

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Viestinnän koulutusohjelma

Tuomas Rantala

ÄÄNI SYVYYDESSÄ JA 3D-ELOKUVAN HAASTE ÄÄNISUUNNIT-  
TELULLE

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2013



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Toukokuu 2013**  
**Viestinnän koulutusohjelma**

Länsikatu 15  
80110 JOENSUU  
p. 013 260 6906

Tekijä  
Tuomas Rantala

Ääni syvyydessä ja 3D-elokuvan haaste äänisuunnittelulle

**Tiivistelmä**

Opinnäytetyö käsittelee kolmiulotteisen elokuvan äänisuunnittelua, sen mahdollisia kehitysaskeleita ja siihen läheisesti liittyviä elokuva- ja äänikerronnallisia seikkoja. Työssä eritellään äänentoistotekniikoita ja pohditaan niiden potentiaalia elokuvailmaisussa, elokuvantekoprosessissa ja elokuvateatterissa.

Lähtökohtia ovat kolmiulotteisen elokuvan kasvanut suosio, kolmiulotteisen tekniikan mahdollistama tarkempi syvyyksilmaisuus ja elokuvan äänisuunnittelun ja äänentoiston kehittäminen. Opinnäytetyö koostuu kolmesta kokonaisuudesta, jotka kukin ovat sidoksissa kolmiulotteisen elokuvan äänisuunnitteluun.

Opinnäytetyön tavoitteena on nostaa esille kolmiulotteisen elokuvan äänisuunnittelun tulevaisuuden kannalta oleellisia asioita. Samalla se pyrkii herättämään ajatuksia elokuvaäänien potentiaalista ja tuomaan esille äänisuunnittelua koskevia uusia näkökulmia.

Kieli  
suomi

Sivuja 41

Asiasanat  
äänisuunnittelu, kolmiulotteisuus, äänitekniikka, elokuva, lokalisaatio, immersio



**THESIS**  
**May 2013**  
**Degree Programme in Communication**

Länsikatu 15  
FI 80110 JOENSUU  
FINLAND  
tel. +358 13 260 6906

Author  
Tuomas Rantala

Sound in Depth and the Challenge of Sound Design Set by 3D-Films

Abstract

This thesis discusses the sound design development of 3D-films and related issues of sound and movie narration. It analyses different sound reproduction techniques focusing on their potential in the movie production, distribution and narration.

This study is specifically concerned with the expression and perception of sound in depth and the immersiveness of a three-dimensional sound field. Its basis lies on the increased popularity of 3D-films as well as the visually improved illusion of depth. This thesis consists of three major parts that are all linked to the sound design of 3D-films.

The purpose of this study is to invite reflection on the future of film sound design and point out some of its essential aspects. Taking the interaction of narrative and technique into account it also aims to provide new perspectives on the subject matter.

Language  
Finnish

Pages 41

Keywords

sound design, three-dimensional, audio technology, film, sound localization, immersion

# Sisältö

1	Johdanto	5
2	Ääni kolmiulotteisessa avaruudessa	7
2.1	Perusteet ja tieteet	7
2.2	X-akseli	8
2.3	Y-akseli	9
2.4	Z-akseli	10
2.5	Tutkimukset ja johtopäätökset	12
3	Elokuvan tekniikka immersioon tukena	14
3.1	Immersion kaksi kategoriaa	14
3.2	Äänisuunnittelu osana elokuvakerronnan ykseyttä	17
4	Elokuvaäänen taustaa	19
5	Kolmiulotteiset äänijärjestelmät	20
5.1	Binauraalinen ääni	20
5.1.1	Periaate	20
5.1.2	Binauraalinen ääni ja 3D-elokuva	21
5.1.3	Digitaalinen mallinnus	23
5.1.4	Binauraalinen ääni ja immersio	24
5.2	Pure Stereo 3D Audio	24
5.2.1	Periaate	24
5.2.2	Ylikuuluminen ja sen kompensointi	25
5.2.3	Kuuntelualue ja akustinen kalibrointi	26
5.2.4	Pure Stereo 3D Audio ja 3D-elokuva	27
5.3	Surround-järjestelmät	28
5.3.1	Auro 3D	28
5.3.2	Dolby Atmos	29
5.3.3	Kanavapohjainen vs. objektipohjainen	30
5.4	Äänikenttäsynteesi	32
5.4.1	Periaate	32
5.4.2	Käytännön sovellukset	33
5.4.3	Käytännön ongelmat	34
5.4.4	Äänikenttäsynteesi ja 3D-elokuva	35
6	Pohdinta	36
	Lähteet	40

## 1 Johdanto

Elokuvamaailma on viime vuosina elänyt stereoskooppisen eli kolmiulotteisen (3D) elokuvan uuden tulemisen ja läpimurron aikaa. James Cameron nosti 3D-tekniikan nykyiseen kukoistukseensa lipunmyyntiennätykset rikkoneella elokuvallaan Avatar. Jo 1900-luvun alussa stereoskooppisen valokuvauksen innoittamana keksitty kolmiulotteinen elokuva tuntuu tänä päivänä olevan suositumpi kuin koskaan. Merkittävä osa suuren budjetin kassamagneeteista on nähtävissä 3D-versiona tekniikalla, joka ilmestymisensä alkuaikoina ja pitkään sen jälkeenkin oli liian kallis ja yhteensopimaton suurimmalle osalle elokuvateattereista. Teknisen laitteiston kehitys, elokuvan digitoituminen sekä ennen kaikkea suurten elokuvayhtiöiden myötämielisyys 3D-elokuvia – eli käytännössä lisääntyviä lipputuloja – kohtaan ovat mahdollistaneet niin kutsutun kolmiulotteisen renessanssin. Kiivaan väittelyn kohde ja kokonaan oma keskustelunaiheensa on se, onko kolmiulotteisuus osa elokuvan parempaa tulevaisuutta.

