library/view/the-ultimate-digital/9780132982870/?sso_link=yes&sso_link_from=tampere-university
- [23] "WAV File Extension", *FileInfo*. <https://fileinfo.com/extension/wav> (viitattu 9. maaliskuuta 2023).
- [24] "Interchange File Format", *Wikipedia*. https://en.wikipedia.org/wiki/Interchange_File_Format (viitattu 12. maaliskuuta 2023).
- [25] "Resource Interchange File Format", *Wikipedia*. https://en.wikipedia.org/wiki/Resource_Interchange_File_Format (viitattu 12. maaliskuuta 2023).

- [26] W. Jackson, *Digital audio editing fundamentals*. New York, NY: Apress, 2015. Viitattu: 8. maaliskuuta 2023. [Verkossa]. Saatavissa: https://learning.oreilly.com/library/view/digital-audio-editing/9781484216484/?sso_link=yes&sso_link_from=tampere-university
- [27] "Best audio format file types", *Adobe*. <https://www.adobe.com/creativecloud/video/discover/best-audio-format.html> (viitattu 9. maaliskuuta 2023).
- [28] K. Sayood, *Lossless compression handbook*. Amsterdam: Academic Press, 2003. [Verkossa]. Saatavissa: https://learning.oreilly.com/library/view/lossless-compression-handbook/9780126208610/?sso_link=yes&sso_link_from=tampere-university
- [29] "Lossless Definition", *TechTerms*. <https://techterms.com/definition/lossless> (viitattu 14. maaliskuuta 2023).
- [30] "FLAC File Extension", *FileInfo*. <https://fileinfo.com/extension/flac> (viitattu 10. maaliskuuta 2023).
- [31] "FLAC - Features", *Xiph.Org Foundation*. <https://xiph.org/flac/features.html> (viitattu 18. maaliskuuta 2023).
- [32] "FLAC - Changelog", *Xiph.Org Foundation*. <https://xiph.org/flac/changelog.html> (viitattu 18. maaliskuuta 2023).
- [33] "FLAC - Format", *Xiph.Org Foundation*. <https://xiph.org/flac/format.html> (viitattu 18. maaliskuuta 2023).
- [34] "Psychoacoustics", *Wikipedia*. <https://en.wikipedia.org/wiki/Psychoacoustics> (viitattu 14. maaliskuuta 2023).
- [35] "Lossy Definition", *TechTerms*. <https://techterms.com/definition/lossy> (viitattu 15. maaliskuuta 2023).
- [36] "MP3 File Extension", *FileInfo*. <https://fileinfo.com/extension/mp3> (viitattu 10. maaliskuuta 2023).
- [37] "Record Grading 101: Understanding The Goldmine Grading Guide", *Goldmine Magazine*. <https://www.goldminemag.com/collector-resources/record-grading-101> (viitattu 1. toukokuuta 2023).