

**DYNAMIIKKA-ALUEEN KOMPRESSOINNIN HAVAITSEMINEN JA  
VAIKUTUS KUUNTELUKOKEMUKSEEN**

Niko Huttunen  
Pro gradu -tutkielma  
Musiikkitiede  
Kevät 2012  
Jyväskylän yliopisto

# JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO

Tiedekunta – Faculty Humanistinen tiedekunta	Laitos – Department Musiikin laitos
Tekijä – Author Niko Eemeli Huttunen	
Työn nimi – Title Dynamiikka-alueen kompressoinnin havaitseminen ja vaikutus kuuntelukokemukseen	
Oppiaine – Subject Musiikkitiede	Työn laji – Level Pro gradu -tutkielma
Aika – Month and year Toukokuu 2012	Sivumäärä – Number of pages 55 + 1
<p>Tiivistelmä – Abstract</p> <p>Tutkimuksessa selvitettiin musiikin dynamiikka-alueen hallinnan eli kompressoinnin havaitsemista sekä vaikutuksia kuuntelijoiden havaintoihin. Viimeisten vuosikymmenten aikana siirryttäessä analogisesta digitaaliseen musiikin tallennus- ja toistojärjestelmään dynamiikka-alueen hallinta on siirtynyt huolestuttaviin mittoihin. Kompressoinnin havaitsemisesta ja sen vaikutuksista musiikin kuuntelijoiden kannalta tiedetään kuitenkin äärimmäisen vähän. Tutkimukset ovat keskittyneet kuulolaitetutkimuksen puolelle, jonka kautta saatujen tulosten soveltaminen on mahdollista myös musiikin tutkimuksen suunnalla.</p> <p>Tutkimus toteutettiin järjestämällä kuuntelukoe, jossa hyödynnettiin sekä määrällisen että laadullisen tutkimuksen keinoja. Kokeeseen osallistujat olivat musiikkia aktiivisesti harrastavia henkilöitä eri musiikkioppilaitoksista. Kuuntelukokeella kerätty aineisto käsiteltiin moniulotteisen skaalauksen sekä kaksisuuntaisen varianssianalyysin avulla. Saadut tilastollisesti merkitsevät tulokset noudattelivat hyvin studioalan ammattilaisten näkemyksiä kompressoinnin vaikutuksista.</p> <p>Dynamiikka-alueen laajuuden muutoksen havaitsemisesta erot olivat 3 – 6dB:n luokkaa. Osallistujien havainnoista muodostettiin nelikenttä, jonka avulla kyettiin kuvaamaan havaintoihin vaikuttaneita piirteitä. Toisiinsa vastakohtaisesti vaikuttavaksi piirteiksi muodostuivat <i>selkeys</i> ja <i>luonnollisuus</i> sekä <i>iskevyys</i> ja <i>elävyys</i>. Sopiva kompressointi paransi näyttöiden arviointeja. Lisätutkimusta dynamiikka-alueen kaventamisen pidempi aikaisista vaikutuksista olisi tarpeellista suorittaa.</p>	
Asiasanat – Keywords Kompressointi, dynamiikka-alue, havaitseminen, loudness-sota, loudness war, musiikin kuuntelu, moniulotteinen skaalaus, kuuntelukoe, studiotekniikka	
Säilytyspaikka – Depository Jyväskylän yliopisto, Musiikin laitoksen kirjasto	
Muita tietoja – Additional information	

<b>1 JOHDANTO .....</b>	<b>5</b>
1.1 AIEMMAT TUTKIMUSTULOKSET KOMPRESSOINNIN VAIKUTUKSISTA .....	6
1.2 TUTKIMUKSEN PERUSTELUT JA TARPEELLISUUS .....	8
<b>2 KOMPRESSOINTI ELI DYNAMIIKKA-ALUEEN HALLINTA .....</b>	<b>10</b>
2.1 ÄÄNENVOIMAKKUUDEN HAVAITSEMINEN JA DYNAMIIKKA-ALUEEN MÄÄRITTELY .....	11
2.2 PERUSTELUJA DYNAMIIKKA-ALUEEN PIENENTÄMISELLE .....	12
2.2.1 Musiikin tallentaminen.....	12
2.2.2 Studioteknologian kehitys .....	14
2.2.3 Musiikin kuunteluympäristön vaikutus .....	14
2.2.4 Kuunteluäänenvoimakkuuden kasvaminen .....	16
2.3 MARKKINAVOIMAT JA LOUDNESS-SODAN HISTORIA .....	17
2.3.1 Loudness-sodan kehitys .....	18
2.3.2 Loudness-sodan mahdolliset sivuvaikutukset .....	19
<b>3 MENETELMÄT .....</b>	<b>21</b>
3.1 KOKEEN SUUNNITTELU JA NÄYTTEIDEN TEKEMINEN .....	21
3.2 NÄYTTEIDEN PROSESSOINTI .....	23
3.3 KOEOSIOIDEN KUVAUS.....	24
3.3.1 Näytteiden samanlaisuuden arviointi .....	24
3.3.2 Näytteiden äänenlaadullinen arviointi .....	25
3.3.3 Osallistujat .....	26
3.4 KÄYTETYT AINEISTON ANALYSOINTIMENETELMÄT .....	26
<b>4 TULOKSET .....</b>	<b>28</b>
4.1 SAMANLAISUUS-ARVIOINTIEN ANALYSOINTI .....	28
4.1.1 Näytteiden sijoittuminen kolmiulotteiseen malliin.....	29
4.2 ADJEKTIIVIPARI-AINEISTON ANALYSOINTI .....	32
4.2.1 Tilastollisten merkitsevyyksien tarkastelu.....	33
4.2.3 Aineistojen yhdistäminen ja ulottuvuuksien ominaisuudet .....	37
4.2.4 Harhautus-näytteen raportointi .....	38
<b>5 JOHTOPÄÄTÖKSET .....</b>	<b>40</b>
5.1 TULOSTEN TULKINTA .....	40
5.1.2 Havaitsemisulottuvuuksien ominaisuudet .....	41
5.2 ADJEKTIIVIASTEIKOIDEN TULKINTA .....	43
5.2.1 Käsittelyjen aiheuttamien erojen tulkinta .....	43
5.2.2 Musiikkityyliin aiheuttamat erot.....	44

<b>6 PÄÄTÄNTÖ</b> .....	<b>46</b>
6.1 MAHDOLLISET JATKOTUTKIMUKSET.....	48
6.2 LOPPUSANAT .....	50
<b>LÄHTEET</b> .....	<b>52</b>
<b>LIITE 1</b> .....	<b>58</b>

# 1 JOHDANTO

Pro gradu -tutkielmani aihe koskettaa jokaista tallennetun musiikin kuuntelijaa. Tutkimusaiheeni käsittelee tallennetun (populaari)musiikin dynamiikka-alueen ja sen hallinnan eli kompressoinnin havaitsemista. Dynamiikka-alueella musiikissa tarkoitetaan hiljaisempien ja voimakkaimpien kohtien välistä erotusta. Kompressointi on signaalinkäsittelyprosessi, jolla dynamiikan vaihteluja sekä eroja pyritään hallitsemaan voimistamalla hiljaisia ja hillitsemällä voimakkaita kohtia, jolloin lopputuloksena on dynamiikka-alueeltaan tasaisempi kappale. Dynamiikka-alueesta puhuttaessa käytetään myös yleisesti ilmaisua dynamiikka.

Tasaisemmalla dynamiikalla on tallennetussa musiikissa monia käytännön perusteluita kuten esimerkiksi käytettävän tallennusmedian rajoitukset tai erilaisten kuunteluympäristöjen asettamat haasteet. Kompressointi on syntynyt käytännön tarpeeseen, mutta myös kehittynyt (studio)teknologisen kehityksen mukana korvaamattomaksi osaksi sekä äänilevyteollisuuden taiteellista että kaupallista puolta. Kompressoinnista ja dynamiikka-alueen kaventamisesta on tullut yleinen käytäntö, jolla pyritään optimoimaan tallenteiden äänenvoimakkuustasot korkeimmalle mahdolliselle tasolle ilman havaittavaa vaikutusta äänenlaatuun.

Alan kasvamisen myötä kilpailu kuluttajien huomiosta on koventunut, jonka seurauksena – kompressoinnin mahdollistamista – tallenteiden kasvaneista äänenvoimakkuuksista on kehittynyt yksi kilpailuvalteista, jolla pystytään erottautumaan suuren tarjonnan joukosta. Otettaessa huomioon, että kompressointi on epälineaarinen signaalin käsittelyprosessi, jonka tuloksena signaalin laatu heikkenee aina jonkin verran, voidaan liiallisella kompressoinnilla huonontaa äänenlaatua huomattavasti. Viimeisten kahden vuosikymmenen aikana musiikkiteollisuuden alati kiihtynyt kilpailu onkin johtanut ylilyönteihin ja jopa musiikkitalenteiden äänenlaadullisiin ongelmiin, jotka ovat olleet havaittavissa myös kuluttajien puolella. Tallenteiden äänenvoimakkuustasot ovat nousseet huomattavasti ja dynamiikka-alue on vastaavasti kaventunut lähes olemattomiin.

Vaikka monet alalla toimivat ammattilaiset ovat ilmaisseet huolensa tallenteiden pienenevän dynamiikka-alueen sekä kompressoinnin kehityksen suunnasta ja aiheesta on kirjoitettu myös lukuisissa uutis- ja lehtiartikkeleissa sekä internet-julkaisuissa, on musiikin tieteellisen

tutkimuksen osuus kompressoinnista ja sen mahdollisista vaikutuksista jäänyt olemattoman pieneksi. Kompressoinnista tiedetään signaalinkäsittelyprosessina, että se muuttaa signaalia, mutta vaikutukset kuuntelijan kannalta muuttuneen signaalin havaitsemisesta ovat rajoittuneet kuulolaitetutkimuksen pariin, jolla alalla dynamiikan hallinta ja sen vaikutukset muun muassa puheen selkeyteen ja ymmärrettävyyteen ovat merkittävät. Niiden tuloksien soveltaminen ja hyödyntäminen musiikin tutkimuksessa on kuitenkin vielä kokeiluasteella johtuen varmasti osaksi musiikin monimutkaisemmasta sekä -ulotteisemmasta luonteesta.

Musiikin kompressoinnin havaitsemisen voi helposti ymmärtää olevan hyvin subjektiivista ja sidottu vahvasti muun muassa kuunteluolosuhteisiin, henkilökohtaisiin mieltymyksiin tai kriittiseen kuuntelukokemukseen. Aikaisemmat tutkimustulokset ovat kykenemättömiä vastaamaan kompressoinnin ja dynamiikka-alueen laajuuteen liittyviin kysymyksiin. Dynamiikkaa pidetään yleisesti tärkeänä musiikin osana, mutta sen rajoittamisen havaitsemisesta tiedetään yllättävän vähän.

Tämän tutkimuksen alan rajoittuneisuuden vuoksi erityisen mielenkiintoni kohteeksi ovat nousseet seuraavanlaiset tutkimuskysymykset:

1. Millainen muutos kompression määrässä pystytään havaitsemaan?
2. Millä tavalla kompressointi vaikuttaa kuuntelukokemukseen?

Vastauksia asettamiini kysymyksiin haen järjestämäni kuuntelukokeen avulla kerätyn aineiston puitteissa.

## **1.1 Aiemmat tutkimustulokset kompressoinnin vaikutuksista**

Yleisesti psykoakustiikan tutkimustuloksista voi huomata havaitsemiskykymme toimivan tarkemmin arvioitaessa ärsyksen vähentymistä kuin lisääntymistä. Esimerkiksi muutokset tempon hidastumisessa havaitaan helpommin kuin tempon kasvaminen (Kuhn, 1974; Geringer & Madsen, 1984); muutokset sävelkorkeudessa laskemisessa (Wang, 1983; Geringer & Madsen, 1984) sekä ajallisesti tapahtuvat dynamiikan muutokset esim. crescendo ja diminuendo ovat myös helpommin havaittavissa (Geringer, 1991; 1995). Aiemmat tutkimukset osoittavat kuulojärjestelmämme kehittyneen erittäin tarkaksi äänenvoimakkuuserojen tarkkailuvälineeksi (mm. Dowling & Harwood, 1986; Seashore, 1967; Moore, 2004). Hypoteesina voisi olettaa, että myös muutokset dynamiikka-alueen

laajuudessa musiikillisessa kontekstissa olisivat jollakin tasolla havaittavissa, mutta tutkimuksia aiheesta ei ole tehty.

Tutkimukset dynamiikan hallinnasta ja kompressoinnin vaikutuksista ovat painottunut kuulolaitetutkimuksen ja -suunnittelun puolelle. Tulokset osoittavat, että sopivassa määrin kompressiosta on hyötyä puheenymmärtämistehtävissä (Dillon, 1996; Glasberg & Moore, 2002). Tutkimuksissa on tarkasteltu muun muassa kompressorin parametrien muutoksien vaikutuksia sekä kompression vaikutuksia eri taajuuskaistoilla monikaistakompressoreiden avulla. Tulokset osoittavat sopivan kompression määrän olevan hyvin pitkälle tapauskohtaista (Dillon, 1996).

Kuulolaitetutkimukset osoittavat, että liiallinen materiaalin kompressointi vähentää taajuudellisen kirjon eli spektrin vaihtelua, joka vaikuttaa negatiivisesti kuulohavaintojemme tarkkuuteen (Neuman et al., 1998; Stone et al., 2009). Nämä tulokset sopivat hyvin yhteen jo varhaisten signaalinkäsittelytutkimuksien tuloksien kanssa, jotka ovat osoittaneet kompression heikentävän signaali-kohina-suhdetta (Blessner, 1969). Kuulolaitetutkimus on laajan tutkimustietonsa ansiosta merkittävässä osassa tutkittaessa ja sovellettaessa tuloksia musiikin kompressointiin ja sen vaikutuksiin (Campbell et al., 2010).

Kuulolaitetutkimuksesta saadut tulokset tukevat audioalan ammattilaisten näkemyksistä kompressoinnin käytöstä ja -määrästä. Yleisesti kompressoinnilla pyritään saamaan aikaan iskevämpi ja mielenkiintoisempi kuuntelukokemus, joka perustuu musiikin luonnollisten dynaamisten vaihteluiden seuraamiseen ja mahdolliseen korostamiseen (mm. Zak, 2001; Katz, 2007). Kompressoimalla nostetaan äänimateriaalin keskimääräistä äänenvoimakkuustasoa ja samalla tasoitetaan sen taajuusvastetta kuulojärjestelmällemme sopivammaksi. Materiaalin yleinen äänenvoimakkuustason nouseminen mahdollistaa laajemman taajuusinformaation saapumisen kuuntelijalle, joka voi muodostaa äänestä yksityiskohtaisemman kuvan (Moore, 2004; Vickers, 2010). Myös kodinkonejätti Philipsin teettämä tutkimus jo vuodelta 1986 puoltaisi ihmisen mieltymystä valita kahdesta samanlaisesta musiikkista se, jota on sopivasti kompressoitu (Wagenaars et al., 1986). Sopivan kompressoinnin määrää ei tutkimuksessa tarkennettu.

## 1.2 Tutkimuksen perustelut ja tarpeellisuus

Edellä esitellyn aiemman tutkimustiedon ja -tuloksien perusteella voin pitää omaa tutkimustani erittäin perusteltuna. Audioalalla ja yleisissä keskusteluissa liikkuu paljon mielipiteitä ja väitteitä kompression ja dynamiikka-alueen pienenemisen vaikutuksista kuitenkin vailla tieteellistä pohjaa.

Tutkimukset ovat osoittaneet kuulojärjestelmän toimintaperiaatteet, jotka puoltaisivat dynamiikan havaitsemisen olevan olennainen osa muodostaessamme kuvaa musiikista. Varsinaisesti kompressoinnin havaitsemisesta tutkimustuloksia ei ole, lukuun ottamatta William Campbellin tutkimusryhmän vuonna 2010 tekemää tutkimusta, joka onnistuneesti yhdistää psykoakustiikan tutkimustuloksia kuulolaitetutkimuksen kanssa (Campbell et al., 2010). Tutkimuksessa selvitettiin suuntaa-antavasti dynamiikka-alueen käsittelyn hyviä ja huonoja puolia musiikinkuuntelijan näkökulmasta. Kyseinen tutkimus toimii ensimmäisenä askeleena pyrkimyksissä selventää kompressoinnin havaitsemista sekä vaikutuksia. Campbellin tutkimusryhmän tutkimus herättää ehkä enemmän uusia kysymyksiä kuin kykenee antamaan vastauksia, mutta toimii hyvänä nykytutkimuksen suunnannäyttäjänä.

Suuri määrä dynamiikaltaan vajavaista musiikkia tuskin on kenenkään etujen mukaista. Masterointi-insinööri Robert Katzin mukaan kaikki audioalanammattilaisetkaan eivät tiedä miltä kompressoimaton, luonnollisen kuuloinen ääni kuulostaa, niin miten siinä onnistuu tavallinen musiikinkuuntelija? Dynamiikan pitäisi olla luonnollinen sekä hyvin olennainen osa musiikkinautintoamme, joten olisi hyvä selvittää missä määrin kompressoinnilla kyetään vaikuttamaan asiaan. Aiemman tutkimuksen puute kompressoinnin vaikutuksista musiikinkuuntelijaan hämmästyttää, vaikka kompressointi on ollut jo hyvän aikaa osana musiikin tuotantoa. Ehkä viime vuosina selkeämmin esille nousseet äänitteiden äänenlaadulliset ongelmat siirtävät tutkimuksen painopisteen myös kuuntelijoiden puolelle.

Tässä tutkimuksessa tulen selvittämään kompressoinnin etujen ja haittojen suhdetta ja mahdollisia vaikutuksia musiikinkuluttajien kannalta. Tallenteiden dynamiikka-alueen laajuuden ollessa vailla yleisiä säädöksiä ja suosituksia – joihin on siirrytty elokuvateollisuuden puolella – on tällaisella tutkimuksella selkeä tilaus. Yhdistämällä aiempia tutkimustuloksia pyrin konkretisoimaan studioalanammattilaisten näkemyksiä ja kokemuksia dynamiikka-alueen hallinnasta ja sen tarpeellisuudesta. Oma kiinnostukseni aiheeseen kumpuaa musiikkiteknologin pohjakoulutuksestani sekä alaan liittyvistä työtehtävistäni,



joiden tuomaa arvokasta kokemusta olen pyrkinyt hyödyntämään tutkimukseni parissa työskennellessäni. Tutkimus antaa alustavan katsauksen aiheeseen ja tarjoaa toimivan kokeellisen tutkimusmallin kompressoinnin havaitseminen tutkintaan sekä osoittaa lisätutkimuksen tarpeellisuuden. Tutkimus esittelee myös mahdollisia jatkotutkimuskysymyksiä sekä -aihteita, jotka jatkaisivat luontevasti aiheen parissa.