Elokuvan ääniraita on kulkenut melko itsenäisen tien 1920-luvulla tapahtuneesta läpimurrostaan aina nykypäivään vaikuttaen alkuvaiheessaan jopa huomattavasti elokuvan kuvakerrontaan, mutta muodostaen lopulta sen kanssa usein hyvin palkitsevan ja harmonisen vuorovaikutussuhteen. Liikkuvan kuvan kehitys oli elokuvan historian alkuhämärissä äänentoistotekniikan kehitystä nopeampaa. Nykyään mykkäfilmiksi kutsuttu elokuva oli ainoa mahdollinen yleisön kuviteltavissa oleva elokuvan muoto. Kun äänitekniikka lopulta 1900-luvun alussa otti todelliset kehitysaskeleensa kohti äänielokuvaa, alkoi elokuvaäänen ja samalla tietysti koko äänitekniikan nopea kehitys kohti nykypäivän monikanavaisia äänijärjestelmiä. Nämä äänitekniset kehitysaskeleet olivat itsenäisiä, sillä ne tapahtuivat riippumatta visuaalisen kerronnan ja tekniikan kehityksestä ja olivat lähtöisin nimenomaan ääniteknisistä innovaatioista eivätkä niinkään tarpeesta vastata kuvan kehitykseen.

Nyt tilanne on kuitenkin toinen. 3D-elokuva on tuonut mukanaan voimakkaasti vahvistuneen syvyysvaikutelman ja tietyllä tapaa täysin uuden tavan katsoa elokuvia. Pyrkimys immerssiiviseen eli katsojan vangitsevaan elokuvakokemuk-

seen on voimakas ja paine elokuvan ääniraidan uudistamiseen on juuri nyt kova. Termiä 3D-ääni on historian saatossa käytetty useissa eri yhteyksissä. Vasta nyt konkreettisia todellista kolmiulotteista äänikenttää ilmentäviä vaihtoehtoja on ilmestynyt ja elokuvateatteritkin alkavat ymmärtää äänen potentiaalin yleisön houkuttelemisessa näytöksiin. Fakta on, että elokuvateatterit käyvät jatkuvaa taistelua katsojista kehittyvän kotiteatterin kanssa.

Opinnäytetyössäni käyn läpi kolmiulotteisen elokuvan äänisuunnitteluun ja äänentoistoon liittyviä seikkoja ja selvitän viimeisimpiä kehitysaskelia elokuvaäänentekniikällä. 3D-ääni on terminä hyvin häilyvä ja tarkentamaton ja pyrin siksi välttämään sen käyttöä tässä opinnäytetyössä. Käytännössä etsin kuitenkin vastinetta 3D-kuvalle. Kolmiulotteinen tekniikka tuo elokuvaan tavallista tarkemman syvyysilmaisun ja –havainnoinnin. Objektit valkokankaalla tuntuivat ensimmäistä kertaa liikkuvan myös kauas kankaan ja elokuvateatterin tuolle puolen tai aivan likelle katsojaa niin sanotusti irti kankaasta. Karkeasti yksinkertaistettuna 3D on entistä tarkempaa syvyyden - eli kolmannen ulottuvuuden - illuusion havainnointia. Myös itse keskityn tähän syvyyden ulottuvuuteen ja etsin sitä parhaiten ilmentävää äänentoistotekniikkaa. Pidän myös jatkuvasti mielessäni elokuvateatterin, elokuvantekoprosessin ja elokuvakokemuksen asettamat käytännön rajoitukset ja peilaan löytämiäni ratkaisuja niitä vasten.

Ennen uusien teknisten järjestelmien esittelyä ja käsittelyä kirjoitan suuntakuulosta ja ylipäättään siitä, mitkä tekijät mahdollistavat äänen paikallistamisen kolmiulotteisessa avaruudessa. Kuulemisen ja äänen lokalisoinnin perusteiden tunteminen on eittämättä tärkeää ammattimaiselle äänisuunnittelijalle. Esittelen myös muutamia tutkimuksia, jotka ovat sidoksissa sekä kolmiulotteiseen kuulemiseen että audiovisuaaliseen ilmaisuun. En halua unohtaa myöskään elokuvan perustaa tarinoita kertovana mediumina ja käyn immersion kautta läpi teknisten aspektien ja tarinan vuorovaikutussuhdetta. Immersio on myös siitä ajankohtainen käsite, että moni nyt tuloaan tekevä äänentoistojärjestelmä lupaa entistä immersioisempää elokuva- tai kuuntelukokemusta. Lopuksi selvitän lupaavia tai muuten vain huomionarvoisia järjestelmiä, joilla saattaisi olla elokuvaäänelle tulevaisuudessa jotain annettavaa.

Lähteinä olen käyttänyt kirjallisuutta elokuvakerronnasta ja äänisuunnittelusta sekä verkkomateriaalia, johon kuuluu muun muassa teknisiä selostuksia, tutkimuksia ja artikkeleita. Kaiken perusta on oma kiinnostukseni elokuvaääntä kohtaan ja haluni toimia tulevaisuudessa elokuva- ja tv-teollisuuden parissa. Opin- näytetyön tavoitteena on paitsi nostaa esille kolmiulotteisen elokuvan äänisuunnittelun tulevaisuuden kannalta oleellisia asioita myös toimia innostuksena tai lähtökohtana tarkemmalle ja rajatummalle tutkimukselle aiheesta esimerkiksi tulevien opinnäytetöiden muodossa.

## **2 Ääni kolmiulotteisessa avaruudessa**

### **2.1 Perusteet ja tieteet**

On ehkäpä liioiteltua väittää, että kolmiulotteinen elokuva olisi tuonut elokuva- kokemukseen täysin uuden ulottuvuuden. Olemmehan aina kyenneet havaitsemaan syvyyseroja ja erottamaan etäisyyksiä eri objektien välillä kaksiulottei- selle kankaalle heijastetussa kuvassa. Kolmiulotteinen elokuva on kuitenkin vahvistanut huomattavasti tätä syvyystvaikutelmaa ja hämärtänyt valkokankaan läsnäoloa tuomalla objekteja sen ulkopuolelle. Pohjimmiltaan kyse on illuusios- ta, jota 3D-tekniikka yksinkertaisesti vain pyrkii vahvistamaan. Näin voi sanoa, että elokuvan ääni ei periaatteeltaan eroa paljon sen visuaalisesta vastineesta. Tiettyyn fyysiseen sijaintiin asetettujen kaiuttimien avulla luodaan illuusio kuva- alalla tai sen ulkopuolella elävästä äänestä. Ääni on olemukseltaan sellaista, että sitä on akustisten vihjeiden avulla jopa suhteellisen helppoa sijoittaa kolmi- ulotteisessa kentässä. Jopa yhdestä monokaiuttimesta toistettava ääni voi kuu- lostaa joko läheiseltä tai kaukaiselta riippumatta kaiuttimen fyysisestä sijainnis- ta. Kaksi kaiutinta tuo mukanaan sivuttaissuunnassa liikkuvan äänen, jonka voi vaivattomasti sijoittaa mihin tahansa kahden kaiuttimen väliin. Surround- järjestelmä puolestaan antoi mahdollisuuden liikutella ääniä katsojan ympärillä ja uusimmat järjestelmät sijoittavat ääniä myös eri korkeuksille. Kaikki tämä pe- rustuu paitsi kaiutinmäärän lisäämiseen myös ihmisen kykyyn havainnoida ja paikallistaa äänilähteitä.

Ihmisen kuulemista ja kuullun tulkitsemista tutkittaessa tiukasti tieteellisellä pohjalla operoiva kuulontutkimus ja äänen mekaaniseen käyttäytymiseen pohjautuva akustiikka ovat saaneet seurakseen psykoakustiikan tutkimuksen. Siinä missä akustiikan tieteenala tutkii äänen käyttäytymistä tietyssä fysikaalisessa kontekstissa, psykoakustiikka puolestaan keskittyy havaitsemiseen, eli siihen kuinka ihminen havainnoi ja käsittää ääntä (Howard & Angus 1996, ix). Psykoakustiikka on alati kehittyvä tieteenala ja siihen sidoksissa oleva aivotutkimus on vasta viime vuosikymmeninä noussut keskeiseksi menetelmäksi ihmisen psyykeen tutkimuksessa (Alanen, Hyyppä, Järvillehto & Sintonen 2003, 243). Tästä syystä sen tutkimustuloksia on hankala ilmaista ehdottomasti ja tarkassa matemaattisessa muodossa. Suuri osa psykoakustiikan termistöstä onkin hyvin epä-tieteellistä, kuten esimerkiksi äänenväriä kuvailevat adjektiivit rikas, avoin, tumma tai kuiva. Psykoakustiikka antaa joka tapauksessa tärkeää informaatiota ihmisen kyvystä tulkita ja antaa merkitystä erilaisille äänille ja niissä tapahtuville muutoksille.

Ääni esiintyy äänentoistojärjestelmän läpi toistettuna siis myös kolmiulotteisena, niin sanotusti kolmella akselilla. Käytän näistä akseleista nimityksiä x-, y- ja z-akseli sylinterikoordinaatiston mukaan. Tällaisessa kolmiulotteisessa koordinaatistossa X-akseli vastaa horisontaalisesti eli leveyssuunnassa liikkuvaa ääntä ja y-akseli vastaavasti vertikaalisesti eli korkeussuunnassa liikkuvaa ääntä. Z-akseli puolestaan vastaa syvyyttä eli välimatkaa. Kun tutkitaan ihmisen kykyä paikallistaa tässä kolmiulotteisessa avaruudessa liikkuvia ja sijaitsevia ääniä, keskeisimpiä termejä ovat äänen suunta ja lokalisointi, suuntakuulo sekä suuntakuulon vihjeet.

## **2.2 X-akseli**

Ihmiselle olennaista äänen suunnan täsmällisessä havaitsemisessa x-akselilla on kaksikorvaisuus. Koska korvat sijaitsevat tietyn etäisyyden päässä toisistaan ja pään molemmiin puolin, tietystä suunnasta saapuvaa ääniä saavuttaa toisen korvan aikaisemmin ja eri voimakkuudella, kuin toisen korvan. Suuntakuulon



perusvihjeitä ovat siis korvien välinen aikaero (interaural time difference / ITD) ja korvien välinen tasoero (interaural level difference / ILD). (Howard & Angus 1996, 96-101.) Se minkä perusvihjeen mukaisesti ihminen äänen paikallistaa, riippuu äänen taajuudesta. Korvien sijainnista ja pään mitoista johtuvat saapuvan ääniaallon vaihe-erot aiheuttavat ITD:n. Nämä vaihe-erot ovat tarkasti havaittavissa matalilla taajuuksilla noin 2 kHz:iin saakka. Kun ITD:n havaittavuus alkaa muuttua epämääräiseksi turvautuu ihminen korvien väliseen tasoeroon. Tämä ero äänen voimakkuudessa syntyy ihmisen pään toimiessa eräänlaisena vaimentimena, jonka vaimennus on noin 10–20 desibelin luokkaa. ILD on olemassa koko taajuuskaistalla, mutta astuu voimaan siis vasta ITD:n ollessa havaittavuudeltaan epämääräinen. (Riederer & Huopaniemi 1997, 2.)

Elokuvaäänessä ja musiikissa näitä suuntakuulon vihjeitä on jo pitkään käytetty äänen sijoittamisessa x-akselilla. Ennen kaikkea ILD:tä on hyödynnetty siten, että sama ääni toistetaan voimakkaammin toisesta kaiuttimesta, jolloin äänilähde näyttäisi siirtyvän lähemmäs kyseistä kaiutinta. Tätä kutsutaan panoroinniksi. Kuten perinteisen kaksikulotteisen, myös kolmiulotteisen elokuvan äänisuunnittelussa on tärkeää harkiten ja huolella sijoitella ääniä x-akselilla. Korostuneen visuaalisen tilavaikutelman takia äänien sijoitteluun on kolmiulotteisessa elokuvassa syytä kiinnittää jopa entistä enemmän huomiota. Väärin tai huolimattomasti sijoitettu ääni saattaa pahasti häiritä katselukokemusta ja hankaloittaa elokuvan tarinaan uppoutumista. Siksi esimerkiksi dialogia hyvin harvoin ainaakaan voimakkaasti panoroidaan, vaikka äänilähde eli puhuja liikkuisikin. Ennen kaikkea leikkauskohdissa, joissa visuaalinen äänilähde hetkessä siirtyy esimerkiksi keskeltä laitaan, nopea äänen panorointi saattaisi kuulostaa omituiselta.