## 2 KOMPRESSOINTI ELI DYNAMIIKKA-ALUEEN HALLINTA

Kompressio voidaan usein liittää harhaanjohtavasti myös digitaalisen informaation uudelleen ohjelmointiin liittyvään tiedostokoon fyysiseen pienentämiseen, josta esimerkkinä toimikoon muun muassa MPEG-1 Audio Layer 3-formaatti (mp3). Kyseisessä tapauksessa suuremmasta äänitiedostomuodosta (esim. WAV) on saatu ohjelmoinnin tuloksena vähemmän levytilaa vievä äänitiedostomuoto. Tiedostomuodon pienentämisoperaatiosta voidaan käyttää nimitystä kompressointi, vaikka osuvampaa olisi puhua esimerkiksi (datan) pakkaamisesta tai tiivistämisestä.

Tässä tutkimuksessa kompressoinnilla tarkoitetaan äänimateriaalin äänenvoimakkuusvaihteluiden eli dynamiikka-alueen hallintaa. Dynamiikan hallintaan käytettävä äänenprosessointiväline on nimeltään kompressori, jonka toimintaperiaate perustuu prosessorin tulo- ja lähtösignaalitasojen voimakkuuden automaattiseen tarkkailuun ja säätämiseen annettujen hallintaparametrien mukaisesti. Hallintaparametrien arvoja ovat kompressointikynnys (threshold), kompressointisuhde (ratio), reagointiaika (attack time) sekä vapautusaika (release time). Kompressointi on epälineaarinen signaalinkäsittelymuoto eli lähtösignaalin taso riippuu tulosignaalin tasosta.

### **Kompressorin hallintaparametrien toiminta**

*Kompressointikynnyksen* säätimellä asetetaan haluttu raja-arvo, jonka ylitse menevät signaalitasot vaimennetaan eli kompressoidaan. Mitä matalammaksi kynnyksen asettaa, sitä matalammilla signaalitasoilla kompressointia tapahtuu. Kynnyksen tarkka säätäminen on hyvin oleellista kompressorin käytössä, koska se sanelee käytännössä kompressorin vaikutusalueen. Kynnys voidaan asettaa korkealle haluttaessa, että kompressori tasoittaa signaalista vain korkeimmat huiput ja jättää lopun signaalin ennalleen tai vastaavasti asettamalla kynnyksen matalalle vaikutetaan enemmänkin signaalin kokonaisäänenvoimakkuuden keskiarvoon.

*Kompressointisuhteella* tarkoitetaan sitä suhdetta, jolla kompressiokynnyksen ylittävä signaali vaimennetaan. Esimerkiksi suhde 2:1 tarkoittaa, että kynnyksen kahdella desibelillä ylittävä signaali vaimenee puoleen eli lähtötaso nousee vain yhdellä desibelillä. Vastaavasti 3:1 suhde tarkoittaa 9dB:n tulosignaalin pienentyvän kolmasosaan eli 3dB:in. Käytettäessä suuria

kompressiosuhteita (yli 10:1), kynnyksen ylittävistä signaaleista vaimenee jo niin suuri osa, että puhutaan signaalin rajoittamisesta eli limitoinnista.

*Reagointiaika* viittaa kompressorin nopeuteen reagoida kynnyksen ylittävään signaaliin ja kuinka nopeasti vaimennus tapahtuu, kun kynnyksen on ylitetty. *Vapautusaika* puolestaan tarkoittaa sitä aikaa, joka kompressorilta menee kynnyksen alittaneen signaalin vaimentamisen lopettamiseen.

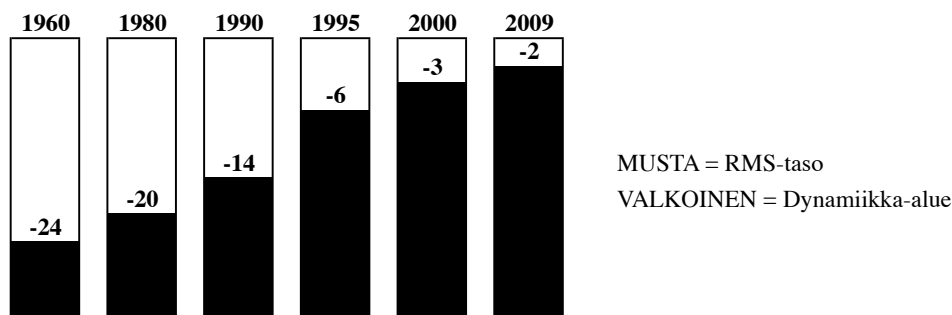
## **2.1 Äänenvoimakkuuden havaitseminen ja dynamiikka-alueen määrittely**

Varhaiset psykoakustiikan tutkimukset osoittavat äänenvoimakkuuden havaitsemisen olevan riippuvainen ärsykkeen taajuudesta, äänenvoimakkuustasosta sekä kestosta (Fletcher & Munson, 1933; Seashore, 1967). Fletcherin ja Munsonin kehittämien vakioäänenvoimakkuuskäyrien mukaan tarkimmillaan korvan erottelukyky on taajuuksien 1kHz - 4kHz välillä. Kokeissa on havaittu korvan äänenvoimakkuuden erottelukyvyn olevan n. 1dB:n luokkaa siniäänille (Seashore, 1967; Moore, 2004; Buus et al., 1997) ja erottelukyvyn tarkkuuden riippuvan äänenvoimakkuustasoista: hiljaisemmilla äänillä erottelukyky on heikompi suhteessa voimakkaisiin ääniin (Haack, 1975). Täytyy muistaa, että tulokset on saatu laboratorio-olosuhteissa ja yksinkertaisilla ääniärsykkeillä, kuten siniaalloilla tai suodatetulla kohinalla, jotka eroavat suuresti oikean maailman ärsykkeistä, kuten esimerkiksi musiikista.

Saadut tulokset osoittavat korvan taajuusvasteen epälinearisuuden, joka käytännössä tarkoittaa matalien ja erittäin korkeiden taajuuksien vaativan enemmän energiaa eli suurempia äänenvoimakkuustasoja, jotta ne koettaisiin yhtä voimakkaina ja niiden välillä huomattaisiin enemmän voimakkuusvaihtelua kuin keskitaajuuksien kohdalla. Äänenvoimakkuustason voidaan katsoa olevan yhteydessä äänimateriaalin objektiivisemmin mitattavaan keskimääräiseen äänenpainetasoon eli RMS-tasoon (Howard & Angus, 2007). Mitä korkeampi RMS-taso, sitä voimakkaampana havaittu äänimateriaali koetaan (Moore et al., 2003).

Selkeästi havaittavana kaupallisen musiikin trendinä voidaan pitää RMS-tasojen nousua. Analogisten tallennusformaattien eli pääsääntöisesti vinyylilevyjen aikaan 1960-80 -luvulla nousu oli vain noin 4 - 6dB:n luokkaa. Siirryttäessä digitaaliseen CD-formaattiin 80-luvun alkupuolella nousua tapahtui seuraavassa parissa vuosikymmenessä 20dB:n verran (Jones,

2005; Katz, 2007; Vickers, 2010). Samalla, kun levyjen keskimääräinen äänenvoimakkuustaso nousi, pieneni vastaavasti levyjen dynamiikka-alue (kuva 1).



KUVA 1. Dynamiikka-alueen pientyminen suhteessa keskimääräiseen äänenvoimakkuustasoon (Katz, 2007).

Dynamiikka-alue määritellään äänimateriaalin RMS-tason ja huippuarvon erotuksena. Saatu erotus voidaan myös ilmaista desibeleissä niin sanotun crest-arvon avulla (engl. crest factor) (Katz, 2007). Katzin mukaan populaarimusiikissa crest-arvo vaihtelee yleisesti välillä 6 - 15dB, mikä vastaa Edisonin tallennuslierion dynamiikka-alueita (Vickers, 2010). Joissakin tanssimusiikintyyeissä (esim. hip-hop ja dance) crest-arvo voi olla kutistettu jopa 1dB:in. Musiikissa dynamiikka-alueen kaventaminen ja RMS-tason nostaminen tapahtuu kompressoimalla, jolloin käytännössä voimistetaan hiljaisia kohtia ja hillitään voimakkaita kohtia.

## 2.2 Perusteluja dynamiikka-alueen pienentämiselle

Musiikin kompressoinnin perustelut voidaan jakaa kolmeen ryhmään: käytännön sanelemat, teknologian mahdollistamat taiteelliset, ja kaupalliset perustelut. Käytännön perustelut liittyvät musiikin tallentamiseen, tallennus- sekä toistomedian käyttöön. Teknologis-taiteelliset perustelut menevät osittain päällekkäin käytännön sanelemien ohjenuorien kanssa ja liittyvät musiikkiteknologisiin innovaatioihin sekä studiotyöskentelyn käytäntöihin. Kolmannen ryhmän edustamat, kaupalliset perustelut, linkittyvät nekin edellä mainittujen perustelujen kanssa, mutta ovat osittain nousemassa myös muita perusteluja merkittävämmiksi.

### 2.2.1 Musiikin tallentaminen

Alun perin kompressointi ja dynamiikka-alueen rajoittaminen kehitettiin 1920- ja 1930-lukujen aikana suojelemaan varhaisen radiotekniikan AM-lähettimeä. Lähetettävän signaalin

rajoittamisesta sopimaan lähetysmedian dynamiikka-alueeseen tuli käytäntö, joka myös periytyi nykypäivän lähetysmedioille. Lähetysmediapuolelta äänimateriaalin dynamiikan hallinta siirtyi myöhemmin musiikin tallentamis- ja tuotantopuolelle.

Ennen radiolähetystekniikan ja elektroniikan kehitystä äänen prosessoinnin suhteen kompressointi oli mekaanista ja aivan äänitetyn musiikin ensimetreillä myös pakon sanelemaa. Täydellisen dynamiikan tallentamisen jarruna toimi tallennusmedioiden rajoittunut dynamiikka- ja taajuusalue. Esimerkiksi LP-levyn urille, varhaisemmista tallentamismuodoista puhumattakaan, ei voi edes yrittää kaivertaa suurempaa dynamiikkaa kuin sen fyysiset urat antavat myöden: jos uralle kaiverrettavassa materiaalissa on liian suuria dynamiikan vaihteluita, kaiverrusneula hyppää yksinkertaisesti pois urasta ja kaivertaminen epäonnistuu. Materiaalin kompressointi on ollut välttämättömyys, jotta tallenteen tekeminen on ollut mahdollista. Tätä taustaa vasten arvioituna ihmisten mielissä jo varhaisista Edisonin vaha- ja tinalieriö-tallennekokeiluista 1800-luvun lopusta lähtien ollut odotus äänitetyn musiikin absoluuttisesta kuultavan maailman representaatiosta tuntuu mielettömältä (Milner, 2009). Tallenteen odotusarvo tarkkana kopiona äänellisestä maailmasta on sinänsä ymmärrettävä, mutta käytännössä tämän utopian toteuttaminen äänenlaadullisin kriteerein arvioituna oli mahdollista vasta 1980-luvun puolivälin tienoilla ja varsinaisen ääniteteknologisen läpimurron tapahduttua 1990-luvun puolella.

Jos Edisonin analogis-akustiselle vahaliieriölle tai sitä seuranneille lakatuille gramofonilevyille olisi yritetty tallentaa eepinen konsertto nuppineulojen pudottelulle ja lentokoneen moottorille, joilla voidaan yksinkertaistaen kuvata ihmisen kuuloherkkyyden ja –kynnyksen rajoja, niin lopputulos lienee selvä. Digitaalisen ääniteteknologian ja CD-levyn tullessa kaupallisille markkinoille vuonna 1982 äänitteellä oli tekniset edellytykset kopioida ja kuvata elävää musiikkiesitystä. CD:n toistama dynamiikka-alue (n. 90dB) sekä taajuusalue (0Hz - 20kHz) ovat jo niin lähellä kuulohavaintojärjestelmämme ääriarvoja, että äänitteellä voidaan teoriassa tuottaa hyvin realistisen kuuloinen äänimaisema. Tallennustekniikan kehitys tarkoitti äänenlaadun huikeaa parantumista ja yhdessä uuden median kätevän koon ja kestävyuden huomioon ottaen nostivat CD:n musiikin kuuntelijoiden ja kuluttajien suosioon (Pohlmann, 2001.)

### **2.2.2 Studioteknologian kehitys**

Studioteknologinen kehitys linkittyy tallennusteknologisen kehityksen kanssa luontevasti yhteen. Tallennusmedian asettamat rajoitukset ovat olleet ajamassa äänimateriaalin dynamiikan hallintaan käytettävien instrumenttien kehitystä parhaan mahdollisen lopputuloksen saavuttamiseksi. Teknologian kehittyessä ja siirryttäessä moniraitatallentamiseen 1950-luvun taitteessa kompressoreita ryhdyttiin käyttämään aktiivisesti myös äänitys- ja miksauspuolella. Kompressorit olivat ensimmäisiä äänen prosessointivälineitä joita ryhdyttiin säännöllisesti käyttämään äänitysstudioissa (Kehew & Ryan, 2008). Dynamiikan hallintaa voidaan pitää myös tärkeänä musiikin popularisointiin liittyvänä kontribuutiona (Seashore, 1967). Musiikkipsykologi Carl Seashore nostaa esimerkiksi parantamista kaipaavan lauluäänen, joka kompressoimalla saadaan soimaan tasapainoisemmin. Kompressointia voidaan käyttää myös tavoiteltaessa uusia musiikillisiä ilmaisun keinoja (Kehew & Ryan, 2008; Zak, 2001).

Tarkemmin Seashoren esimerkkiä tarkastellessa huomataan pieni teknologisen kehityksen muodostama syy-seuraus-suhde, joka alkoi moniraitatallentamisen mahdollistaman lähimikrofoniteknikan käytön yhteydessä: lähimikrofonin käyttö (esimerkiksi laulajaa äänitettäessä) korostaa luonnollisia dynamiikanvaihteluita, joiden hallintaan tarvitaan kompressointia (Katz, 2007). Sen käytön yleistymisen myötä kompressiosta tuli tärkeä osa studiotekniikkaa ja sitä kautta myös osa jokapäiväistä musiikkiamme, kun aiemmin dynamiikan hallintaa oli käytetty ainoastaan musiikkituotannon viimeisessä luovassa tuotantovaiheessa eli masteroinnissa. Kompressorin on ottanut paikkansa yhtenä tärkeimmistä ja olennaisimmista signaalinkäsittelytyökaluista, kun päätetään miltä valmis tuote tulee kuulostamaan (Katz, 2007; Owsinski, 2007). Albin Zakin (2001) mukaan kompressointi kuuluu oleellisena osana populaarimusiikin konventioihin.

### **2.2.3 Musiikin kuunteluympäristön vaikutus**

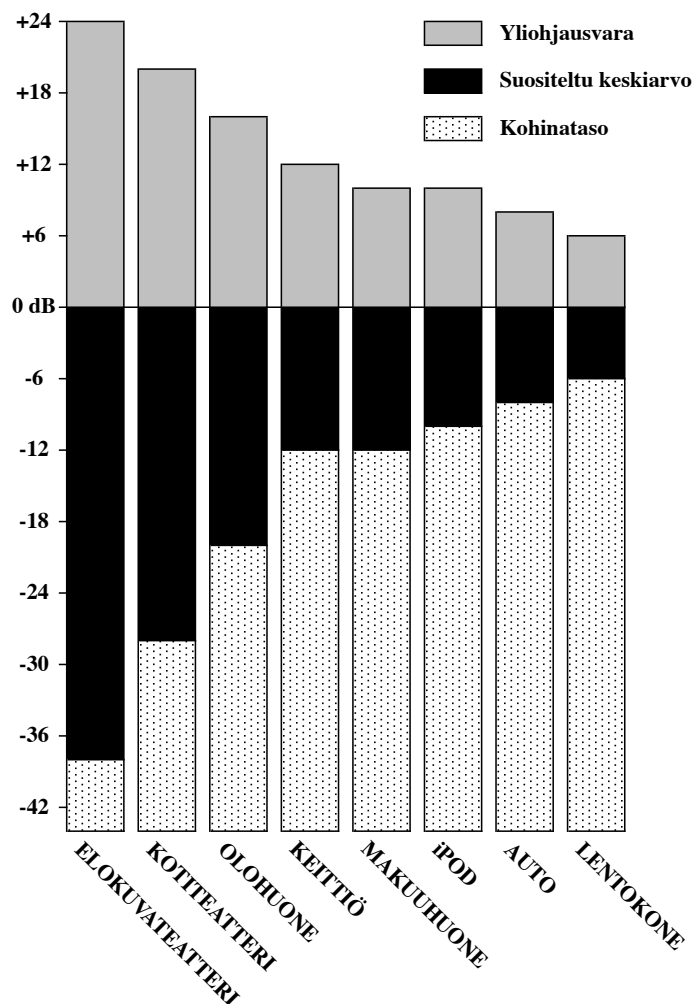
CD:n teoreettinen dynamiikka-alue on 96dB, mutta se kuinka paljon dynamiikka-alueesta on käytännössä käytössä vaihtelee paljon erilaisten musiikkityylien välillä, kuten edellä esitettiin. Tallennettu klassinen musiikki, johtuen akustisesta luonteestaan ja kuuntelijan erilaisista lähtökohdista, on tämän suhteen paremmassa asemassa kuin populaarimusiikki. Klassinen musiikki omaa laajemman dynamiikan vaihtelevuuden, joka pääsee ottamaan kaiken hyödyn irti kehittyneestä digitaalisesta tallenneteknologiasta. Seashore (1967) arvioi klassisen

musiikin orkesterin saavuttamaksi dynamiikka-alueeksi noin 73dB, hiljaisimman piano pianissimon ollessa noin 20dB ja koko orkesterin forte fortissimon pauhuvan 95dB:n keskimääräisissä lukemissa. On kuitenkin hyvä huomata, että konserttitilanteessa klassisen musiikin kuuntelutavaksi on muodostunut hiljainen, paikallaan kuunteleminen, joka myös usein siirtyy kotiinkin tallenteiden kuunteluun. Kuuntelijan musiikinkuunteluun keskittyminen mahdollistaa myös suuremman dynamiikan käytön. Populaarimusiikin kuunteluympäristö ja -tottumukset voivat olla hyvin erilaiset. Esimerkiksi meluisassa yökerhossa tai arkisten askareiden taustalla kuunneltava musiikki eivät voi pitää sisällään mahdollottoman suuria dynamiikan vaihteluita ja hiljaisempia osioita, jotka voisivat peittyä taustamelun alle.