### 2.3 Y-akseli

Siirryttäessä havainnoimaan ääniä y-akselilla eli korkeussuunnassa kaksikorvaisuuden merkitys vähenee ja korvan ja ennen kaikkea korvalehden muotojen merkitys lisääntyy. Pystysuunnassa liikkuvan äänen sijainti sivuttaisakselilla on ITD:tä ja ILD:tä hyväksikäyttäen luonnollisesti mahdollista paikantaa, mutta sen sijainnin selvittäminen korkeusakselilla vaatii korvalehden muotojen hyödyntä-

mistä. Saapuva ääni heijastuu korvalehden kaarien kautta kuuloelimiin ja nämä heijastukset sekä niiden muutokset yhdistettynä suoraan saapuvaan ääneen ovat oleellisia äänen paikallistamisessa y-akselilla. On myös huomioitavaa, että tämä suoran äänen ja heijastusten kombinaatio toimii jokaisen ihmisen kohdalla yksilöllisesti. (Riederer & Huopaniemi 1997, 2.) Siksi se on erittäin hankalasti mallinnettava yleisellä tasolla toimivaksi. Korvalehden muotojen vaikutusten eliminoiminen esimerkiksi korvan eteen asetettavalla putkella, heikentää huomattavasti äänen paikallistamista y-akselilla. Luonnollisessa kuuntelutilanteessa ihminen myös tekee päällään jatkuvasti pieniä liikkeitä paikallistaakseen äänen tarkemmin ja nopeammin. (Bear, Connors & Paradiso 1996, 371-372.)

Korkeusakselille sijoiteltavat äänet ja niiden toistaminen ovat vielä olleet äänisuunnittelussa ongelmallisia. Jotta kuuntelija kykenisi erottelemaan ääniä y-akselilla, olisi äänilähteiden sijaittava fyysisesti eri korkeuksilla. Perinteisessä kahden kaiuttimen stereotoistossa kaiuttimet sijaitsevat samalla tasolla vertikaalisesti, joten tällaisia fyysisiä eroja ei ole. Myös kappaleessa 5.1 käsittelemälläni binauraalisella äänitystekniikalla yleisellä tasolla toimiva korkeussuunnassa liikkuva ääni on hankala toteuttaa muun muassa korvan muotojen yksilöllisyyden vuoksi. Lisäämällä perinteiseen 5.1-surround-järjestelmään erinäisen määrän kaiuttimia fyysisesti eri korkeustasoille Dolby Laboratories ja Barco –nimiset yritykset ovat tehneet harppauksen kohti uudenlaista myös y-akselilla toistettavaa elokuvaääntä.

## **2.4 Z-akseli**

Äänen sijainti z-akselilla eli syvyydessä tarkoittaa käytännössä välimatkaa ja on kolmesta ulottuvuudesta tulevaisuuden audiovisuaalisesta kokemuksesta puhuttaessa ehkä jopa tärkein yksittäinen kehityskohde. Se on näistä kuitenkin selkeästi vähiten tutkittu (Moore & King 1999). Havainnoidessaan äänen välimatkaa ihminen käyttää hyväkseen hyvinkin monimutkaisia perusvihjeitä ja aivan täysin ei tätä aluetta ihmisen suuntakuulon tutkimuksesta vielä tunnetakaan (Kearney, Gorzel, Boland & Rice 2010). Yksi ilmeisimmistä ja yksinkertaisimmista muuttujista äänen välimatkan arvioinnissa on äänen intensiteetti eli voi-

makkuus. Mitä kauempana äänilähde sijaitsee, sitä pienempi sen intensiteetti on. Välimatkan kaksinkertaistuessaa äänen voimakkuus pienenee kuudella desibelillä. Pelkästään voimakkuus äänen etäisyyttä arvioitaessa on kuitenkin huono mittari, sillä vaikka mittaisimme äänen tason pisteessä, jossa se saavuttaa kuuntelijan, emme välttämättä voi tietää äänilähteen todellista alkuperäistä voimakkuutta. Täytyy muistaa, että desibeli ei ole itsessään fyysinen suure, vaan tarkoittaa eroa kahden samoissa yksiköissä mitatun arvon välillä. (Laaksonen 2006, 24.)

Toinen intensiteettiä huomattavasti monisyisempi, mutta sen kanssa operoiva muuttuja äänen välimatkaa arvioidessa on suhde suoran äänen ja heijastusten välillä. Heijastuksia syntyy, kun ääniaallot kohtaavat edetessään heijastavia pintoja, kuten seiniä tai lattiaa. Näin niiden äänenväri, matka-aika ja myös intensiteetti muuttuu. Ne saapuvat eri aikaan ja värityneinä kuulijan korviin verrattuna äänilähteestä suoraan edenneisiin ääniaaltoihin. Tätä kutsutaan usein yksinkertaisesti kaiuksi (reverb), joskin ensiheijastukset (early reflections) lienevät alalla tässä tapauksessa yleisemmin käytetty termi. Tämä suoran äänen ja heijastusten suhde on yksi tärkeimmistä vihjeistä arvioitaessa äänen välimatkaa. Etenkin runsaasti heijastavia pintoja sisältävissä tiloissa äänilähde on jopa melko tarkasti paikannettavissa z-akselilla heijastusinformaation avulla. (Loy 2006, 194) Tällaisessa tilassa ITD:n ja ILD:n hahmottaminen usein heikkenee eli äänen paikallistaminen sivuttaissuunnassa hankaloituu (Moore & King 1999).

Vapaassa kentässä tai jopa täysin kaiuttomassa tilassa edellä mainittu heijastusinformaatio on vähäistä tai sitä ei ole lainkaan saatavilla. Tällöin on olemassa vielä yksi käytettävissä oleva vihje. Matalat taajuudet sisältävät suuremman määrän energiaa, kuin korkeat taajuudet ja etenevät siksi ilmassa pidemmälle. Kauempaa kantautuva ääni sisältää siis vähemmän korkeita taajuuksia, kuin lähempänä sijaitseva. (Loy 2006, 194.) Esimerkiksi hyvin kaukana tapahtuvasta räjähdyksestä saatamme kuulla vain matalan jlyyn tai poispäin nopeasti liikkuvan moottoripyörän ääni ei pelkästään vaimene, vaan myös muuttaa väriään korviamme ärsyttävän korkeataajuuksisen pärinän vaimentuessa matalaa murinaa nopeammin. Kun käytettävissämme on sekä äänen intensiteetin muutokset,

suoran äänen ja heijastusten suhde sekä korkeiden taajuuksien väheneminen, on äänilähteen etäisyys jo huomattavasti tarkemmin arvioitavissa.