Musiikki on tarkoitettu kuunneltavaksi ja kuultavaksi. Ihmiset haluavat ottaa sen mukaansa kaupungille tai lenkille. Tämän todisti aukottomasti Sonyn vuonna 1979 julkaiseman kannettavan Walkman -kasettisoittimen suosio. Musiikin digitalisoitumisen myötä Walkmanin paikan ottivat mp3-soittimet. Tämä musiikin käyttöpaikkojen muutos on vaikuttanut myös dynamiikka-alueen hallitsemiseen. Toimittaja Sarah Jones (2005) siteeraa tunnettua masterointi-insinööriä Doug Saxia Mix-lehden artikkelissa: ”(analogisen) LP-levyn suurin hyve oli siinä – ja miksi levyjen dynamiikka on kadonnut – ettei sitä voinut kuunnella autossa”. Saxin lausahduksessa kiteytyy olennaisin: (digitaalista)musiikkia kuunnellaan nykyisin luultavasti enemmän kuin koskaan, mutta harvemmin kuitenkaan kotona rauhallisessa ja ennen kaikkea taustameluttomassa ympäristössä. Muun muassa masterointiin ja äänekkyyteen erikoistunut audioalan asiantuntijan Thomas Lundin (2006a) tutkimus osoittaa kuluttajilla olevan erilaisia vaatimuksia musiikin dynamiikka-alueen suhteen, jotka vaihtelevat erilaisten käyttöympäristöjen ja siihen liittyvän taustamelun mukaan (kuva 2). Lund on kehittänyt termin *dynamiikka-alueen toleranssi*, DRT (engl. dynamic range tolerance) määrittelemään suositellun dynamiikka-alueen keskiarvon tietyllä huippuarvon yliohjausvaralla.

Jonesin artikkelissa on myös haastateltu pitkän linjan masterointi-insinööri Bob Katzia, joka yhtyy Saxin mielipiteeseen kuunteluympäristön vaikutuksista, mutta huomauttaa kompressoinnin kuitenkin edenneen tarpeettomiin mittasuhteisiin jossa yleensä dynamiikan musertamisen perusteluna käytettyjen meluisien kuunteluolosuhteiden rajat ovat jo aikaa sitten ylittyneet. Katzin väitettä tukee toinen Lundin tutkimus vuodelta 2006, joka käsittelee populaarimusiikki CD-levyjen äänenlaadullisista ongelmia (Lund, 2006b). Tutkimuksessa

Lund arvioi, että kohtuuton kompressointi ei ole pelkästään audioalan ammattilaisten havaittavissa oleva ongelma vaan sellainen, joka yltävää myös niin kutsutun tavallisen kuluttajan arkeen.



KUVA 2. Dynamiikka-alueen toleransseja eri kuunteluympäristöissä (Lund, 2006a).

## 2.2.4 Kuunteluäänenvoimakkuuden kasvaminen

Musiikin käyttötapojen ja -paikkojen muutokset ovat myös asettaneet paineita suurempien kuunteluäänenvoimakkuuksien saavuttamiselle. Tutkimukset ovat osoittaneet, että äänenvoimakkuustasoltaan suurempi musiikki koetaan energisempänä ja vireystilaa kohottavana (Ilie & Thompson, 2006). Vireystilan nouseminen koetaan miellyttäväksi ja siten tavoiteltavaksi tunteeksi (Blessner & Salter, 2008). Äänenvoimakkuudeltaan suuren musiikin on havaittu myös hidastavan aikakäsitystämme ja saavan näin esimerkiksi tapahtumien keston tuntumaan todellista pidemmältä (Kellaris et al., 1996). Tutkittaessa musiikin fysiologista vaikutuksista on havaittu, että voimakkaasti tuotetut matalat taajuudet (noin 100 - 300Hz)



esimerkiksi rock-konserteissa tai diskoissa stimuloivat tasapainoelimistömme ja luovat samankaltaisen tunteen itsestään liikkumisesta kuin esimerkiksi keinuminen, joka koetaan miellyttäväksi (Todd, 2000).

### **2.3 Markkinavoimat ja loudness-sodan historia**

Neljäntenä syynä kompressointiin voidaan pitää markkinakoneiston taloudellista painostusta, jonka seurauksena äänenvoimakkuus on hiljalleen muuttunut kilpailuvaltiksi ja kompressointi sen armottomimmaksi lyömäaseeksi. Äänenvoimakkuus on asia, jolla pyritään erottumaan massasta ja saamaan kuuntelijoiden huomio. Äänenvoimakkuuden ollessa korkea kuluttaja ei kykene keskittymään mihinkään muuhun. Ensimmäiset viitteet tähän nähtiin lähetysmedioiden (esimerkiksi radio) siirtyessä voimakkaasti kompressoituihin lähetyksiin, joilla pyrittiin kiinnittämään kuuntelijoiden huomio kanavien välillä vaihdeltaessa.

Sama analogia oli seuraavaksi havaittavissa äänentallennuspuolella vinyylilevyjen toimiessa tallennusmedianana. Tällöin levyautomaatit eli jukeboxit toimivat esitysmedianana meluisissa kahviloissa ja koska äänenvoimakkuudeltaan lujempaa soiva levy oli etulyöntiasemassa verrattuna hiljempaa soivaan, levyjen äänenvoimakkuus maksimoitiin koska niistä pyrittiin levyistä tekemään mahdollisimman kilpailukykyisiä (Katz, 2007).

Ilmiö tunnetaan yleisesti nimellä *loudness sota* (tai äänekkyysskilpailu, engl. loudness war). Nimeä käytti ensimmäisen kerran lähetysmedia-alan pioneeri Robert Orban vuonna 1979. Phil Spectorin ”äänivalleineen” sekä Motown Records -levy-yhtiötä voidaan pitää ilmiön virallisina alkuun saattajina (Milner, 2009; Vickers, 2010). Kyseiset tahot pyrkivät erottumaan kilpailijoistaan luomalla iskeviä äänitteitä, jotka säilyttäisivät iskeytytensä myös radion kautta kuunneltuina.

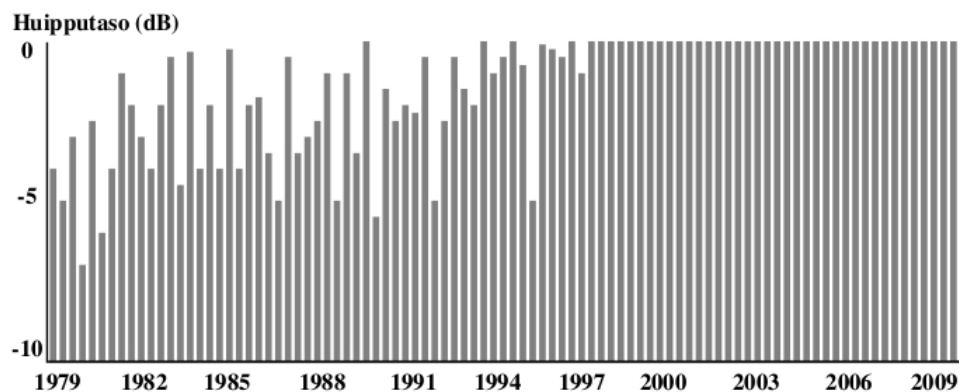
Earl Vickers (2010) kertoo, että motown -levyillä käytettiin useita keinoja äänenvoimakkuuden maksimoimiseksi ja äänen kirkkauden säilyttämiseksi. Kappaleet olivat lyhyitä, harvoin yli 3-minuuttisia, osaksi siksi, että kappale saisi mahdollisimman paljon lähetyssaikaa radiossa, mutta osaksi myös siksi, että pidemmät kappaleet vaativat matalampia äänitystasoa. Matalia taajuuksia leikattiin (< 70Hz), koska matalat taajuudet vaativat enemmän tilaa levyn kaiverrusvaiheessa. Fyysisesti matalat taajuudet korvattiin Spectorinkin käyttämällä tekniikalla, jossa luotiin kuuloharjoja, jotka tunnetaan psykoakustiikassa nimellä ”puuttuva perustaajuus” tai virtuaalinen sävelkorkeus” (Cook, 1999). Kappaleissa, joissa

kokonaisäänenvoimakkuus nousee kappaleen edetessä, hillittiin ajan funktiona voimakkaampia osuuksia tasaisemman kokonaisäänenvoimakkuuden saavuttamiseksi. Menettely mahdollisti tallenteen äänenvoimakkuustason nostamisen. Käytetyt makrodynamiikan muutokset ovat harvoin kuultavissa, koska ihmiset havaitsevat äänentason laskemisen pienempänä kuin vastaavasti sen nostamisen. Ilmiö selittyy kuulojärjestelmämme väsymisellä, jonka seurauksena se menettää erottelukykyään pidempikestoisessa kuuntelussa (Moore, 2004; Geringer, 1991, 1995).

### 2.3.1 Loudness-sodan kehitys

Tänä päivänä loudness sodan vaikutukset näkyvät ja kuuluvat jo selkeämmin myös tavallisen musiikinkuuntelijan kotistereissa. Analogiselle nauhalle masteroitaessa tuo raja ei ollut niin ehdoton: jos nauhalle yrittää tallentaa liian suurilla äänenvoimakkuustasoilla, niin ääni alkaa hiljalleen säröytymään ja korkeat taajuudet leikkautuvat pois, jonka moni kuulija kokee miellyttävänä. Ilmiötä kutsutaan nimellä nauhakompressio. Digitaalitekniikkaan siirtyminen asetti selkeän rajan sille, mitä audiosignaalit eivät voi ylittää. Tuota rajaa kutsutaan ns. digitaaliseksi nolla-rajaksi (merkitään 0 dBFS), jonka ylittyessä signaali alkaa digitaalisesti säröytymään, mikä ei ole miellyttävää kuultavaa.

Digitaaliset signaalinkäsittelytavat ja siirtyminen CD-formaattiin helpottivat rajan lähestymistä ja äänitteiden keskimääräisen äänenvoimakkuustason nostamista. CD-formaatissa audiosignaalien huippuarvot kyetään vaivatta asettamaan 0 dBFS:ään. 1990-luvun puolivälissä ilmestyivät ensimmäiset hyvin voimakkaasti kompressoitujen äänitteet, jotka sopivat hyvin muuttuneisiin musiikinkuuntelu ympäristöihin. Kuva 3 havainnollistaa ilmiön kehittymistä.



KUVA 3. Merkittävien populaarimusiikkiäänitteiden absoluuttisten huippuarvojen kehitys vuosina 1979-2009. Huomioituja genrejä ovat pop, rock, R&B, kantri, balladi ja hip-hop (Clark, 2009).

Rob Cavallo, yksi tämän päivän huipputuottajista, kertoi Robert Levinen haastattelussa Rolling Stone –lehdessä vuonna 2007, että ”ideana oli lyödä (äänenvoimakkuudella) jonkun naama seinään” (Levine, 2007). Voimakkaasti kompressoiduista eli niin kutsutusti ylikompressoiduista levyistä muodostui uusi alan standardi. Kasvaneiden RMS-tasojen hyötyjen katsottiin olevan suuremmat verrattuna äänenlaadun heikkenemisestä johtuviin haittoihin, joten käytäntö hyväksyttiin (Nielsen & Lund, 1999). Kehitys johti äänenvoimakkuuksiltaan yhä kasvaviin tallenteisiin, joissa kompressointi on viety äärimmilleen ja äänen laatu on selkeästi heikentynyt (Nielsen & Lund, 2000). Myöhemmät tutkimukset ovat osoittaneet, että huipputasojen asettaminen 0 dBFS:ään aiheuttaa lähes poikkeuksetta ylihajautumista kuluttajatason CD-soittimien DA-muuntimissa, mikä ilmenee materiaalin säröytymisenä (Nielsen & Lund, 2003; Lund, 2006b). Nielsenin ja Lundin mukaan kuluttajat eivät vielä 2000-luvun alussa kiinnittäneet äänenlaadun muutokseen huomiota.

Suuremman yleisön ja pressimedian (Michaels, 2008a; 2008b) huomio kiinnittyi loudness-sodan aiheuttamiin äänenlaadullisiin ongelmiin oikeastaan vasta vuonna 2008 Metallica *Death Magnetic* –levyn myötä. Tuolloin tavallisillekin musiikinkuuntelijoille avautui harvinainen mahdollisuus päästä vertailemaan kahta viimeisteltyä versiota kaupallisesta levystä, koska levystä julkaistiin myös Guitar Hero -videopeliä varten masterointivaiheessa kevyemmin kompressoitu versio. Kuuntelijat havaitsivat versioiden välillä selkeitä äänenlaadullisia eroja ja asettivat kevyemmin kompressoidun (ja vähemmän säröisen) version virallisen version edelle. Tutkimuksia kompressoinnin ja kuuntelijoiden mielipiteiden yhteyksistä ei ole tehty, lukuun ottamatta Campbellin tutkimusryhmän (2010) suorittamaa alustavaa tutkimusta, jonka jatkosta ei ole vielä tämän kirjoituksen aikana tietoa.

### **2.3.2 Loudness-sodan mahdolliset sivuvaikutukset**

Loudness-sotaan liitettävät mahdolliset sivuvaikutukset liittyvät mm. kuunteluväsymyksen lisääntymiseen, mahdollisen kuulovaurioriskin kasvamiseen ja musiikin esteettisiin arvoihin (Vickers, 2011). Vaikka monet kokeneet audioalan ammattilaiset ja kirjoittajat (mm. Katz, 2007; Levine, 2007; Speer, 2001; Milner, 2009) ovat ilmaisseet kantansa näiden mahdollisten sivuvaikutusten paikkansa pitävyydestä vakuuttavinkin esimerkein, niin varsinaisia virallisia tutkimustuloksia väitteitä tukemaan ei kuitenkaan ole kuin muutama.

Søren Nielsen ja Thomas Lund ovat tutkimuksissaan (Nielsen & Lund, 2003; Lund, 2006b) havainneet, että monet tänä päivänä tuotetut äänitteet sisältävät ylikompressoinnin seurauksena huomattavia määriä säröä. Varhaisempi tutkimus (mm. Moore, 2004) on osoittanut, että kuulojärjestelmämme pyrkii sulkemaan pois ei-toivotut äänet ja keskittymään pelkästään informatiivisilta arvoiltaan tärkeisiin ääniin. Heikkolaatuinen äänimateriaali yhdistettynä korkeisiin RMS-tasoihin voivat yhdessä merkittävästi rasittaa kuulojärjestelmää ja aiheuttaa näin kuunteluväsymystä. Pitkäkestoinen ja yhtäjaksoinen altistuminen tällaiselle materiaalille yhdistettynä suurin äänen voimakkuustottumuksiin musiikkia kuunneltaessa voivat myös olla kasvattamassa kuulovaurioriskiä (Ilie & Thompson, 2006; Camarero & Moledero, 2007).

Aiemmin mainitusta musiikinkuuntelutottumuksien muutoksesta johtuen suurin osa musiikista kulkee mukana musiikkisoittimessa jollakin tavalla pakatussa muodossa (esim. mp3). Lund (2006b) mainitsee tutkimuksessaan myös ylikompressoinnin mahdolliset haittavaikutukset erilaisten pakkausalgoritmien käsitellessä ylioheutta varaltaan olematonta materiaalia. Vaikeammin tutkimuksella todistettavia ylikompressoinnin vaikutuksia ovat musiikin estetiikkaan liittyvät väitteet, jotka liittyvät musiikin yllätyksettömyyteen ja ilmaisukyvyttömyyteen dynaamisen variaation puuttuessa sekä äänellisesti epäkoheisiin lopputulokseen johtuen kompressoinnista aiheutuviin spektrillisiin muutoksiin (Vickers, 2010; Katz, 2007).

Earl Vickers korostaa audioalantoimijoiden roolia, koska he voivat omalla panoksellaan olla vaikuttamassa äänestyyskilpailun lopettamisessa ja äänenlaadun palauttamisessa sen ansaitsemalle paikalle ääniteteollisuudessa. Thomas Lundin maalailuissa tulevaisuuden visioissa musiikin kuluttajalle ja käyttäjälle annetaan mahdollisuus valita mieleisensä ja käyttötarkoituksen mukainen äänitteen dynamiikka-alue, joka tekee tyhjäksi ylikompressoinnilla saavutetun äänen voimakkuusedun. Tästä esimerkkinä toimii jo nyt iTunes-ohjelman äänen voimakkuuden tasaus-toiminto, joka asettaa automaattisesti kappaleiden äänen voimakkuuden samalle tasolle kappaleen äänen voimakkuudesta riippumatta.

### **3 MENETELMÄT**

Tutkimuksen aineistonkeruu tapahtui syksyllä 2011 järjestämällä kahdesta osiosta koostuva kuuntelukoe, jolla selvitettiin osallistujien dynamiikan havaitsemiskykyä sekä dynamiikan rajaamisen vaikutusta äänenväriä sekä –laatua arvioitaessa. Kuuntelukoe mahdollisti muuttujiltaan rajatun, puolueettoman tiedonkeruun kompressoinnin havaitsemisesta sekä vaikutuksesta kuuntelijan kuuntelukokemukseen. Kokeen ensimmäisen, määrällisemmän osion tarkoituksena oli selvittää kompressoinnin havaitsemista ja toisella, laadullisemmalla osiolla pyrittiin selventämään ensimmäisen osion tuloksien tulkintaa. Kokeen toimivuus ja kesto tarkistettiin muutamalla pilotilla ennen varsinaisten kokeiden järjestämistä. Kokeessa käytettiin kokeenjärjestäjän itse nauhoittamia ja ohjelmoimia, kolmea eri musiikkityyliä edustavaa näytettä, joista kustakin muodostettiin dynamiikkaprosessoinnin avulla viisi erilaista käsittelytasoa.

#### **3.1 Kokeen suunnittelu ja näytteiden tekeminen**

Täysin vastaavanlaista koetta ei ollut aiemmin järjestetty, joten suuntaa kuuntelukokeen toteutukseen haettiin yhdistämällä elementtejä aiemmissa tutkimuksissa käytetyistä menetelmistä (Wagenaars et al 1986, Campbell et al. 2010). Kokeessa pyrittiin Campbellin tapaan simuloimaan levyn viimeistely- eli masterointiprosessia. On huomattava, että nykyaikainen masterointiprosessi pitää sisällään useita vaiheita kuten dynamiikan ja äänenvärin prosessoinnin (Katz, 2007; Owsinski, 2009). Tässä kokeessa käytettiin muuttujien minimoimiseksi vain dynamiikan prosessointia äärimmilleen viedyn kompressoinnin (kompressointisuhde = 10:1 tai suurempi) eli limitoinnin muodossa.

Kuuntelukoe suunniteltiin ja ohjelmoitiin PsychoPy –ohjelmalla ja toteutettiin MacBook Pro –kannettavalla tietokoneella käyttäen laadukkaita studiokuulokkeita (Sennheiser HD 25-1 II). Tehokkaasti taustamelua vaimentavien kuulokkeiden ansiosta mahdolliset ympäristöstä johtuvat häiriötekijät, kuten esimerkiksi erilaiset akustiset olosuhteet tai taustahäly saatiin minimoiduiksi, joten kokeenjärjestäminen mahdollistui useammassa paikoissa. Kuulokkeet kytkettiin suoraan tietokoneen kuulokelähtöön ilman erillistä kuulokevahvistinta, koska tavoitteena oli mallintaa mahdollisimman normaalia vastaava musiikinkuuntelutilanne, jossa musiikin kuuntelijalla ei välttämättä ole mahdollisuutta kaikkein korkeimpaan äänenlaatuun.

Alkuperäiset ja käsittelemättömät kokeessa käytetyt kolme erityylistä, lyhyttä (noin 10s) ja keskitempoista (bpm = 105 – 120) instrumentaali-musiikkinäytettä olivat kokeenjärjestäjän tekemiä. Näytteet edustivat pop, funk sekä latinalais-amerikkalaista musiikkityyliä, jotta ne erottuisivat selkeästi toisistaan äänenväriellisten ominaisuuksien puolesta. Näytteiden soitinkokoonpanot muodostettiin edustamaan normaalia bändikokoonpanoa: rummut, basso, kitara ja kosketinsoitin. Näytteissä käytetyt soitinkokoonpanot pidettiin samanlaisina lukuun ottamatta rumpusetin korvaamista erilaisilla lyömäsoitimilla latinalais-amerikkalaisessa näytteessä.

Näytteiden pituus rajautui kokeen keston mukaan, joka haluttiin pitää siedettävänä ja ennen kaikkea osallistujien keskittymiskyvyn rajoissa, jolla haluttiin varmistaa saatavien tuloksien parempi luotettavuus. Näytteet olivat pelkästään instrumentaalimusiikkia, koska kokeesta haluttiin rajata pois sanojen ja tekstin mahdollinen vaikutus kuunteliin. Lisäksi laulu on dynamiikkarikkaana instrumenttina myös herkempi kompressointikäsittelylle, jolloin näytteiden käsittelyistä olisi saattanut tulla liian helposti toisistaan erottuvia. Kokeessa ei käytetty katkelmia jo valmiina olevaa musiikkia (esimerkiksi musiikkikirjastoista tai julkaistuilta levyiltä), koska haluttiin tietää tarkasti minkälaista dynamiikkaprosessointia näytteissä oli käytetty. Lisäksi haluttiin käyttää mahdollisimman yhtenäisiä näytteitä, joilla on alku ja loppu, mikä ei olisi mahdollista, jos olisi käytetty katkelmia pidemmistä kokonaisuuksista.

Näytteet ja niiden prosessointi tehtiin Pro Tools –sekvensseriohjelmalla käyttämällä MIDI:llä ohjattujen instrumenttien lisäksi myös oikeita instrumentteja, jotta näytteet olisivat mahdollisimman realistisen kuuloisia. Instrumenteissa ei käytetty äänitysvaiheessa prosessointia, jotta saatiin minimoiduiksi mahdolliset ylimääräiset, prosessoinnin seurauksena syntyvät artefaktit. Näytteenottotaajuutena ja -tarkkuutena käytettiin CD-standardia 44100Hz/16bit. Näytteiden kompressoinnissa käytettiin ohjelmistoliitännäistä (engl. software plugin) nimeltään W1 Limiter, joka on tarkka kopio ammattilaisten suosimasta, laadukkaista ohjelmistoliitännäisistä tunnetun Wavesin valmistamasta, standardiksi muodostuneesta L1 Ultramaximizer -ohjelmistolimiteristä. Kyseinen kompressointiliitännäinen valittiin sen laadukkuuden, helppokäyttöisyyden (muuttuvia parametreja vain kaksi: kompressointikyynnys ja palautusaika) sekä ilmaisen saatavuuden perusteella. Liitännäinen on ladattavissa osoitteesta: <http://www.yohng.com/software/w1limit.html>.

## 3.2 Näytteiden prosessointi

Näytteitä käsiteltiin eriasteisilla kompressoinneilla, jolloin jokaisesta näytteestä saatiin aikaan viisi käsittelytasoa. Muuttuvina parametreina käytettiin kompressointitason kynnystä sekä palautusaikaa. Näytettä prosessoitaessa kynnys asetettiin rajoittamaan halutun dynamiikka-alueen mukaan ja palautusaika säädettiin mahdollisimman nopeaksi ilman, että huomattavia särökomponentteja ilmaantui kuulokuvaan. Näytteiden dynamiikka-alueet mitattiin Tischmeyer Technologyn suunnittelemana TT Dynamic Range –mittarilla, joka mittasi näytteiden crest-tekijät. 20dB:n crest-tekijää pidetään populaarimusiikissa eräänlaisena maksimi-arvona, jonka yli harvoin mennään (Katz, 2007). Katzin mukaan crest-tekijät vaihtelevat yleisesti levyillä välillä 6-15dB. Tämän suuntaviivan mukaisesti prosessointikäsittelyiden jälkeen näytteiden dynamiikka-alueet jakautuivat kompressoimattomasta erittäin vahvasti kompressoituun materiaaliin: 17dB (ei kompressointia), 14dB, 11dB, 8dB ja 6dB. Näin tehdyillä prosessoinneilla ääripään näytteiden välille saatiin muodostetuksi 11dB:n erotuksen, joka vastaa myös äänilevyteollisuudessa parinkymmenen vuoden sisällä tapahtunutta muutosta musiikin kompressoinnissa (Katz, 2007).

Kokeen tarkoituksena oli kartoittaa mahdollisten kompressointierojen havaitsemista, joten kokeessa käytettiin tasaisia, 3dB:n intervallein olevia näytteitä. Poikkeuksena rajuimmin (8dB ja 6dB) kompressoitujen näytteiden 2dB:n erotus. Särökomponenttien määrä oli liian häiritsevä, että viimeisen näytteen crest-tekijän olisi saanut puristetuksi 5dB:in. Käsittelyjen intervalliksi valittu 3dB:ä muodostuivat aiempien tutkimustuloksien sekä kokeenjärjestäjän kokemuksen perusteella. Kuulojärjestelmän tarkkuudesta tulokset (mm. Seashore, 1967; Yost, 1985) kertovat 1dB:n muutoksien äänimateriaalissa olevan havaittavissa ja kokenut masterointi-insinööri Katz pitää mahdollisena huomaamattomasti kompressoida prosessoimatonta, digitaalista materiaalia 2dB:n verran, tai joskus harvinaisissa tapauksissa jopa 6dB:iä (Katz, 2007). Näytteiden RMS-tasot säädettiin samanlaisiksi, joten äänenvoimakkuuden perusteella erottelua ei voinut vertailuissa suorittaa.

Saaduista näytteistä muodostettiin vertailupareja kokeen ensimmäistä osiota varten taulukon 1 mukaisesti. Kahdesta näytekappaleesta vertailtavia pareja syntyi 30kpl.

TAULUKKO 1. Samanlaisuus-vertailuparien muodostamismatriisi ja näyteparin numero.

	17dB	14dB	11dB	8dB	6dB
17dB	1	2	3	4	5
14dB		6	7	8	9
11dB			10	11	12
8dB				13	14
6dB					15

Kolmannesta, latinalais-amerikkalaista tyyliä edustaneesta näytekappaleesta tehtiin osallistujien keskittymiskyvyn tarkentajaksi suunnattu harhautusnäyte. Kolmannesta näytekappaleesta ei tehty toisistaan eroavia näytepareja, kuten kahdesta muusta näytteestä, vaan kolmannen kohdalla kaikki parit olivat samanlaisia. Tällä tavoin pyrittiin varmistamaan osallistujien keskittymisen äärimmilleen tarkentuminen muiden vertailuparien välillä löytyviin eroihin. Harhauttamalla pyrittiin vahvistamaan osallistujien luottamusta omiin havaintoihinsa ja parantaen näin tulosten luotettavuutta. Latinalais-amerikkalainen näyte toimi tähän tarkoitukseen erinomaisesti myös sen kahdesta muusta näytteestä poikkeavan soitinkokoonpanonsa puolesta. Harhautusnäyte toimi tuloksia tarkastellessa varmentajana sekä indikaattorina, että osallistujat ovat todella kuulleet perusteltuja eroa näytteissä, joissa niitä oli ollutkin.

### 3.3 Koeosioiden kuvaus

Järjestetty kuuntelukoe sisälsi kaksi erillistä, peräkkäin suoritettavaa osiota, joiden välissä oli mahdollisuus pitää lyhyt tauko korvien lepuuttamiseksi. Osallistujat ohjeistettiin molempien osioiden alussa sekä kirjallisesti että suullisesti ennen harjoitusosioiden alkua. Harjoitusosion jälkeen osallistujilla oli vielä mahdollisuus kysyä epäselväksi jääneet asiat ennen varsinaisen osion suorittamista. Osallistujat ohjeistettiin keskittymään vain juuri kuulemansa näytteen eroavaisuuksiin dynamiikan sekä äänen värin suhteen ja pyrkimään välttämään vertailua jo aiemmin kuulemiensa näytteiden suhteen.

#### 3.3.1 Näytteiden samanlaisuuden arviointi

Kokeen ensimmäisessä osiossa kuuntelijat arvioivat satunnaisessa järjestyksessä esitettyjä musiikkinäytteitä samanlaisuus-periaatteen mukaisesti siten, että koehenkilö kuuli yhden kerran kaksi musiikkinäytettä peräkkäin, jonka jälkeen hän teki samanlaisuusarvioinnin 9-portaisella asteikolla (1 = täysin erilainen, 9 = hyvin samanlainen) ennen kuin hän pääsi siirtymään eteenpäin seuraavaan näytteeseen. Koska uudelleenkuuntelumahdollisuutta ei



ollut, koehenkilö joutui turvautumaan samaansa ensituntumaan näytteistä, jolla pyrittiin simuloimaan niin sanottua oikean maailman tilannetta, jossa vaihdetaan nopeasti esimerkiksi radiokanavalta toiselle. Lisäksi kokeen kesto olisi venynyt turhan paljon, jos näytteitä olisi voinut kuunnella useamman kerran ja osallistujat olisivat voineet turtua näytteiden kuuntelemiseen nopeammin. Ensimmäisen osion kestoksi saatiin tällä järjestelyllä n. 30min, jonka arvioitiin pilottikokeista saadun palautteen perusteella sopivaksi ja osallistujien keskittymiskyvyn rajoissa suoritettavaksi.

Samanlaisuus-vertailujen arvioitiin olevan osallistujille suurempaa keskittymistä vaativaa niin kestopa kuin haasteellisuutensa puolesta, joten se suoritettiin osioista ensimmäisenä. Lisäksi samanlaisuus-vertailussa haluttiin säilyttää ensi kuulemalta näytteistä muodostettu arviointi. Toista osiota tehdessä näytteet olisivat jo tuttuja ja niistä muodostettu käsitys olisi muodostettu osaksi jo ensimmäisen osion aikana.

### **3.3.2 Näytteiden äänenlaadullinen arviointi**

Kokeen toinen osio, jonka tarkoituksena oli selventää ensimmäisessä osiossa kerättyjen samanlaisuus-arvioiden tuloksia antamalla mahdollisia viitteitä miten näytteitä olisi sanallisesti arvioitu. Toinen osio oli ensimmäiseen osioon verrattuna selvästi lyhempi ja kevyempi, mutta hyvin tärkeä kerättäessä selventävää tietoa osallistujien havainnoista näytteissä. Toisen osion kesto oli n. 20min. Kokeen toisessa osiossa näytteet (15kpl) arvioitiin yksitellen kuuden bipolaarisen adjektiiviparin avulla. Parit valittiin ja muodostettiin yhdistelemällä aiemmassa tutkimuksessa (Alluri & Toiviainen, 2010, Tannaka & Koshikawa, 1989) käytettyjä äänen laatuun ja -äänenväriin yhdistettäviä sanoja sekä Torben Pedersenin (2008) kokoamaa ääntä kuvailevien sanojen sanakirjaa. Lisäksi valintojen tukena käytettiin vielä korkean äänen laadun puolestapuhujan Justin Gordon Holtin (1993) tekemää audiosanakirjaa. Valittujen parien tarkoituksena oli edustaa audioalalla yleisessä käytössä olevia adjektiiveja arvioitaessa äänen laatua sekä äänenväriä. Parit valikoitiin materiaalista löytyvien kuvauksien perusteella vastaamaan dynamiikan, äänenvärin sekä äänenlaadun vertailua. Kokeeseen valitut parit olivat:

*Iskevä – Ei iskevä:* Iskevyys on termi, johon usein viitataan kompressoinnin yhteydessä ja jolla tarkoitetaan voimakasta ja energistä vaikutelmaa. Äänessä on kaikki lyhyet äänekset mukana.

*Luonnollinen – epäluonnollinen:* Luonnolliseksi kuvataan todellisuutta vastaavaa, jonka vastakohtana toimii käsitelty ja keinotekoinen äänimaisema.

*Selkeä – sotkuinen:* Selkeällä tarkoitetaan äänenväriiltään yksityiskohtaista ja tarkkaa, jolla voidaan myös kuvata äänenlaatua. Sotkuinen toimii sopivan kuvaavana vastaparina.

*Täyteläinen – ohut:* Täyteläisyys on äänenväriin liitettävä ominaisuus, jolla tarkoitetaan rikasta ja miellyttävää, joka liittyy myös kompressoitukäsittelyn seurauksena lisääntyviin komponentteihin. Ohuella voidaan tarkoittaa myös yksipuolista äänenväriä.

*Elävä – eloton:* Elävyys on dynamiikkaan selkeästi liitettävä kuvailu, jolla tarkoitetaan dynamiikaltaan runsasta ja innostavaa. Eloton puolestaan kuvaa tylsää, painopisteetöntä ja epävakaata dynaamista kokonaisuutta.

*Miellyttävä – epämiellyttävä:* Viimeinen pari, jolla haetaan mielipidettä saatusta yleisvaikutelmasta kuullusta äänimateriaalista.

### **3.3.3 Osallistujat**

Kokeeseen osallistui yhdeksäntoista (N = 19) vapaaehtoista, joiden keski-ikä oli 26,3 vuotta. Osallistujat olivat musiikkia aktiivisesti harrastavia henkilöitä Jyväskylän yliopistosta, Tampereen ammattikorkeakoulusta, Porin Palmgren konservatoriosta sekä Sibelius Akatemiasta.

## **3.4 Käytetyt aineiston analysointimenetelmät**

Kokeesta saatu aineisto analysoitiin moniulotteisen skaalauksen avulla, jolla selvitettiin mahdollisia yhteneväisyyksiä käytettyjen ääninäytteiden sekä vastaajien välillä. Tekniikkaa on käytetty ja kehitetty mm. äänen sointiväriin määrällisen tutkimuksen yhteydessä (Grey, 1976; McAdams & Cunibide, 1992; Susini et al. 1999; Bonebright et al. 2005). Moniulotteisen skaalaus pyrkii löytämään järjestyneen rakenteen vastaajien havainnoista ja muodostaa niistä visuaalisen representaation, jonka perusteella voidaan tehdä johtopäätöksiä saaduista tuloksista (Jaworska & Chupetlovska-Anastasova, 2009).

Moniulotteisen skaalauksen lisäksi kerätty aineisto käsiteltiin tilastollisen analyysin keinoin mahdollisten tilastollisten merkitsevyyksien ja riippuvuussuhteiden selvittämiseksi.

Tilastollisen analyysin tekeminen loi vakaan pohjan perusteltujen ja luotettavien johtopäätösten tekemiselle.

## 4 TULOKSET

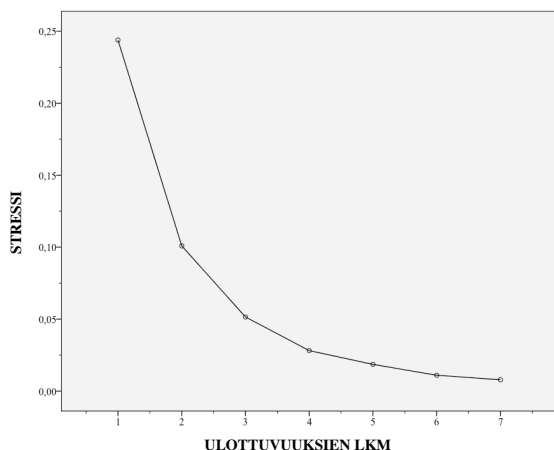
Kuuntelukokeella kerätty data analysoitiin tilastollisesti Pasw Statistics -ohjelmalla. Ennen tarkempaa analysointia aineistosta poistettiin poikkeavat havainnot. Sen jälkeen aineiston luotettavuus tarkistettiin ja laskettiin käytettyjen asteikoiden väliset korrelaatiot ja mahdolliset tilastolliset merkitsevyydet.

### 4.1 Samanlaisuus-arviointien analysointi

Kerätty aineisto tarkastettiin poikkeavien havaintojen osalta, jotta saatujen vastauksien yhteneväisyys ja niistä tehdyt johtopäätökset olisivat luotettavia. Aineiston koon vuoksi haluttiin poistettavien havaintojen määrä pitää mahdollisimman pienenä, joten poikkeavien havaintojen poistaminen tapahtui suorittamalla asteikon luotettavuusanalyysi ja sen antamien tuloksien pohjalta poistamalla negatiivisesti korreloivat osallistujat, joita oli vain yksi kappale. Datan siistimisen jälkeen laskettiin vastauksien yhteneväisyyttä ja luotettavuutta mittaava Cronbachin alfakerroin, joka samanlaisuus-datalle oli erittäin korkea 0,87. Asteikonkäytön mahdolliset eroavaisuudet minimoitiin normalisoimalla asteikot z-pisteiden mukaan. Tällä menettelyllä yhdenmukaistettiin käytössä olleen 9-portaisen asteikon käytön eroavaisuudet.

Poikkeavan havainnon poistamisen jälkeen aineistolle suoritettiin moniulotteinen skaalaus Pasw Statistics -ohjelman tarjoamalla PROXSCAL-algoritmilla, joka laskee vastausten väliset euklidiset etäisyydet. Kokeilemalla ja tarkastelemalla ulottuvuuksien lukumäärän lisäämisen vaikutuksia kuvaavaa scree-kuvaajaa (kuva 3) haettiin sopivaksi ulottuvuuksien vähimmäismääräksi 3, jolloin mallin selitystason vääristymä- eli stressi-arvoksi saatiin 0,22, jota voidaan pitää kohtalaisena arvona (Kruskal & Wish, 1978).