Akustiikkaan ennen kaikkea äänitysvaiheessa ja miksei myös toistovaiheessa kuuluu lähiaänivaikutus. Se syntyy, kun suuntaavalla mikrofoniin läheltä äänitetyn äänimateriaalin alin bassoaalue korostuu hyvinkin voimakkaasti. (Laaksonen 2006, 243.) Se saattaa tietyissä tilanteissa olla ei-haluttu ilmiö, jolloin se eliminoidaan muuttamalla äänilähteen etäisyyttä suhteessa mikrofoniin. Joskus lähiaänivaikutusta hyödyntämällä halutaan kuitenkin luoda efekti, jossa ääni kuulostaa todellakin hyvin läheiseltä.

## 2.5 Tutkimukset ja johtopäätökset

Z-akselin parempi toistettavuus äänellisesti ja sen potentiaalinen täysi hyödyntäminen ovat mielestäni avainasioita tulevaisuuden elokuvaäänisuunnittelussa ja äänentoistossa. Edellä mainittuja perusvihjeitä on menestyksellisesti käytetty esimerkiksi kaukaa kuuluvissa äänissä (räjähdykset, liikenne) ja huonekaikujen suunnittelussa. Nyt kuitenkin 3D-elokuva on esitellyt mahdollisuuden tuoda objekteja ulos valkokankaalta aivan likelle katsojaa ja äänisuunnittelussa olisi taruttava tähän ärsyккеeseen.

Laaksonen kirjoittaa teoksessaan *Äänityön kivijalka* (2006, 262), että ”ääni kuulostaa läheiseltä, kun se on muihin ääniin verraten voimakas”. Kyseessä on siis jo aikaisemmin käsitelty äänen intensiteetin väheneminen välimatkan kasvaessa. Tämän yksinkertaisen lausahduksen muotoilussa on mielestäni kuitenkin yksi oivaltava huomio myös elokuvaääntä silmällä pitäen. Lähimpänä oleva ääni on voimakas ja taajuusalueeltaan laaja suhteessa muihin ääniin. Kun nykypäivän elokuvaäänisuunnittelussa on kuitenkin saavutettu maksimaalinen taso sekä intensiteetissä (teollisuuden säätämät rajat äänenvoimakkuudessa), että äänen rikkaudessa (laaja taajuusalue), on vaikea tehdä vielä jotain enemmän. Ehkäpä nyt onkin aika tehdä hieman vähemmän. Elokuvan äänisuunnittelu prosessina on täynnä pieniä hienovaraisia ratkaisuja ja harkintaa. Kaikkia ääniä ei suinkaan vain heitellä päällekkäin ja samalla voimakkuudella, vaikka se helppoa

nykytekniikalla olisikin. Äänisuunnittelijan on tärkeää huomioida, mikä on tärkeää missäkin kohdassa elokuvaa, ja mitkä elementit tukevat toisiaan niin kuvallisesti, kuin äänellisestikin.

Jo lähes vuosisadan elokuva on ollut audiovisuaalinen kokemus. Siksi myös syvyysvaikutelmaa havainnoidessa on otettava huomioon auditiivisen ja visuaalisen ärsykkeen yhdistelmä. Sonia Wilkie ja Tony Stockman Queen Maryn yliopistosta ovat eri elokuvakohtausten avulla tutkineet ihmisen reaktiota ruudulla tai kankaalla lähestyvään objektiin (looming object). Heidän tutkimuksessaan objekti oli joko audiovisuaalinen (auditory-visual) tai pelkästään joko auditiivinen tai visuaalinen. Kohtaukset oli poimittu suuren budjetin elokuvista, joiden äänisuunnittelussa oli käytetty aikaisemmin mainittuja perusvihjeitä eli muutoksia intensiteetissä, taajuusalueessa sekä heijastusten ja suoran äänen suhteessa. Tutkimukseen osallistuvien oli määrä arvioida lähestyvän objektin kosketusaika (contact time) eli se, koska se on lähimmillään katsojaa. Jokaiselle kohtaukselle oli suoritettu liikkeentunnistus ja määritelty objektin huippu (peak), eli koska se on kuvallisesti suurimmillaan ja siten lähimmillään katsojaa. Tutkimuksen tulokset osoittavat muun muassa sen, että auditiivisen ärsykkeen lisääminen visuaaliseen ärsykkeeseen saa ihmisessä aikaan nopeamman reaktion lähestyvästä objektista. Verrattuna pelkästään visuaaliseen ärsykkeeseen audiovisuaalinen ärsyke aiheutti huomattavasti enemmän huipun alittavia kosketusaikoja eli osallistujat arvioivat objektin olevan lähempänä, kuin se liikkeentunnistuksen mukaan oli. (Wilkins & Stockman 2012, 611-617.)

Turner, Berry ja Holliman Durhamin yliopistosta ovat myös tutkineet auditiivisen ärsykkeen vaikutusta ihmisen audiovisuaaliseen syvyshavainnointiin. Tutkimukseen osallistuville näytettiin visuaalisena ärsykkeenä kolmiulotteiselta tv-ruudulta kahdesti sama stereoskooppinen kuva puhelimesta. Auditiivisena ärsykkeenä toimi puhelimen soittoääni, joka toistettiin kaiuttimeista A tai kaiuttimesta B. Kaiuttimet oli sijoitettu tv-ruudun eteen 25 senttimetrin päähän toisistaan z-akselilla ja peitetty mustalla kankaalla. Tutkijat olivat todistaneet aikaisemmin ihmisen kykenevän havaitsemaan 25 senttimetrin eron äänen sijainnissa z-akselilla. Osallistujat istuivat metrin päässä tv-ruudusta ja heidän oli kahden katselukerran jälkeen kerrottava, kummalla kerralla puhelin oli lähempänä.

Tutkimuksen tulokset osoittavat selkeästi, että pienelläkin äänellisellä erolla ihmisen visuaalista syvyyshavainnointia pystytään ohjailemaan. Kun puhelimen soittoaäni toistettiin lähemmästä kaiuttimesta, osallistujat havainnoivat puhelimen olevan lähempänä, vaikka kuva oli molemmilla katselukerroilla sama. (Turner, Berry & Holliman 2011.)