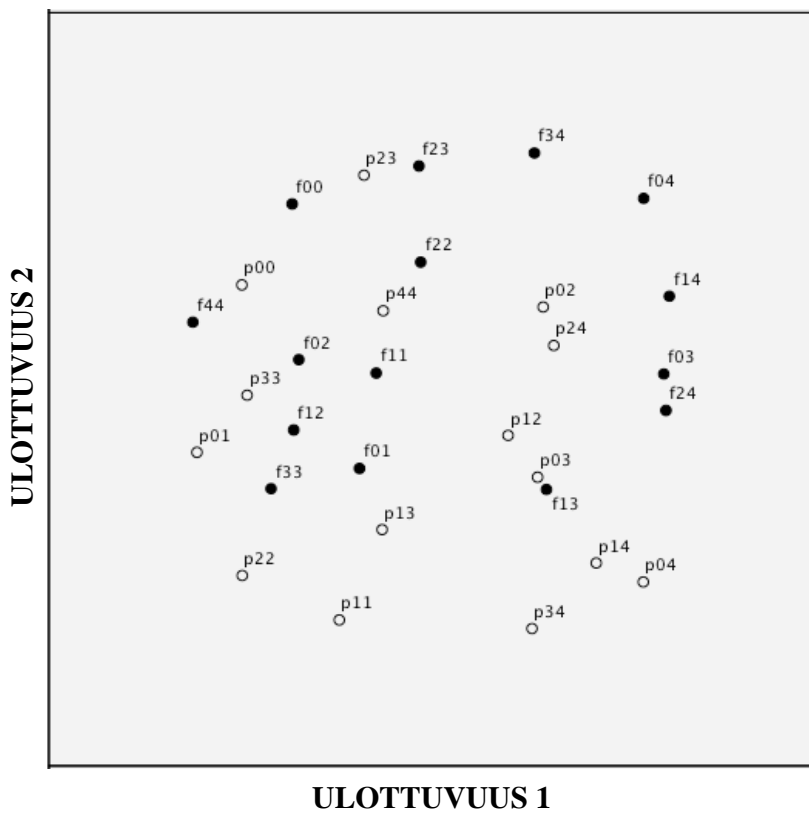
Lisäämällä vielä yksi ulottuvuus ja kasvattamalla ulottuvuuksien kokonaismäärä neljään, stressi-arvo laski 0,15:sta, mutta ei vaikuttanut tulosten tulkintaan merkittävästi, joten päädyttiin käyttämään kolmiulotteista ratkaisua. Tuloksien esittäminen kolmen ulottuvuuden avulla on myös selkeämpää ja havainnollisempaa verrattuna neljän ulottuvuuden käyttöön.



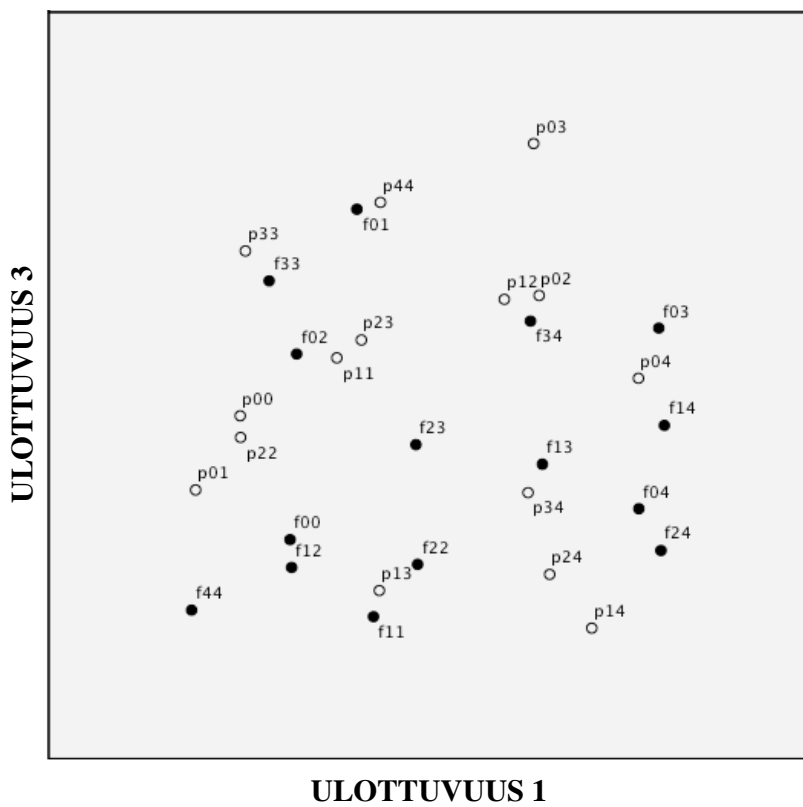
KUVA 3. Ulottuvuuksien määrän lisäämisen vaikutus mallin selitysasteeseen eli stressiin.

#### 4.1.1 Näytteiden sijoittuminen kolmiulotteiseen malliin

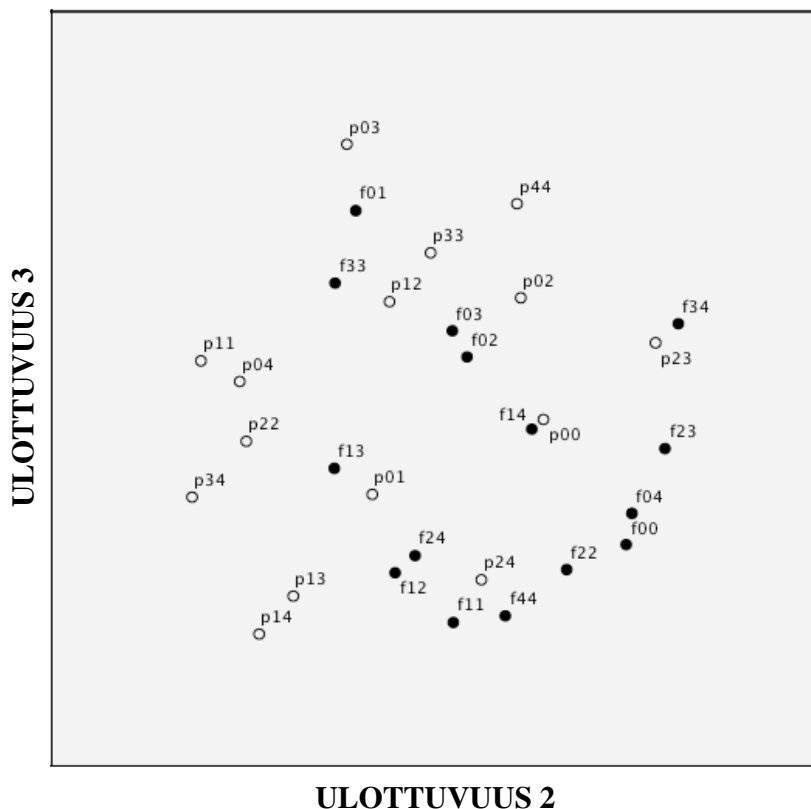
Näytteiden sijoittuminen kolmeen tasoon on esitetty kuvista 4a, 4b ja 4c. Näyteparit nimettiin mahdollisten samanlaisuussuhteiden löytämiseksi kirjain-numeroyhdistelmällä, jossa kirjain kertoo arvioidun näyteparin musiikkityylin (p = pop; f = funk), ensimmäinen numero kertoo näyteparissa ensiksi kuultavan näytteen käsittelytason (0 = ei käsittelyä; 1 = lievä käsittely; 2 = kohtalainen käsittely; 3 = voimakas käsittely; 4 = erittäin voimakas käsittely) ja toinen numero kertoo näyteparissa toisena kuultavan näytteen käsittelytason. Esimerkiksi koodi *f03* tulkitaan funk-tyylin näytepariksi, jossa vertaillaan käsittelemätöntä näytettä voimakkaasti käsiteltyyn näytteeseen. Musiikkityylinäytteiden erottelun helpottamiseksi pop-näytteet on merkitty avoimella ympyrällä ja funk-näytteet suljetulla.



KUVA 4a. Samanlaisuus-datan näytteiden sijoittuminen ulottuvuuksien 1 ja 2 mukaan.



KUVA 4b. Samanlaisuus-datan näytteiden sijoittuminen ulottuvuuksien 1 ja 3 mukaan.



KUVA 4c. Samanlaisuus-datan näytteiden sijoittuminen ulottuvuuksien 2 ja 3 mukaan.

Kuvasta 4a havaitaan ensimmäisen ulottuvuuden toimivan kohtalaisena samankaltaisten näytteiden erottelijana. Samanlaiset vertailuparit (koodissa samoja/vierekkäisiä numeroita) sijoittuvat kuviossa oikeammalle kuin keskenään erilaiset parit (koodissa eri numerot ja kauempana toisistaan), jotka sijoittuvat puolestaan kuvion vasemmalle puoliskolle. Kuvista 4a sekä 4b havaitaan selkeää musiikkityylin mukaista jakautumista. Kolmannen ulottuvuuden ominaisuuksista on vielä ilman aineistojen yhdistämistä hankala arvioida minkä perusteella näytteet siinä jakautuvat.

Aineistolle suoritettiin myös hierarkinen ryhmittelyanalyysi euklidisen etäisyyden mukaan, joka muodosti moniulotteisesta skaalauksesta riippumattoman analyysin, jolla pystyttiin hakemaan tukea tuloksien tulkinnassa. Analyysi ryhmitteli samankaltaisimmat näytteet ryhmiin, jotka taas ryhmiteltiin korkeampi arvoisempaan ryhmään, kunnes kaikki näytteet olivat yhdessä ryhmässä. Näin muodostetun ryhmittelyanalyysin kulku voidaan esittää havainnollisessa dendrogrammissa (liite 1). Ryhmien painoarvot ovat vahvimmillaan alkupäässä muodostetuissa ryhmissä/pareissa. Dendrogrammin tulkinta tukee samankaltaisten näytteiden erottelua käsittelyiden mukaan.

## 4.2 Adjektiivipari-aineiston analysointi

Samanlaisuusvertailujen pohjalta adjektiiviparien vertailuaineistosta poistettiin sama negatiivisesti korreloinut osallistuja, jotta myöhemmin tehtävä aineistojen yhdistäminen olisi luotettavalla pohjalla. Poikkeavan havainnon poistamisen jälkeen laskettiin osallistujien antamien vastauksien luotettavuuskertoimet sekä keskiarvot asteikkoa kohden. Tulokset on koottu taulukkoon 2.

TAULUKKO 2. Keskiarvot ja alfa-kertoimet näytteiden dynamiikka-alueiden suhteen määriteltynä.

DYNAMIIKKA-ALUE	iskevyyys $\alpha=0,84$	luonnollisuus $\alpha=0,67$	selkeys $\alpha=0,81$	täyteläisyys $\alpha=0,57$	elävyys $\alpha=0,44$	miellyttävyys $\alpha=0,71$
17dB	5,43	5,22	6,07	5,26	5,35	5,56
14dB	5,81	5,39	5,96	5,54	5,67	5,41
11dB	5,65	5,70	5,74	6,30	5,78	5,74
8dB	5,02	5,09	5,06	6,20	5,22	5,24
6dB	4,67	4,00	3,46	5,67	4,41	3,61

Cronbachin alfa-kertoimen kertoo saatujen vastauksien yhteneväisyyden kolmen asteikon osalta, joita ovat *iskevyy*s, *selkeys* ja *miellyttävyys*. *Luonnollisuudellekin* arvo on 0,67, jonka voidaan katsoa olevan riittävän lähellä 0,70:n yleisesti hyväksyttyä raja-arvoa. *Täyteläisyyden* ja *elävyyden* matalammat alfa-arvot vaativat kriittisempää suhtautumista niiden pohjalta tehtyihin johtopäätöksiin ja vaativat lisäanalysointia tuekseen. Kaiken kaikkiaan saadut arvot todistavat kerätyn datan luotettavuuden ja yhteneväisyyden ja niistä tehtyjen johtopäätösten validiteetin.

Koska käytettiin useampaa arviointiasteikkoa, haluttiin tarkastella vielä asteikoiden keskinäisiä korrelaatioita mahdollisten asteikoiden yhdistämisen puolesta. Asteikoiden välillä löytyi vahvoja yhteyksiä, jotka on kerrottu taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Asteikoiden väliset korrelaatiot. \*\* = Korrelointi merkitsevää 0.01 merkitsevyystasolla. \* = Korrelointi merkitsevää 0.05 merkitsevyystasolla.

	Iskevyy	Luonnollisuus	Selkeys	Täyteläisyys	Elävyys
Luonnollisuus	-0,05				
Selkeys	<b>0,70**</b>	<b>-0,61**</b>			
Täyteläisyys	<b>0,56**</b>	<b>0,47**</b>	<b>0,33*</b>		
Elävyys	<b>-0,62**</b>	<b>0,72**</b>	<b>-0,83**</b>	0,06	
Miellyttävyys	0,12	<b>-0,92**</b>	<b>0,63**</b>	<b>-0,44**</b>	<b>-0,68**</b>



Asteikoiden väliltä löytyneet korrelaatiot kertovat käytettyjen asteikoiden mahdollisesti mittaavan ja kuvaavan samankaltaisia ominaisuuksia. Havaitut yhteydet ovat pääsääntöisesti hyvin ymmärrettävissä, kuten esimerkiksi *luonnollisuuden* yhteys *täyteläisyyden* sekä *elävyyden* kanssa, kun taas *miellyttävyyden* positiivinen yhteys pelkäästään *selkeyden* kanssa herättää mielenkiintoisia jatkotarkasteluajatuksia.

#### 4.2.1 Tilastollisten merkitsevyyksien tarkastelu

Tutkimuksen yhtenä tavoitteena oli selvittää dynamiikka-alueen pienenemisen vaikutuksia osallistujien havaintoihin. Keskiarvojen eroavaisuuksien tilastollisten merkitsevyyksien selvittämiseksi suoritettiin kuudelle adjektiivasteikoille kaksisuuntaisia varianssianalyseja (two-way ANOVA) kahden päämuuttujan suhteen, jotka olivat näytteiden dynamiikka-alueen käsittely sekä musiikkityyli. Tulokset dynamiikka-alueen käsittelyn suhteen näkyvät taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Dynamiikka-alueen käsittelyn vaikutukset. F-arvot ja merkitsevyyssarvot kaikille kuudelle adjektiivasteikolle dynamiikka-alueen käsittelyn suhteen. Merkitsevyyssarvo  $p < 0.05$ .

	F-testin arvo	p-arvo
<b>Iskevyy</b> s	2,554	0,039
<b>Luonnollisuus</b>	4,536	0,001
<b>Selkeys</b>	13,887	<0,001
<b>Täyteläisyys</b>	2,602	0,036
<b>Elävyys</b>	3,351	0,011
<b>Miellyttävyy</b> s	8,13	<0,001

Kaikilla arviointiasteikoilla havaittiin olevan tilastollisesti merkitseviä eroja. Tämä tarkoitti, että dynamiikka-alueen käsittelyllä oli vaikutusta osallistujien tekemiin havaintoihin. Yhdysvaikutusta muuttujien suhteen ei havaittu. Seuraavaksi suoritettiin post hoc eli parittaisvertailuja Tukeyn menetelmällä käsittelyjen välisten erojen selvittämiseksi. Kuvat 5a ja 5b havainnollistavat keskiarvojen eroja dynamiikka-alueen käsittelyissä.

Post hoc –vertailut paljastivat kuinka dynamiikka-alueen käsittelyjen havaitseminen vaihteli eri käsittelyjen yhteydessä. Tulokset ovat tiivistetty seuraavassa:

- i) *Iskevyy*s: Tilastollisesti merkitsevä ero löytyi toisen ja viidennen käsittelyn väliltä. Kolmannen ja viidennen käsittelyn ero oli myös huomattavan pieni ( $p = 0.07$ ), vaikkakaan ei aivan tilastollisesti merkitsevä. Käsittelyllä oli iskevyyttä kasvattava vaikutus.

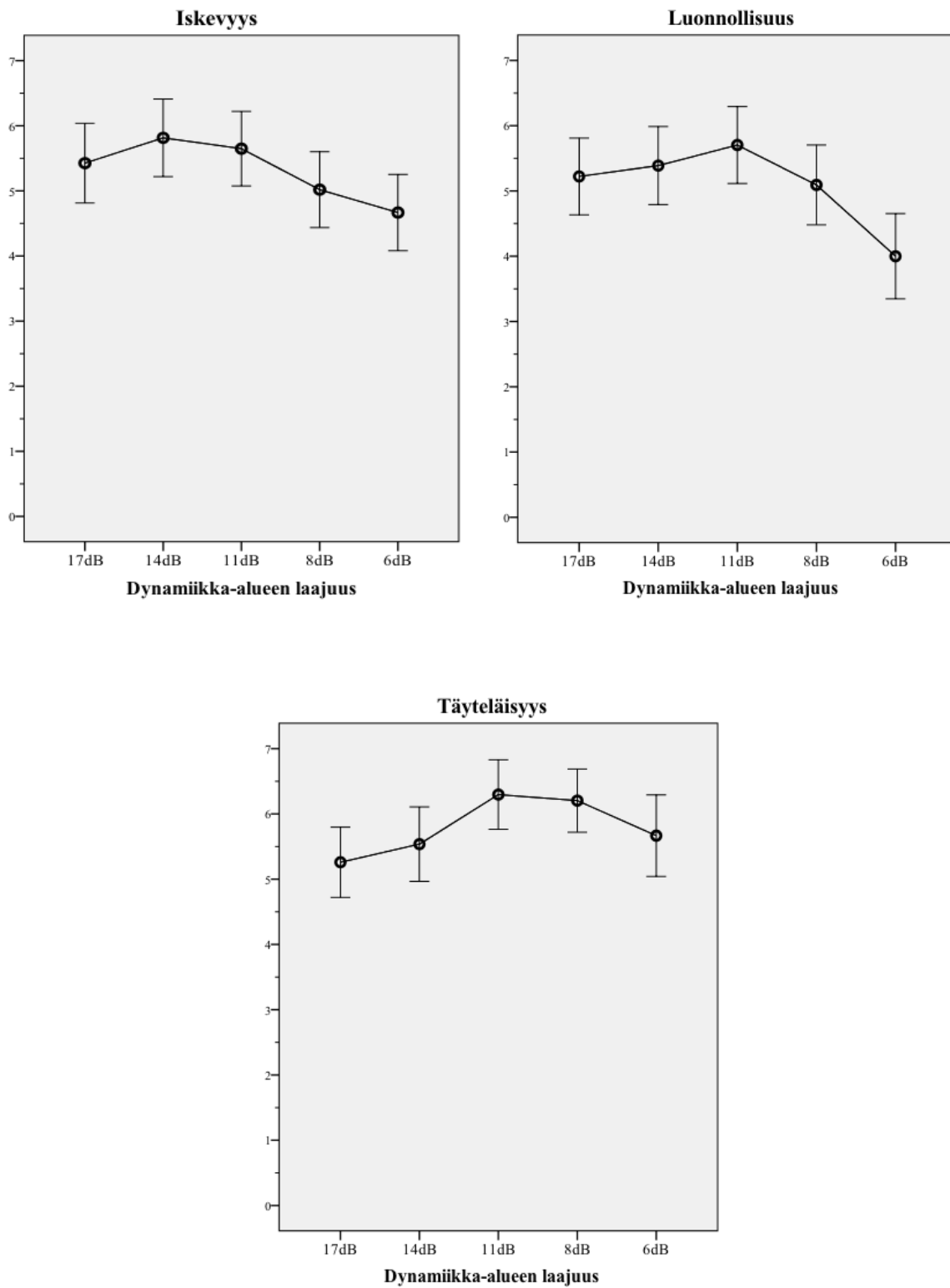
ii) *Luonnollisuus*: Ensimmäisen, toisen sekä kolmannen käsittelyn keskiarvojen ero todettiin merkitseväksi verrattuna viidenteen käsittelyyn.

iii) *Selkeys*: Neljän ensimmäisen käsittelytason koettiin eroavan merkitsevästi viidennestä. Käsittelemätön näyte arvioitiin selkeimmäksi ja selkeys laski käsittelytasolta seuraavalle siirryttäessä.

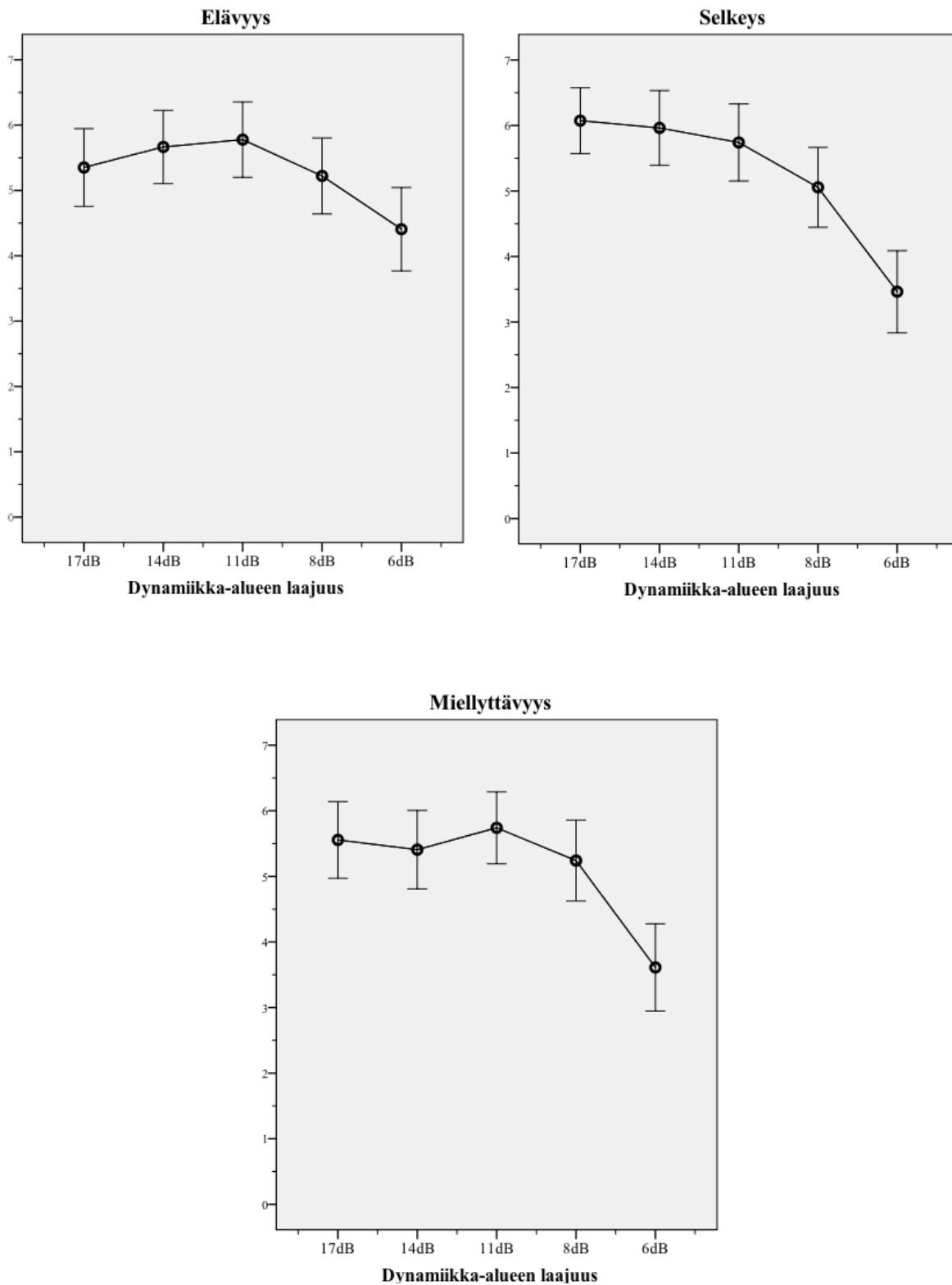
iv) *Täyteläisyys*: Ensimmäisen ja kolmannen käsittelyn ero oli tilastollisesti merkitsevä. Täyteläisyys nousi käsittelyjen ansiosta.

v) *Elävyys*: Toisen ja kolmannen käsittelyn ero viidennen käsittelyn välillä oli merkitsevä eli käsittelyllä saatiin kasvatettua elävyyden tuntua.

vi) *Miellyttävyys*: Merkitsevä ero syntyi viidennen ja muiden käsittelyiden välille samalla tavalla kuin selkeyden kanssa.



KUVA 5a. Arviointiasteikoiden (iskevyys, luonnollisuus ja täyteläisyys) keskiarvojen jakaantuminen näytteiden eri käsittelytasoilla.



KUVA 5b. Arviointiasteikoiden (elävyys, selkeys ja miellyttävyys) keskiarvojen jakaantuminen näytteiden eri käsittelytasolla.

Mielenkiinnosta kaksisuuntaisen ANOVAN tuloksista selvitetiin myös toisen päämuuttujan eli musiikillisen tyyllilajin, vaikutusta arviointeihin. Arvioitavana olleet kolme tyyllilajia olivat: pop-, funk- sekä latinalais-amerikkalainen musiikki, josta myöhemmin käytän lyhennettä latin. Näytteen musiikkityylikin koettiin tilastollisesti merkitseväksi kolmella asteikolla, jotka olivat iskevyyden, luonnollisuuden sekä täyteläisyyden. Tulokset löytyvät seuraavasta taulukosta.

TAULUKKO 5. F-arvot ja merkitsevyysarvot kuudelle adjektiivasteikolle näytteiden tyyllilajin suhteen. Merkitsevyystaso  $p < 0.05$ .

	F-testin arvo	p-arvo
<b>Iskevyyden</b>	30,848	<0,001
<b>Luonnollisuus</b>	4,838	0,009
<b>Selkeys</b>	2,45	0,088
<b>Täyteläisyys</b>	4,243	0,015
<b>Elävyys</b>	2,217	0,111
<b>Miellyttävyys</b>	0,351	0,704

Post hoc -vertailut Tukeyn -testillä selvittivät tyyllilajien väliset tilastollisesti merkitsevät keskiarvojen jakaantumiset. Iskevyyden-asteikolla funk-näytteen korkeampi keskiarvo ( $M = 6,64$ ,  $SD = 1,84$ ) erosi merkitsevästi pop ( $M = 4,54$ ,  $SD = 1,97$ ) sekä latin ( $M = 4,76$ ,  $SD = 2,18$ ) -näytteestä, jotka eivät keskenään eronneet merkitsevästi. Luonnollisuus-asteikolla latin -näytteen keskiarvo ( $M = 5,68$ ,  $SD = 2,42$ ) erosi merkitsevästi pop ( $M = 4,87$ ,  $SD = 2,15$ ) sekä funk ( $M = 4,70$ ,  $SD = 2,20$ ) -näytteistä. Täyteläisyys-asteikolla puolestaan pop-näytteen keskiarvo ( $M = 6,27$ ,  $SD = 1,79$ ) oli tilastollisesti merkitsevästi suurempi kuin funkkin ( $M = 5,71$ ,  $SD = 2,22$ ) ja latin-näytteen keskiarvo ( $M = 5,79$ ,  $SD = 2,05$ ).

### 4.2.3 Aineistojen yhdistäminen ja ulottuvuuksien ominaisuudet

Moniulotteisen skaalauksen tuloksena saatujen kolmen ulottuvuuden ominaisuuksien tarkastelussa käytettiin avuksi kuuntelukokeen toisen osion avulla kerättyä adjektiiviarviointeja. Aineistojen yhdistäminen aloitettiin laskemalla jokaiselle samanlaisuus-arviointiparille vastaava adjektiiviarviointi. Vastaavat adjektiiviarvioinnit muodostettiin laskemalla arviointien keskiarvot kullakin käsittelytasolla ja laskemalla keskiarvojen kombinaatiot samanlaisella matriisilla kuin samanlaisuusvertailuparit oli muodostettu. Toimenpide suoritettiin jokaiselle kuudelle arviointiasteikolle erikseen. Yhdistämismatriisi on esitetty taulukossa 6.

TAULUKKO 6. Adjektiiviparien keskiarvojen yhdistämismatriisi.

	17dB	14dB	11dB	8dB	6dB
17dB	00	01	02	03	04
14dB		11	12	13	14
11dB			22	23	24
8dB				33	34
6dB					44

Kun samanlaisuus-arviointien näytepareille oli saatu vastaavat adjektiiviarvioinnit, laskettiin moniulotteisella skaalauksella saatujen näyteparien koordinaattien ja kuuden adjektiivasteikon väliset korrelaatiot. Saadut tulokset näkyvät taulukossa 7.

TAULUKKO 7. Adjektiivasteikoiden ja ulottuvuuksien väliset korrelaatiot. \*. Korrelaatio merkitsevä 0.05 merkitsevyystasolla.

	Ulottuvuus 1	Ulottuvuus 2	Ulottuvuus 3
Iskevyyys	-0,01	<b>0,31*</b>	-0,27
Luonnollisuus	0,24	0,15	-0,06
Selkeys	-0,20	0,08	-0,05
Täyteläisyys	0,08	0,16	-0,12
Elävyys	0,17	-0,03	0,21
Miellyttävyys	-0,27	-0,02	0,10

Asteikoiden ja ulottuvuuksien välillä löytyi korrelaatioita. *Iskevyyys*-asteikon korrelointi oli tilastollisesti merkitsevää. Kohtalaisesti ensimmäisen ulottuvuuden kanssa korreloivat negatiivisesti *selkeys* ja *miellyttävyys*, jotka toimivat hyvin toisiansa tukevin pareina ja joita *luonnollisuuden* positiivinen korrelointi tukee. Kolmannen ulottuvuuden kanssa kohtalaista positiivista korrelointia osoitti *elävyys*-asteikko sekä negatiivista korrelointia *iskevyyss*-asteikon osalta.

#### 4.2.4 Harhautus-näytteen raportointi

Samanlaisuus-vertailun kuuntelunäytteissä mukana olleille samanlaisille latinalais-amerikkalaisille näytepareille tehtiin myös tilastolliset analysoinnit, jolla varmistettiin näytteiden arvioinnit samanlaisiksi ja siten ne varmistivat muiden näyteparin osalta havaittujen eroavaisuuksien olevan johdonmukaisia ja luotettavia. Samanlaisuuspareille tehtiin yhden otoksen t-testi ( $t(18) = 3,643$ ,  $p = 0,002$ ), joka osoitti harhautus-näytteiden korkeamman keskiarvon ( $M = 6,33$ ,  $SD = 2,39$ ) eroavan tilastollisesti merkitsevästi muiden näytteiden keskiarvoista. Keskiarvo pop-näytteille oli 5,35 ( $SD = 2,67$ ) ja funk-näytteille 5,29

(SD = 2,63). Samanlaiset harhautus-näyteparit oli arvioitu nollahypoteesin mukaisesti samanlaisiksi.

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kuuntelukokeella kerätyn aineiston tilastollinen tarkastelu ja siitä saadut tulokset antoivat vahvistusta tutkimushypoteesille dynamiikka-alueen kompressoinnin havaitsemisesta sekä vaikutuksista kuuntelukokemuksen arvioinneissa. Osallistujien tehtävänä oli arvioida näytteitä äänenväriin sekä dynamiikan muutoksien suhteen. Vaikka osallistajat raportoivat kuuntelukokeen olleen erittäin haastava, saaduille tuloksille tehdyt arvioinnit osoittivat annettujen vastauksien olevan yhteneväisiä ja yhdenmukaisia, jotta luotettavien johtopäätöksiä tekeminen oli mahdollista. Koetulokset osoittavat myös käytetyn koeasetelman olevan käyttökelpoinen arvioitaessa kompressoinnista aiheutuvia muutoksia äänenväriissä.

### 5.1 Tulosten tulkinta

Ensimmäisen kuunteluosion tarkoituksena oli selvittää millaiset erot dynamiikka-alueen kompressoinnissa ovat havaittavissa. Moniulotteisen skaalauksen avulla suoritettu tulosten analysointi kertoi osallistujien löytäneen eroja näytteiden käsittelytasoista. Arvioitava oli yhteensä viisi käsittelytaso, jotka jakautuivat dynamiikka-alueiden laajuuden mukaan. Näytteiden käsittelytasojen dynamiikka-alueet jakautuivat 2 - 3dB:n välein seuraavasti:

0. taso: 17dB (ei käsittelyä)
1. taso: 14dB (lievä käsittely)
2. taso: 11dB (kohtalainen käsittely)
3. taso: 8dB (voimakas käsittely)
4. taso: 6dB (erittäin voimakas käsittely)

Näyteparien sijoittumisesta moniulotteisen skaalauksen tuloksena saadun kolmiulotteisen mallin ensimmäisen ulottuvuuden mukaan on pääteltävissä, että vähintään kahden käsittelyn päässä toisistaan olevat näytteet olivat selvästi erotettavissa toisistaan teli siis 6dB:n ero dynamiikka-alueen käsittelyssä aiheutti näytteiden välillä havaittavia muutoksia. Adjektiivivasteikoiden tulokset puoltavat havaintoa, koska kaikkien käsittelyjen välillä on havaittavissa selkeästi erilaisia



havaintoja. Myös ryhmittelyanalyysin tuloksena saadusta dendrogrammista on erotettavissa kaksi pääryhmää, joista toisen muodostavat keskenään täysin samanlaiset parit tai yhden käsittelyn päässä toisistaan olevat parit ja toisesta ryhmästä löytyvät keskenään erilaisemmat parit.

Saatu tulos tukee myös kokeneen masterointi-insinööri Robert Katzin arvioita, jonka mukaan dynamiikka-alueen käsittelyn olevan joissakin tapauksissa mahdollista jopa 6dB:n verran ilman selkeästi havaittavaa eroa äänenvärissä ja –sävyssä. Käytin Katzin ohjeistusta yhtenä näytteiden käsittelytasojen intervallien muodostamisperiaatteena.

### 5.1.2 Havaitsemisulottuvuuksien ominaisuudet

Kolmiulotteisen mallin tulkitsemisessa otettiin avuksi kuuntelukokeen toisen osion bipolaaristen adjektiiviparien avulla tehdyt arviointit. Arviointien tarkoituksena oli selventää niitä erotteluperiaatteita näytteille, joiden mukaan osallistujat ensimmäisen osion samanlaisuusvertailuja suorittivat. Tehdyt analyysit osoittivat mallin ulottuvuuksien ja adjektiivasteikoiden väliltä löytyvän suuntaa-antavia yhteyksiä. Tulokset on kirjattu taulukkoon 7, joka löytyy osiosta 4.2.3.

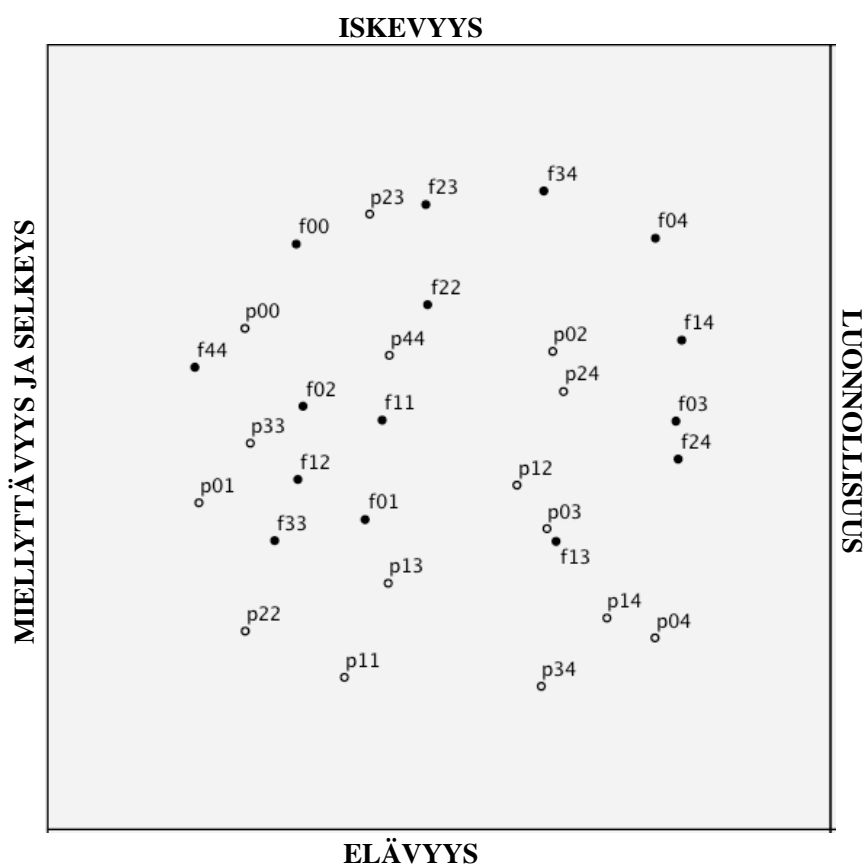
Ensimmäinen ulottuvuus korreloi kohtalaisesti negatiivisesti *miellyttävyyss-* sekä *selkeys-*asteikkojen kanssa. Tästä voidaan päätellä, että ensimmäisen havaintoulottuvuuden mukaan kuviossa (kuva 4a) vasemmalle puolelle järjestäytyvät näytteet on koettu miellyttävämmiksi ja selkeiksi, joka on pitkälti perusteltavissa näytteiden vähäisemmällä käsittelyllä. *Luonnollisuus-*asteikon korrelointi ensimmäisen ulottuvuuden kanssa selventää myös muutamien voimakkaasti käsiteltyjen näytteiden sijoittumista vasempaan reunaan kuviossa jonne ne eivät *miellyttävyyss-*asteikon puolesta kuulu.

Toisen ulottuvuuden voimakas yhteys *iskevyyss-*asteikon kanssa on havaittavissa selkeästi kuvion yläpuoliselle alueelle sijoittuvista näytteistä, jotka edustavat funk-tyyliä. Funk-tyylin vaikutus todettiin olevan tilastollisesti merkitsevä iskevyyden arvioinnissa. Pop-näytteiden sijoittumista kuvion alapuoliskolle voi selittää myös pop-näytteiden pehmeämpi yleisäänenväri verrattuna funk-näytteisiin.

Kolmannen ulottuvuuden ja asteikoiden väliset korrelaatiot jakaantuivat *iskevyyden* negatiivisen sekä elävyyden positiivisen korreloinnin välille. Toisen ja kolmannen

ulottuvuuden välisestä kuviosta (kuva 4c) selviää iskeviksi koettujen funk-näytteiden sijoittuminen kuvion oikeaan alakulmaan. Toisaalta elävyys-asteikko ei saanut kovin korkeita luotettavuustestien tuloksia, mikä kertoo osallistujien olleen eri linjoilla kyseisen asteikon suhteen. Tämä voi kertoa elävyyden olevan vahvasti subjektiivinen ominaisuus, jonka mittaaminen on hankalaa tai sitten asteikko toimii iskevyyden vastapoolina.