Molemmat tutkimukset osoittavat, että äänellä on potentiaalia sekä syvyysvaikutelman että koko elokuvakokemuksen vahvistamisessa. Vaikka kumpikin tutkimuksista kehottaa edelleen lisätutkimuksiin, ovat niiden tulokset äänisuunnittelijan kannalta rohkaisevia. Samalla on tärkeää huomioida, että audiovisuaalinen suhde on vuorovaikutteinen ja usein myös visuaalisella ärsykkeellä voidaan ohjalla audiitivista havainnointia. Teoksessaan *Film, A Sound Art* Michel Chion (2009, 247-249) kirjoittaa spatiaalisesta magnetoitumisesta. Tämä liittyy paitsi äänen suunnan havaitsemiseen, myös yleisemmin audiitiivisen ja visuaalisen ärsykkeen yhdessä luomaan ilmiöön, jossa yhdestä fyysisestä pisteestä toistettava ääni tuntuu visuaalisesta ärsykkeestä riippuen saapuvan useista eri pisteistä. Esimerkiksi useiden henkilöiden välillä käytävä keskikaiuttimesta toistettava dialogi tuntuu aivan luonnollisesti vaihtelevan sijaintiaan aina puhujan vaihtuessa tai puhujan kävellessä kuvan laidasta toiseen sen sijaan, että havaitsisimme sen aina ja vain tulevan keskeltä kuvaa. Kyseessä on psykoakustinen ilmiö, johon koko äänielokuvan uskottavuus perustuu. Chionin mukaan elokuva ei sisällä autonomista audiitivista kenttää, vaan sen todelliset ja kuvitteelliset ulottuvuudet ovat aina audiovisuaalisen vuorovaikutuksen seurausta.

### **3 Elokuvan tekniikka immersion tukena**

#### **3.1 Immersion kaksi kategoriaa**

Vuonna 1877 suosittu ja Yhdysvalloissa vanhin edelleen ilmestynvä aikakauslehti *Scientific American* kirjoitti (vapaa suomennos): ”Jo nykyään nerokkaat optiset keksinnöt mahdollistavat ihmisiä esittävien stereoskooppisten kuvien näyttämisen kankaalla suurelle yleisölle. Kun siihen lisätään puhetta toistava levysoitin

jäljentämään kuvassa esiintyvien ihmisten ääniä, on todellisuuden illuusiota enää hankala viedä pidemmälle.” Tietysti stereoskooppisen määritelmä erosi tuolloin siitä, millaiseksi se nykypäivänä ymmärretään. Jo tuolloin idea todellisuuden illuusiosta elokuvassa oli olemassa - siis kaksikymmentä vuotta ennen varhaisimpia elokuvantekijöitä ja seitsemänkymmentä vuotta ennen alkeellisimpia kolmiulotteisia elokuvia. (Holmberg 2003.) Nyt 136 vuotta myöhemmin valtavasti kehittynyt elokuvateollisuus pyrkii edelleen tähän todellisuuden illuusioon lukuisin eri kerronnallisista ja teknisistä keinoin. On iso haaste saada joukko pimeässä salissa istuvia toisilleen tuntemattomia ihmisiä unohtamaan ympäristönsä ja uppoutumaan eteensä avautuvaan audiovisuaalisen projisoituun tarinaan. Tämän saavuttaakseen elokuvantekijät kautta vuosikymmenten ovat pyrkineet tekemään elokuvistaan immersivisiä käyttäen milloin mitään käsillä olleita työkaluja ja keinoja. Yksi näistä keinoista on jo lähes vuosisadan elokuvissa läsnä ollut ääni.

Suomen mediaopas määrittelee sanan immersio: ”Immersio on voimakas psykologinen eläytyminen ja median käyttäjän tunne siitä, että hän sulautuu mediaan ja ”uppoaa” virtuaaliseen mediamaailmaan” (Suomen mediaopas 2013). Videopeliteollisuudessa se on hyvinkin tunnettu käsite. Etenkin pelaajan näkökulmasta ohjattavat (1st person view) pelit pyrkivät vahvaan immersioon. Sen voikin nähdä yhtenä avaintekijänä pelin koukuttavuudessa. Kolmiulotteista elokuvaa ja elokuvaäänen uusimpia kehitysaskelaita tutkiessani olen törmännyt usein termiin immersio uutta teknologiaa myyvänä tekijänä. Se on kuitenkin käsitteenä niin laaja ja monisyinen, että sitä ei voi liittää pelkästään tulevaisuuden elokuvaan ja sen teknologiaan. Elokuvassa tapahtuvan immersion voi jakaa kahteen tyyppiin, joita kutsuttakoon parempien termien puutteessa narratiiviseksi immersiksi ja spatiaaliseksi immersiksi. Staffan Björk ja Jussi Holopainen (2005, 205-206) käsittelevät muun muassa näitä samoja termejä peliteollisuudessa, mutta edellä mainitut kaksi immersion kategoriaa voidaan nähdä myös elokuvakokemuksessa täysin päteviksi.

Narratiivinen tai emotionaalinen immersio tarkoittaa tarinaan uppoutumista, hahmoihin samastumista sekä näiden kohtaloihin reagoitua (Björk & Holopainen 2005, 206). Ollaan siis elokuvan perimmäisen haasteen äärellä. Vaikka

elokuva olisi teknisesti äärimmäisen hienosti toteutettu, se ei välttämättä tee katsojaan kouriintuntuvaa vaikutusta. Tämä johtuu yleensä juurikin tarinan puutteellisuudesta tai henkilöhahmojen yhdentekevyydestä. Jo kauan ennen elokuvia on narratiivista immersiota tapahtunut teatterin, kirjojen ja vielä niitäkin aikaisemmin tarinankertojien yhteydessä. Hyvä tarinankertoja vangitsi yleisönsä niin, että se pystyi uskomaan ja samastumaan tarinaan, vaikka sillä ei ollut todisteenaan muuta kuin tarinankertojan sana. Elokuva on lisännyt todistusaineistoa historian saatossa kuvin, äänin, värein ja digitaalisena aikana jopa pikselein, mutta tavoite immersiiivisestä kokemuksesta ja vangitsevasta tarinasta on pysynyt samana. Elokuva on sekä visuaalisesti että auditiivisesti illuusiota. Voitaissiinkin sanoa, että elokuva on virtuaalinen illuusio todellisuudesta. Jotta narratiivinen immersio toteutuisi, täytyy katsojan uskoa näkemäänsä ja kuulemaansa. Usko on se, joka muuttaa virtuaalisen todelliseksi. (Brooks 2003, 2-4.)