Tiivistämällä kolmen havaintoulottuvuuden ominaisuudet, jotka määräytyivät osallistujien samanlaisuus- sekä adjektiivasteikkoarvioinneista yhteen kaksiulotteiseen tasoon saadaan aikaiseksi varsin mielenkiintoisen näköinen nelikenttä (kuva 6), jossa vastapuolina toimivat *iskevyy*s ja *elävyys*, sekä toisena vastaparina *miellyttävyy*s ja *luonnollisuus*. Huomioon on otettu myös asteikoiden väliset korrelaatiot, jotka viittasivat asteikoiden toimivan osittain limittäin ja toisiaan vastaan.



KUVA 6. Samanlaisuus- ja adjektiivasteikkoarvioinneista muodostettu nelikenttä.

## 5.2 Adjektiivivasteikoiden tulkinta

Tarkasteltaessa adjektiiviarviointien jo aiemmin esiteltyjä keskiarvokäyriä (kuvat 5a ja 5b) on nähtävissä kaikilla asteikoilla selkeyttä lukuun ottamatta samankaltainen kuvaaja: käyrä nousee ensimmäisen ja kolmannen käsittelyn välillä, jonka jälkeen se kääntyy laskuun. Aikaisemmat tutkimustulokset puoltavat sopivan dynamiikka-alueen hallitsemisen lisäävän kuuntelijan saaman informaation määrää, joka vaikuttaa myönteisesti kuuntelukokemukseen (Vickers, 2010). Käyrät vastaavat myös hämmästyttävän tarkasti äänialan ammattilaisten käytännön kokemuksella hankittua tietoa kohtalaisen kompressoinnin positiivisista vaikutuksista äänimateriaalille (Katz, 2007; Owsinski, 2007). Selkeyden koko ajan laskevasuuntainen käyrä sopii aiempiin tuloksiin kompressoinnin kohinaa ja häiriötä lisäävästä vaikutuksesta (White, 1999; Campbell, 2010).

### 5.2.1 Käsittelyjen aiheuttamien erojen tulkinta

Tehdyt varianssianalyysit kertoivat näytteiden käsittelyillä olevan tilastollista merkitsevyyttä asteikoiden suurimman ja pienimmän keskiarvon välillä. Viides käsittely sai kaikkien muiden asteikoiden paitsi täyteläisyyden arvioinneissa pienimmät keskiarvot. Tämä on varsin ymmärrettävää sillä viidennellä käsittelytasolla näytteiden äänenlaadulliset ongelmat alkoivat olla todella huomattavat ja havaintojen tekemistä häiritsevät. Täyteläisyyden arvioinnissa viidennen käsittelytason korkeampi keskiarvo verrattuna ensimmäiseen ja toiseen tasoon on selitettävissä aiempien tutkimuksien tuloksilla kompressoinnin taajuusvastetta tasoittavasta vaikutuksesta sekä signaali-kohina-suhteen heikkenemisestä (Vickers, 2010; Blesser, 1968). Kompressoinnilla materiaaliin lisätyt komponentit havaitaan luontevasti täyteläisyyttä lisäävinä.

Tulos-osiossa mielenkiintoa herättänyt *miellyttävyyys*-asteikon korrelointi pelkästään *selkeyden* kanssa on ymmärrettävissä tutkittaessa kuvassa 5b esitettyjä kuvaajia: miellyttävyyden ja selkeyden kuvaajat ovat samankaltaisesti laskevia, kun muilla asteikoilla ne tekevät selkeämpää nousua muutaman käsittelyn kohdalla. Huomioitava tosiasia kuitenkin on, että näytteiden miellyttävyyden ei ole koettu merkitsevästi muuttuvan kuin vasta voimakkaimman käsittelyn kohdalla. Tämä viittaisi siihen, että dynamiikka-alueen laajuudella ei olisi niin suurta merkitystä kuulijoille arvioitaessa näytteiden miellyttävyyttä. Tämä oletus saa tukea myös yleisesti musiikinkulutuksen

suunnalta, koska dynamiikka-alue on kaventunut tallenteissa huomasti viime vuosikymmenien aikana, mutta ennen kuin selkeää äänenlaadun heikkenemistä on havaittavissa se ei tunnu haittaavan kuluttajia.

Iskevyyden katsottiin nousevan muutaman käsittelyn ansiosta, joskaan ero käsittelemättömään ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Saatu kuvaaja kuitenkin viestittää havaittavan eron käsittelyjen välille syntyvän. Levyn masterointi-vaiheessa kompressoinnilla pyritään sitomaan musiikilliset elementit yhteen, jonka tarkoituksena on iskevyyden tunteen lisääminen. Iskevyyden perustuu elementtien tasaisempaan yhteisointiin ja eri äänenvärien yhdenmukaistumiseen. Kokonaisuudesta tulee enemmän kuin osiensa summa.

Luonnollisuuden keskiarvon samantapainen kasvu kuin selkeydellä ja elävyydellä muutaman käsittelyn kohdalla ohjaisi päättelyä johtopäätökseen osallistujien totumisesta kompressoinnin käyttöön, johon myös useat studioalan oppaat viittaavat. Vaikka ero käsittelemättömien ja kohtalaisesti käsiteltyjen näytteiden välillä ei olekaan tilastollisesti merkitsevä, tukee se muun muassa Zakin (2001) ajatusta kompressoinnin kuulumisesta populaarimusiikin studiokäytäntöihin ja sen hyväksymistä luonnolliseksi osaksi tallennettua musiikkia.

### **5.2.2 Musiikkityyliin aiheuttamat erot**

Käsittelyn lisäksi myös näytteiden musiikkityyleillä oli tilastollisesti merkitsevää vaikutusta kolmen asteikon kohdalla (*iskevyyden, luonnollisuus ja täyteläisyys*). Kompressointi on helpointa havaita terävissä ja lyhytkestoisissa äänissä kuten esimerkiksi rummuissa, joiden äänenväriä kompressointi helposti pehmentää lisäämällä niissä havaittavan särön määrää. Iskevyyden kohdalla funk-näytteen korkeampi keskiarvo on selitettävissä näytteen avonaisella ja selkeällä äänenvärillä, jossa erityisesti rummut erottuvat yksityiskohtaisesti ja ovat siten erittäin herkäät käsittelylle. Funk-tyyliin on yleisesti kuulunut pienimuotoinen säröisyys, joka on tehnyt siitä iskevämpää ja tasaisempi dynamiikka-alue on sopinut sen rytmikkääseen ilmaisuun.

Samansuuntaisen selityksen löytyy myös latin-näytteen luonnollisuus-asteikon keskiarvon merkitsevään poikkeamaan kahden muun tyylin suhteen. Näytteessä ei käytetty tavallista rumpusetiä vaan rytmiraita luotiin käyttämällä kyseisen tyylin mukaisesti

erilaisia lyömäsoittimia. Käytetyt perkussiot eivät omaa niin selkeitä ja teräviä instrumentin äänen syttymisajankohtia kuin perinteinen rumpusetti, joten käsittely ei ollut niin helposti havaittavissa ja vaikutti luonnollisemmalla. Lyömäsoittimet omaavat myös akustisen luonteensa puolesta paljon dynamiikan vaihteluita, jotka korostivat luonnollisuuden tunnetta.

Pop-näytteet koettiin merkittävästi täyteläisemmiksi, jonka voivat selittää näytteessä käytetyt kaiku-efektit kitarassa sekä virvelirummussa. Käytetyt efektit pehmensivät sointiväriä etäännyttämällä soittimia kuulokuvassa ja samalla täyttämällä äänimaisemaa vastakohtana funk-näytteen selkeään ja kirkkaaseen vastaavaan. Kompressoitukäsittelyn tuoma särö täydensi soitinten pehmeitä sointivärejä.

Vaikka musiikkityyli ja sen vaikutus ei ollutkaan varsinaisesti tutkimuksen aiheena, niin saadut tulokset vaikuttavat mielenkiintoisilta ja vaatisivat osakseen myös laajempaa tutkimusta, joka jää tämän tutkimuksen rajauksen ulkopuolelle. Aihe vaatisi erilaisen lähestymistavan ja laajemman näytteiden skaalan verrattuna tehtyyn tutkimukseen.

## 6 PÄÄTÄNTÖ

Tässä tutkimuksessa selvitettiin dynamiikka-alueen hallinnan eli kompressoinnin havaitsemista sekä vaikutuksia kuuntelijoiden havaintoihin. Työssä esiteltiin dynamiikan hallinnan pääperiaatteet, käytännön sanelemia perusteluja kompressoinnin käytölle historiallisesta näkökulmasta sekä nykymusiikkiteollisuuden kompressoitikäytäntöjä. Kompressoinnin osoitettiin kuuluvan erottamattomasti studiokäytäntöjen kautta populaarimusiikin tuotantovaiheisiin ja sitä kautta musiikin kuluttajien arkipäivään.

Viimeisten vuosikymmenten aikana siirryttäessä analogisesta digitaaliseen musiikin tallennus- ja toistojärjestelmään dynamiikka-alueen hallinta on siirtynyt huolestuttaviin mittoihin. Kompressoinnin havaitsemisesta ja sen vaikutuksista musiikin kuuntelijoiden kannalta tiedetään kuitenkin äärimmäisen vähän. Tutkimukset ovat keskittyneet kuulolaitetutkimuksen puolelle, jonka kautta saatujen tulosten soveltaminen on mahdollista myös musiikin tutkimuksen suunnalla.

Asettuja tutkimuskysymyksiä lähestyttiin järjestämällä kuuntelukoe, jossa hyödynnettiin sekä määrällisen että laadullisen tutkimuksen keinoja. Tutkimuskysymykset joihin haettiin vastauksia olivat: Millainen muutos kompressoinnissa on havaittavissa? Millä tavalla kompressointi vaikuttaa kuuntelukokemukseen? Lisäksi selvitettiin alustavasti musiikkityylin vaikutusta kompressoinnin muutoksen havaitsemiseen. Osallistujat olivat musiikkia aktiivisesti harrastavia henkilöitä neljästä eri musiikkioppilaitoksesta. Kuuntelukokeella kerättiin aineisto, jonka tarkastelussa käytettiin tilastollista analysointia moniulotteisen skaalauksen sekä kaksisuuntaisen varianssianalyysin muodossa. Analyysit selvensivät kokeeseen osallistujien olleen yllättävänkin yhdenmukaisia antamissaan vastauksissa. Saadut tilastollisesti merkitsevät tulokset noudattelivat hyvin studioalan ammattilaisten näkemyksiä kompressoinnin vaikutuksista.

Tuloksien tulkinnassa on muistettava kuuntelukokeen poikkeuksellinen tilanne, jossa osallistujat pääsevät vertaamaan eri tavalla käsiteltyjä musiikkinäytteitä keskenään, joka ei yleisesti ole mahdollista tilanteessa, jossa musiikkia kuunnellaan levyiltä tai radiosta. Lisäksi näytteiden olivat musiikkityyliltään pelkistettyjä ja lyhyitä instrumentaalimusiikkikatkelmia,

jotka kykenivät vain simuloimaan tosielämän vastineitaan. Siitä huolimatta saadut tulokset olivat kuitenkin johdonmukaisia ja selkeästi tulkittavissa.

Ensimmäiseen tutkimuskysymykseen dynamiikka-alueen laajuuden muutoksen havaitsemisesta erot olivat 3 – 6dB:n luokkaa ja osallistujien havainnoista oli muodostettavissa nelikenttä moniulotteisen skaalauksen avulla saaduista havaitsemisulottuvuuksista ja sillä kyettiin kuvaamaan mitkä piirteet havaintoihin olivat vaikuttaneet. Toisiinsa vastakohtaisesti vaikuttavaksi piirteiksi muodostuivat *selkeys* ja *luonnollisuus* sekä *iskevyys* ja *elävyys*.

Toiseen tutkimuskysymykseen kompressoitukäsittelyn vaikutuksesta kuuntelukokemukseen saatiin myös selventäviä vastauksia. Kompressoitukäsittelyjen keskiarvojen vertailussa havaittiin kompressoinnilla olevan tilastollisesti merkitsevää vaikutusta jokaisen arvioitavana olleen adjektiivasteikon suurimman ja pienimmän keskiarvon välillä. Voimakas kompressointi arvioitiin jokaisella asteikolla laadullisesti heikoimmaksi. Kohtalainen kompressointi nosti näytteiden *selkeyttä*, *luonnollisuutta* ja *elävyyttä* niin, että ne erosivat voimakkaimmasta käsittelystä. Käsittelyt nostivat *täyteläisyyden* saamia arvioita, jotka toimivat lähes päinvastaisesti *selkeyden* arviointien kanssa. *Miellyttävyyden* arviointiin käsittelyillä ei ollut vaikutusta paitsi aivan voimakkaimman käsittelyn kohdalla, joka erosi selkeästi käsittelytasojen joukosta vähiten miellyttävänä.

Yleisesti tutkimuksen suhteellisen pienellä otoksella saadut tulokset viittaisivat siihen, että paljon keskustelua herättänyt dynamiikka-alueen suhteeton kaventaminen ei olisi niin merkittävässä osassa kuuntelijoiden tehdessä arviointeja kuuntelemastaan musiikista. Kompressoinnin seurauksena äänimateriaalissa aiheutuvat muutokset eivät lyhytkestoisessa kuuntelussa vaikuttaisi niin sanotusti levymyyntiin, mutta jonka pidempiaikaisia vaikutuksia ei tarkalleen tiedetä ja joka vaatisi laajempaa tutkimusaineistoa.

Koejärjestely pyrittiin saamaan tavallista musiikin kuuntelutilannetta vastaava, mikä pyrittiin tuomaan esille antamalla osallistujille mahdollisuus vaikuttaa kuunteluäänenvoimakkuuteen. Koska koe suoritettiin kuulokkeilla oli luontevaa antaa osallistujien itse säätää kullekin sopiva kuunteluäänenvoimakkuus. Tällä järjestelyllä varmistettiin, ettei kukaan osallistujista kokisi äänenvoimakkuutta epämiellyttävän voimakkaaksi, joka olisi voinut aiheutua kuunteluäänenvoimakkuuden vakioimisesta. Erilaiset kuunteluäänenvoimakkuudet voivat

vaikuttaa näytteiden välisten erojen havaitsemiseen, mutta osallistujien mukavuutta pidettiin etusijalla.

Kuunteluäänenvoimakkuuden itsenäisen säätämisen lisäksi osallistujien annettiin tutustua ja käydä itsenäisesti kokeessa käytetyt adjektiiviparit läpi, jotta jokainen pystyi muodostamaan oman käsityksen käytetyistä pareista. Toinen mahdollisuus olisi ollut käydä parit läpi ohjeistamisen yhteydessä kokeenjärjestäjän toimesta, mutta sillä olisi saattanut olla häiritsevää vaikutusta osallistujan arviointeihin, joka ei ole tottunut arvioimaan musiikkia äänenlaadullisin perustein. Käytetyllä tavalla pyrittiin saamaan arviointeihin mahdollisimman subjektiivinen ja kuuntelijalähtöinen lähestyminen, jossa jokainen osallistuja sai hahmottaa adjektiivit mieleisekseen. Saadut tulokset ja asteikoiden käytön yhteneväisyydet kertovat, että menettely oli toimiva ja hyväksyttävä.

Mielenkiintoisena lisänä saaduista tuloksista selvitettiin alustavasti myös musiikkityylilajin ja kompressoinnin havaitsemisen yhteyttä, mitkä antoivat vahvistusta kompressoinnin äänenväriä muuttavasta luonteesta. Aihe vaatisi kuitenkin lisämateriaalia ja -tutkimusta, jotta tulosten pätevyydestä voitaisiin vetää varsinaisesti suurempia johtopäätöksiä.

## **6.1 Mahdolliset jatkotutkimukset**

Vaikka tehty tutkimus tarjoaakin selventäviä vastauksia asetettuihin tutkimuskysymyksiin dynamiikka-alueen hallinnan havaitsemisesta ja vaikutuksista, ovat saadut tulokset suuntaantavia ja osoittavat, että kyseessä on vielä hyvin alkuvaiheessa oleva musiikin tutkimuksen aihepiiri. Aihe vaatii selkeästi lisätutkimusta sekä -materiaalia, jotta dynamiikka-alueen kompressoinnin vaikutukset olisivat tarkemmin ja laajemmin selvitettävissä. Tutkimuksessa käytettiin pääasiassa määrällistä lähestymistapaa, joka omalta osaltaan rajoittaa osallistujien vaikuttamismahdollisuuksia ja pienentää uusien, ennalta-arvaamattomien tutkimussuuntien löytymismahdollisuuksia, mutta tarjoaa vastaavasti rajatun ja hallitun kuvan valitusta tutkimusongelmasta. Käyttämällä laadullisia menetelmiä olisi ollut mahdollista tuoda esiin kuuntelijoiden havaitsemia ilmiöitä ja mielipiteitä kompressoitukäsittelyyn liittyen, mutta samalla tutkimuksen rajaus olisi ollut vaikeampaa. Tutkimus herättää kuitenkin ajatuksia liittyen muun muassa käytetyn kuuntelukoemallin kehittämiseen, kompressoitun materiaalin pidempiaikaisen kuuntelun vaikutuksiin sekä materiaalin analyyttiseen tutkimiseen.



Käytettyä kuuntelukoemallia voitaisiin tarvittaessa laajentaa ja pidentää lisäämällä ja monipuolistamalla arvioitavien näytteiden määrää, jolloin kerätty aineisto tarjoaisi vakaamman pohjan tilastollisen analysoinnin suorittamiseen. Näytteiden musiikkityyleissä voitaisiin pitäytyä vain tietyn genren rajoissa jolloin saatavat tulokset olisivat vielä tarkemmin rajattavissa ja mahdolliset erot helpommin havaittavissa. Näytteet voisivat olla myös äänenväritään monipuolisempia ja autenttisemman kuuloisia, jos olisi ollut mahdollista korvata MIDI:llä ohjatut instrumentit oikeilla. Tilankäytöllisistä rajoituksista johtuen tämä ei ollut mahdollista tämän tutkimuksen yhteydessä.

Luonnollisesti osallistujien määrän kasvattaminen ja osallistujien rajauksen laajentaminen mahdollistaisivat esimerkiksi ryhmien välisen vertailun musiikkia aktiivisesti harrastavien sekä ei-harrastavien osalta olisi mielenkiintoista. Laajempi aineisto, sen analysointi ja näin saatavat tulokset olisivat mahdollisesti yleistettävissä suuremmalle joukolle. Tässä tutkimuksessa osallistujat rajattiin aktiivisesti musiikkia harrastaviin käytössä olevien resurssien takia ja huomioiden työn laajuus.