Spatiaalinen immersio on peliteollisuudessa yleinen, elokuvateollisuudessa yleistynyt ja tänä päivänä etenkin äänisuunnittelussa hyvän markkinavoiman omaava termi. Se tarkoittaa katsojan uppoutumista elokuvan luomaan virtuaaliseen tilaan jopa todellisen ympäristön eli tässä tapauksessa elokuvateatterin kustannuksella. (Björk & Holopainen 2005, 206.) Tässäkin on kyse uskottavuudesta ja siitä, kuinka visuaalinen ja auditiivinen ympäristö täydentävät toisiaan. Kolmiulotteinen tekniikka ja kehittynyt surround-äänentoisto ovat spatiaalisen immersion kannalta oleellisia kehityskaskelia elokuvateollisuudessa. Voisi kuvitella, että sisäänsä sulkeva joka suuntaan levittyvä äänimaisema ja valkokankaan rajoituksia rikkova visuaalinen kolmiulotteinen maailma ovat omiaan kuljettamaan katsojan elokuvan maailmaan.

Nämä kaksi immersion kategoriaa nojaavat huomattavan erilaisiin perusteisiin. Spatiaalinen immersio käyttää hyväkseen pitkälti teknisiä keinoja, kun taas narratiivinen immersio luottaa tarinan voimaan. Tästä syystä on olemassa vaara, että huolimattomasti hyödynnettynä narratiivinen ja spatiaalinen immersio ovat ristiriidassa keskenään ja täysin vastoin tavoitteitaan vieraannuttavat yleisöä elokuvasta. Tällaisten asioiden äärellä erottuvat hyvät elokuva-alan ammattilaiset. Ammattimainen äänisuunnittelija seuraa narratiivista immersiota ja tietää, milloin se on voimakkaimmillaan. (Brooks 2003, 3.) Tällaisen hetken vallitessa



on syytä pitää spatiaalinen immersio eli esimerkiksi surround-äänimateriaali minimissään ja antaa katsojan keskittyä emotionaalisesti tai jännitteeltään voimakkaaseen kohtaukseen. Kun taas jännite on lauennut ja siirrytään esimerkiksi laajojen kuvien kautta esittelemään uutta ympäristöä, voi tätä ympäristöä esitellä rikkaalla surround-kanavien käytöllä ja tällä tavalla siirtää katsoja jälleen sisälle kohtaukseen. Yksinkertaistettuna kyseessä on siis hienovarainen narratiivisen ja spatiaalisen materiaalin vuoropuhelu.

### 3.2 Äänisuunnittelu osana elokuvakerronnan ykseyttä

Henry Bacon kirjoittaa ykseyden ihanteesta teoksessaan Audiovisuaalisen kerronnan teoria. Ykseys tarkoittaa sitä, että ”kaikki elokuvan elementit, sen kuvat ja äänet, sen lavastus, valaistus, näyttelijäntyö, kameratyö, leikkaus, dialogi, musiikki ja muut äänet tukevat tarinan, tematiikan ja/tai tyylin tarpeita.” (Bacon 2004, 23.) Uusien teknisten innovaatioiden äärellä on aina hyvä palata tähän Baconin ykseyden ihanteen määritelmään. Samalla tavalla kuten kuvaaja pohtii tietyn kamera-ajon tai lavastaja tietyn tilan sisustuksen merkitystä kokonaisuuden kannalta, myös äänisuunnittelijan on harkittava kahdesti sijoittamansa äänielementin paikkaa ja tarpeellisuutta. Ei voi liikaa korostaa, että hyvä ääniraita syntyy pienistä päätöksistä ja harkituista yksityiskohdista.

Tietenkään joka ikinen yksittäinen elementti ei voi olla suoraan johdettavissa kokonaisuuden ja tarinan tavoitteeseen tai sanomaan (Bacon 2004, 23). Ennemminkin voisi puhua kokonaisuuden passiivisista tai aktiivisista osatekijöistä, jotka omalla panoksellaan toimivat narratiivisen tai spatiaalisen immersion välittäjinä. Elokuvan audiovisuaalinen informaatiovirta on niin runsas, että jokaista yksittäistä elementtiä ei tavallisen elokuvakävijän ole edes mahdollista prosessoida (Bacon 2004, 49). Tällaisessa tilanteessa korostuvat elementit, jotka ovat ristiriidassa kokonaisuuden kanssa ja luovat epäuskoa, joka siis on immersion kannalta haitallista. Esimerkkeinä mainittakoon monen katselukokemuksen pilanneet aukot juonessa (plot holes) tai häiritsevästi surround-kanavaan sijoitettu äänielementti, joka saa katsojan vilkaisemaan taakseen ja näin hetkeksi lisää tämän tietoisuutta ympäröivästä elokuvasalista.

Toinen vahvasti elokuvaan immersiiivisenä kokemuksena liittyvä Baconin käyttämä termi on läpinäkyvyys, jonka määritelmä voisi itse asiassa olla myös suoraan immersion kuvauksessa. Läpinäkyvyys merkitsee sitä, että katsoja uskoo ja näkee elokuvan välittämään todenkaltaiseen maailmaan niin sanotusti teknisten keinojen läpi. Tämä taas käytännössä tarkoittaa sitä, että katsoja ei tiedosta kameran tai mikrofoniin tai minkään muun teknisen välineen läsnäoloa, eikä myöskään näe mahdollisia erikoistehosteita tietokoneella luotuina objekteina, vaan todellisina, todellisessa maailmassa tapahtuvina asioina. (Bacon 2004, 73.)