Kokeen pidentymisen aiheuttamia ongelmia kuten osallistujien väsymisestä johtuvaa keskittymiskyvyn heikkenemistä saataisiin osittain vähennetyksi suorittamalla koe useammassa osassa. Jos ei haluttaisi muuten pidentää koetta, niin olisi myös mahdollista suorittaa kyseinen koe kahteen kertaan jolloin analysoitavan aineiston määrä kaksinkertaistuisi ja tuloksien tilastollinen luotettavuus kasvaisi.

Lisäksi näytteiden käsittelyä voitaisiin monipuolistaa lisäämällä kompressointiparametreja tai käyttämällä erilaisia kompressointitekniikoita, kuten esimerkiksi monikaista- tai rinnakkaiskompressointia. Kyseiset tekniikat ovat yleisessä käytössä tallenteiden viimeistelyssä ja niiden avulla kyettäisiin hiomaan näytteiden käsittelyä hienovaraisemmin. Tässä tutkimuksessa näytteiden käsittelyssä käytettiin yksinkertaisempaa menetelmää, koska tutkimuksessa haluttiin selvittää dynamiikka-alueen hallinnan vaikutuksia mahdollisimman yksinkertaisella käsittelyllä. Esimerkiksi monikaistakompressoinnin käyttö olisi moninkertaistanut muuttuvien parametrien määrän ja siirtänyt painopisteen enemmän kompressoinnin käyttötapoihin kuin sen käytön havaitsemiseen. Myös kokonaan analogisen kompressorin käyttö voisi mahdollisesti muuttaa saatuja tuloksia luomalla luonnollisen kuuloisia äänenvärien muutoksia näytteisiin. Kokeessa käytetyn digitaalisen ohjelmistoliitännäisen tuottama äänenvärien muutos voi olla kokeneen musiikinkuuntelijan

korvaan liian helposti tunnistettavissa, joka osaltaan voi muuttaa tutkimusasetelman enemmän kompressorin käyttötapojen havaitsemiseen.

Tutkimuksen kehittämismahdollisuutena näytteiden analyttinen tutkiminen tarjoaisi mahdollisuuden tarkastella kompressoinnin aiheuttamia fyysisiä muutoksia käytetyssä materiaalissa, jotka voisivat selventää näytteiden välillä havaittuja eroja. Erojen tarkastelu voisi tuoda selvennystä osallistujien tekemiin arviointeihin ja antaa uuden näkökulman siihen, miksi näytteet havaittiin kyseisillä tavoilla. Analysoinnissa voitaisiin käyttää Jyväskylän yliopistossa (Lartillot, Eerola & Toiviainen, 2007) kehitettyä MatLab –ohjelman alustalla toimivaa MIRtoolbox –audioanalyysiohjelmaa.

Kyseisellä tutkimuksella saadut tulokset kompressoinnin välittömästi havaittavista vaikutuksista ja muutoksista musiikissa herättävät jatkotutkimuskysymyksen pidemmällä aikavälillä havaittavista vaikutuksista, joista ensimmäisenä esille nousee kuunteluväsymys, jonka aiheuttajaksi on epäilty vähäisiä dynamiikan vaihteluita sisältävää musiikkia. Väitteen todentaminen on vähintäänkin ongelmallista ja tutkimusetiikankin kannalta hankalaa, mutta lisäämällä kokeessa arvioitavien näytteiden pituutta voitaisiin saada mielenkiintoisia tuloksia dynamiikan hallinnan pidempiaikaisista vaikutuksista esimerkiksi musiikin iskevyyden ja elävyyden arviointien suhteen.

Tässä tutkimuksessa käytetty tutkimusmalli tarjoaisi myös mahdollisuuden dynamiikka-alueen kompressoinnin vaikutuksien tarkasteluun datan osalta pakatussa musiikissa (esimerkiksi mp3-pakkausmenetelmä), joka jouduttiin rajaamaan tämän tutkimuksen ulkopuolelle. Suurin osa tänä päivänä kulutetusta musiikista on pakatussa muodossa ja dynamiikka-alueen kompressoinnin seurauksena syntyvät artefaktit voivat käyttäytyä eri tavoin erilaisia pakkausmenetelmiä käytettäessä. Kyseinen tutkimus osoitti, että dynamiikka-alueen kompressointi aiheuttaa muutoksia, jotka ovat havaittavissa ja jotka vaikuttavat kuunteluarviointeihin, joten olisi luontevaa selvittää erilaisten pakkausmenetelmien sekä dynamiikka-alueen laajuuden suhdetta toisiinsa.

## **6.2 Loppusanat**

Tutkimus kykeni vastaamaan asetettuihin kysymyksiin, mutta herätti myös koko joukon uusia. Musiikin dynamiikka-alueen kompressointi on nykyaikaisen musiikkituotannon arkipäivää ja sen käyttö onkin hyvin perusteltua. Teknologian kehittyminen on mahdollistanut

ja tulee mahdollistamaan vielä laadukkaampien äänitteiden tekemisen, kunhan vain pysytään tiettyjen, äänenlaadullisten rajojen sisäpuolella. Yhteisiä pelisääntöjä on kehitteillä, jotka pyrkivät tasapuolistamaan tallennekilpailun. Viime vuosikymmenien aikana ääniteteollisuudessa tapahtunut murros musiikin digitalisoitumisen myötä ja siitä seurannut musiikinkulutustottumusten muutos on vavisuttanut valtarakenteita ja ajanut alalla toimijat osaltaan vaikeaan asemaan ja osaksi väärinkäyttämään teknologian kehittymisen mukanaan tuomia apuvälineitä.

Musiikinkuuntelijat ovat hiljalleen havahtumassa muutokseen ja ovat alkaneet toimia osoittaakseen dynamiikka-alueen olevan tärkeä osa musiikkia. Yhtenä esimerkkinä tästä toiminnasta voidaan pitää masterointi-insinööri Ian Shepherdin ideoimaa, tänä vuonna kolmatta kertaa järjestettävää Dynamic Range Day –tapahtumaa (<http://dynamicrangeday.co.uk/>), joka pyrkii aktiivisella toiminnallaan haastamaan musiikintekijät tuottamaan dynamiikaltaan rikkaampaa musiikkia. Tapahtuma pyrkii omalta osaltaan viestittämään musiikinkuuntelijayhteisön viestin musiikkiteollisuudelle tallenteiden äänenvoimakkuuden kohtuuttomuuksiin nostaneen kilpailun turhuudesta.

Useat ohjelmistopohjaiset musiikkisoittimet, kuten esimerkiksi Applen iTunes –ohjelma on varustettu äänenvoimakkuuden tasaus –toiminnolla (engl. versiossa *soundcheck*), joka tasaa soittimen kappaleiden väliset äänenvoimakkuudet ja joka tekee turhaksi äänenvoimakkuudella kilpailevat tallenteet. Samantapainen järjestelmä on varmasti pian yleistymässä myös fyysisissä soittimissa ja kotistereojärjestelmissä, joka antaa musiikinkuuntelijalle mahdollisuuden valita musiikkinsa dynaaminen laajuus henkilökohtaisten tarpeiden mukaan.

Optimistina ja alan ammattilaisena haluaisin toivoa, että pahin aallonpohja on jo nähty ja musiikillinen perintö, joka tallenteiden muodossa siirtyy jälkipolville, tulisi tulevina vuosina kokemaan arvonnousun. Toivoisin, että teknologinen kehitys pyrittäisiin suuntaamaan yhä vain laadukkaampien ja dynaamisesta rikkaampien tallenteiden tekemiseen, jotka kestäisivät tarkastelua myös useamman vuosikymmenen kuluttua.

## LÄHTEET

- Alluri, V. & Toiviainen, P. (2009). Exploring Perceptual and Acoustical Correlates of Polyphonic Timbre. *Music Perception*. Vol.27(3), s. 223–241.
- Ashby, G., Maddox, T. & Lee, W. (1994). On the dangers of averaging across subjects when using multidimensional scaling or the similarity-choice model. *American Psychological Society*. Vol.5(3), s. 144–150.
- Blessner, B. (1969). Audio Dynamic Range Compression For Minimum Perceived Distortion. *IEEE Transactions On Audio And Electroacoustics*. Vol. 17(1), s. 22–32.
- Blessner, B. & Salter, L-R. (2008). The Unexamined Rewards for Excessive Loudness. 9<sup>th</sup> International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN) 2008.
- Bonebright, T., Miner, N., Goldsmith, T. & Caudell, T. (2005). Data Collection and Analysis Techniques for Evaluating the Perceptual Qualities of Auditory Stimuli. *Transactions on Applied Perception*. Vol.2(4), s. 505–516.
- Buus, S., Fiorentine, M. & Poulsen, T. (1997). Temporal integration of loudness, loudness discrimination, and the form of the loudness function. *Journal of the Acoustical Society of America*. 101(2), s. 669–680.
- Camanero, B. & Moledero, I. (2007). Listening to Music with Headphones: An Assessment of Noise Exposure and Hearing Damage. *Department of Acoustics, Aalborg University*. Tutkimusraportti.
- Campbell, W., Toulson, R. & Paterson, J. (2010). The Effect of Dynamic Range Compression on the Psychoacoustic Quality and Loudness of Commercial Music. 39<sup>th</sup> International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, Inter-Noise 2010.
- Clark, C. (2009). A Visual History of Loudness. [WWW-dokumentti] Saatavissa: <http://media.npr.org/assets/music/news/2009/12/poster2.pdf>.
- Cook, P. (toim.). (1999). *Music, Cognition and Computerized Sound: An Introduction to Psychoacoustics*. 1. painos. Cambridge, MA.: MIT Press, s. 59–60.

- Dillon, H. (1996). Tutorial Compression? Yes, But for Low or High Frequencies, for Low or High Times? *Ear & Hearing*. Vol. 17(4), s. 287–307.
- Dowling, J. & Harwood, D. (1986). *Music Cognition*. 1. painos. San Diego, California: Academic Press Inc., s. 42–53.
- Fletcher, H. & Munson, W. A. (1933). Loudness, Its Definition, Measurement and Calculation. *Journal of the Acoustical Society of America*. Vol. 5, s. 82–108.
- Geringer, J. (1991). Temporal Discrimination of Modulated Intensity in Music Excerpts and Tones. *Journal of Research in Music Education*. Vol. 39(2), s. 113–120.
- Geringer, J. (1995). Continuous Loudness Judgments of Dynamics in Recorded Music Excerpts. *Journal of Research in Music Education*. Vol. 43(1), s. 22–35.
- Geringer, J. & Madsen, C. (1984). Pitch and Tempo Discrimination in Recorded Orchestral Music among Musicians and Nonmusicians. *Journal of Research in Music Education*. Vol. 32(3), s. 195–204.
- Glasberg, B. & Moore, B. (2002). A Model of Loudness Applicable to Time-Varying Sounds. *Journal of the Audio Engineering Society*. Vol. 50(5), s. 331–342.
- Grey, J. (1977). Multidimensional perceptual scaling of musical timbres. *Journal of the Acoustical Society of America*. Vol. 61(5), s. 1270–1277.
- Haack, P. (1975). The Influence of Loudness on the Discrimination of Musical Sound Factors. *Journal of Research in Music Education*. Vol. 23(1), s. 67–77.
- Holt, G. (1993). Sounds like? An Audio Glossary. [WWW-dokumentti] *Stereophile*. July 1993. [Viitattu 27.5.2012]. Saatavissa: <http://www.stereophile.com/reference/50/>.
- Howard, D. & Angus, J. (2007). *Acoustics And Psychoacoustics*. 3. painos. Oxford: Focal Press, s. 17.
- Ilie, G. & Thompson, W. (2006). A Comparison of Acoustic Cues in Music and Speech for Three Dimensions of Affect. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*. Vol. 23(4), s. 319–330.

Jones, S. (2005). The Big Squeeze. [WWW-dokumentti] *Mix*. Vol. 29(13). [Viitattu 27.5.2012]. Saatavissa: [http://mixonline.com/mag/audio\\_big\\_squeeze/](http://mixonline.com/mag/audio_big_squeeze/).

Kananen, J. (2008). Kvantti. Kvantitatiivinen tutkimus alusta loppuun. Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja –sarja. Jyväskylän ammattikorkeakoulu, s. 10–11.

Katz, R. (2007). *Mastering audio: the art and the science*. 2. painos. Amsterdam, Boston: Elsevier/Focal Press. s. 68, 119–126, 167–169, 172.

Kehew, B. & Ryan, K. (2008). *Recording The Beatles. The Studio Equipment and Techniques Used to Create Their Classic Albums*. 2. painos. Houston: Curvender Publishing, s. 132–135, 145.

Kellaris, J, Powell-Mantel, S & Altsech, M. (1996). Decibels, Disposition and Duration: The Impact of Musical loudness and Internal States on Time Perceptions. *Advances in Consumer Research*. Vol. 23, s. 498–503.

Kruskal, J. & Wish, M. (1978). Multidimensional Scaling. *Sage University Paper series on Quantative Applications in the Social Sciences*. Tech. Rep. 07-011. Newbury Park, CA.

Kuhn, T. (1974). Discrimination of Modulated Beat Tempo by Professional Musicians. *Journal of Research in Music Education*. Vol. 22(4), s. 270–277.

Levine, R. (2007). Special Report: The Death of High Fidelity. *Rolling Stone* (27. Joulukuu 2007 - 10. Tammikuu 2008), s. 15–18.

Lund, T. (2006a). Control of Loudness in Digital TV. *Proceedings of National Association of Broadcasters (NAB) 2006 Convention*, s. 57–65.

Lund, T. (2006b). Stop Counting Samples. *Audio Engineering Society Convention Paper*.

Lurssen, G. (2008). The Limits of Compression: A Mastering Engineer's Take on Making the Most of Dynamic Range. [WWW-dokumentti] *Mix*. Vol 32(12). [Viitattu 27.5.2012]. Saatavissa: <http://mixonline.com/recording/mastering/essay-limits-compression/index1.html/>.

Milner, G. (2009). *Perfecting Sound Forever: The Story of Recorded Music*. Lontoo: Granta Publications, s. 34–36, 262.

Moore, B. (2004). *An Introduction to the Psychology of Hearing*. 5. painos. London: Elsevier Academic Press Inc, s. 138–139, 158–159.

Moore, B., Glasberg, B. & Stone, M. (2003). Why Are Commercials so Loud? – Perception and Modeling of the Loudness of Amplitude-Compressed Speech. *Journal of The Audio Engineering Society*. Vol. 51(12), s. 1123–1132.

Neuman, A., Bakke, M., Mackersie, C., Hellman, S. & Levitt, H. (1998). The Effect of Compression Ratio and Release Time on the Categorical Rating of Sound Quality. *Journal of the Audio Engineering Society*. Vol. 103(5), s. 2273–2281.

Nielsen, S. & Lund, T. (1999). Level Control in Digital Mastering. *Audio Engineering Society Convention Paper n:o 5251*.

Nielsen, S. & Lund, T. (2000). 0dBFS+ Levels in Digital Mastering. *Audio Engineering Society Convention Paper n:o 5019*.

Nielsen, S. & Lund, T. (2003). Overload in Signal Conversion. *Audio Engineering Society Convention Paper*.

Owsinski, B. (2007). *Mastering Engineer's Handbook: The Audio Mastering Handbook*. 2. painos. Course Technology. E-kirja, s. 4–5, 23–24, 38–40.

Pohlmann, K. (1992). *The Compact Disc Handbook*. 2. painos. New York: Oxford University Press, s. 8–22.

Rumsey, F. (2008). If it's loud does that mean it's bad. *Journal of the Audio Engineering Society*. Vol. 56(6), s. 493–498.

Seashore, C. (1967). *Psychology of Music*. 2. painos. New York: Dover Publications Inc., s. 84–85, 88–89.

Skovenborg, E. & Nielsen, S. (2004). Evaluation of Different Loudness Models with Music and Speech Material. *Audio Engineering Society Convention Paper*.

Speer, B. (2001). What Happened to Dynamic Range? [WWW-dokumentti] CD Mastering Services. [Viitattu 27.5.2012]. Saatavissa:

<http://www.cdmasteringservices.com/dynamicrange.htm>.

Stone, B., Moore, B., Füllgrabe, C. & Hinton, A. (2009). Multichannel Fast-Acting Dynamic Range Compression Hinders Performance by Young, Normal-Hearing Listeners in a Two-Talker Separation Task. *Journal of the Audio Engineering Society*. Vol. 57(7/8), s. 532–546.

Susini, P., McAdams, S. & Winsberg, S. (1999). A Multidimensional Technique for Sound Quality Assessment. *Acta Acustica*. Vol. 85, s. 650–656.

Tannaka, Y. & Koshikawa, T. (1989). Correlations between sound field characteristics and subjective ratings on reproduced music sound quality. *J. Acoustical Society of America*. Vol. 86(2), s. 603–620.

Todd, N. & Cody, F. (2000). Vestibular Responses to Loud Dance Music: A Physiological Basis of the "Rock And Roll Threshold"? *Journal of The Audio Engineering Society*. Vol 107(1), s. 496–500.

Vickers, E. (2010). The Loudness War: Background, Speculation and Recommendations. *Audio Engineering Society Convention Paper n:o 8175*.

Vickers, E. (2011). The Loudness War: Do Louder, Hypercompressed Recordings Sell Better?. *Journal of the Audio Engineering Society*. Vol. 59(5), s. 346–351.

Wagenaars, W., Houtsma, A. & van Lieshout, R. (1986). Subjective Evaluation of Dynamic Compression in Music. *Journal of Audio Engineering Society*, Vol. 34(1), s. 10–18.

Wang, C. (1983). Discrimination of Modulated Music Tempo by Music Majors. *Journal of Research in Music Education*. Vol. 31(1), s. 49–55.

White, P. (1997). Compressors. [WWW-dokumentti] *Sound On Sound*. April. [Viitattu 27.5.2012]. Saatavissa:

[http://www.soundonsound.com/sos/1997\\_articles/apr97/compressors.html/](http://www.soundonsound.com/sos/1997_articles/apr97/compressors.html/).

White, P. (2000). Advanced Compression Techniques, Part 1. [WWW-dokumentti] *Sound On Sound*. December. [Viitattu 27.5.2012]. Saatavissa:

<http://www.soundonsound.com/sos/dec00/articles/adcompression.htm/>.

White, P. (2001). Advanced Compression Techniques, Part 2. [WWW-dokumentti] *Sound On Sound*. January. [Viitattu 27.5.2012]. Saatavissa:

<http://www.soundonsound.com/sos/jan01/articles/advanced.asp/>.



Yost, W. (1985). *Fundamentals of Hearing: An Introduction*. 2. painos. New York: Holt, Rinehart & Winston, s. 131–133.

Zak, A. (2001). *Poetics of Rock Composition: cutting tracks, making records*. University of California Press. E-kirja, s. 122–127.

## LIITE 1

### Dendrogram using Average Linkage (Between Groups)