3D-elokuvien yleistymisen heittää haasteensa läpinäkyvyyden ja ykseyden ihanteen ylle. Koska se nimenomaan on tekninen mullistus ja tuo elokuvantekijöille aivan uuden välineen kertoa tarinoitaan, on olemassa vaara, että sitä käytetään eräänlaisena tempuna. Moni 3D-elokuvia vastustava kommentti onkin tuominut ne pelkkänä teknisenä kikkailuna. Myös lukuisat arvostelut puoltavat sitä, että useissa 3D-elokuvissa juuri kolmiulotteisuus on itseisarvo ja tarina toissijainen. Kun katsojaa säilytellen jatkuvasti kohti syöksyvillä objekteilla, käy tarinan seuraaminen jo henkisesti vaikeaksi. Myöskään monen katsojan kokema nopean sivuttaisliikkeen aiheuttama pahoinvointi ei ole elokuvan seuraamisen kannalta optimitilanne.

Elokuvaäänessä on myös tapahtunut visuaalisen kolmiulotteisuuden innoittamana huomattavia teknisiä innovaatioita. Sama teknisen kikkailun vaara piilee siis myös siinä. Olen kirjoittanut edellä muun muassa surround-kanaviin häiritsevästi sijoitetuista äänilähteistä, mutta uudentyyppisessä äänentoistossa on vaarana myös, että se kaikessa uutukaisuudessaan on itsessään jo katsojan huomiota vievä tekijä. Myös hyperrealismin vaikutus elokuvakokemukseen on syytä huomioida ja tutkia, sillä juurikin sitä kohti sekä visuaalinen, että audittiivinen ilmaisu nykyisen kehityksen myötä matkaa. Hyperrealismi äänisuunnittelussa tarkoittaa sitä, että pois kontekstistaan elokuvan ääniraita voi kuulostaa liioitellulta, mutta tasapainottuu heti visuaalisen vastineensa läsnä ollessa. Myös tiettyjä tärkeitä yksittäisiä äänielementtejä joskus ylikorostetaan, jotta ne erottuisivat muusta runsaasta äänimassasta. (Dakic 2009, 3.) Kun katsoja sitten sa-

maan aikaan joutuu totuttelemaan sekä kolmiulotteiseen kuvaan, että ennenkokenemattomaan elokuvaääneen, saattaa tämä entistä immerssiivisemmäksi mainostettu elokuvakokemus ollakin täysin odotusten vastainen.

## 4 Elokuvaäänen taustaa

Erilaisista elokuvaäänentoistojärjestelmistä puhuttaessa on syytä selvittää muutama siihen lähes poikkeuksetta liittyvä alan termi. Elokuvan ääniraita on kehittynyt yksinkertaisesta yhdestä monokanavasta jopa kymmeniä kanavia sisältäviin monikanavajärjestelmiin. Nykypäivänä monotoistoa harvemmin näkee käytössä edes halvemmissä ääntä toistavissa laitteissa, mutta kahden kanavan stereotoisto on edelleen kenties yleisin äänentoistomuoto. Stereofoninen äänentoisto laajassa merkityksessään tarkoittaa kaikkia niitä järjestelmiä, joissa kaiuttimia ja toistokanavia on enemmän kuin yksi. Yleisesti puhutaan kuitenkin stereosta kaksikanavaisen äänentoiston tapauksessa ja kaikki tätä suurempi on monikanavatoistoa tai tilääntä eli surroundia. (Aaltonen 2006, 288.) Selkeyden vuoksi käytän myös itse tätä määritelmää käydessäni läpi erilaisia äänentoistotekniikoita.

Elokuvateollisuus on tietyllä tapaa toiminut äänentoistotekniikan pioneerina. Sekä stereoääni että monikanavaääni on ennen kuluttajien kotikäytössä yleistymistään ollut vuosia käytössä elokuvateattereissa. Pitkän historian myötä on syntynyt standardeja ja tapoja, joiden mukaan ääntä jaetaan kanaviin ja siirretään toistoketjussa. Yksittäisistä tekijöistä vahvimmin mukana tässä kehityksessä on ollut amerikkalainen yhtiö Dolby Laboratories. 1970-luvulta alkaen Dolby on tuonut markkinoille äänentoistojärjestelmiä, jotka ovat yleistyneet elokuvateattereiden standardeiksi. Näihin kuuluu muun muassa varhainen analogimenetelmä Dolby Stereo sekä 1990-luvulla ilmestynyt digitaalinen Dolby Digital Surround, jonka myötä myös nimitys 5.1 eli kuusi kanavaa sisältävä äänentoisto yleistyi kautta maailman. Yhdysvalloista on lähtöisin myös laatuluokitus elokuvateatterin äänentoiston teknisille vaatimuksille eli Lucasfilm-yhtiön lanseeraama THX. (Aaltonen 2006, 288-291.)

Yksi tärkeistä elokuvakopioiden levitykseen ja toimitukseen liittyvistä termeistä on DCP eli Digital Cinema Package. DCP on salauskoodilla lukittu tiedostopaketti, joka sisältää kaiken tarvittavan informaation tietystä elokuvakopiosta, kuten itse elokuvan, eri tekstitykset ja ääniraidat sekä mahdollisen metadatan. Elokuvateatteriin DCP toimitetaan tavallisesti kiintolevyillä ja teatterin koneenkäyttäjä voi salauksen purettuaan ladata DCP:ltä itse elokuvan sekä tarvitsemansa lisämateriaalin – esimerkiksi ääniraidan alkuperäisellä kielellä sekä suomen- ja ruotsinkieliset tekstitykset. DCP on suurimpien elokuvastudioiden myötä muodostunut standardiksi elokuvakopioiden jakelussa ja siksi myös uusilta äänentoistotekniikoilta vaaditaan yhteensopivuutta DCP-formaatin kanssa. Tämä koskee käytännössä prosessoreita, jotka joko korvaavat olemassa olevat prosessorit tai liittyvät olemassa olevan mediaketjun jatkoksi. (Wikipedia 2013a.)

Seuraavan kappaleen aikana kuvaan useita äänentoistotekniikoita, joista osalla on jo jalkansa elokuvateollisuuden oven välissä, ja osa on nimenomaan elokuvateollisuutta silmällä pitäen melkein pä vastaa hypoteettisen pohdiskelun tasolla. Tällä hetkellä tilanne on mielenkiintoisin surround-äänentoiston kehittyvällä kentällä, kun kaksi varteenotettavaa tekijää kisaavat teattereiden ja yleisön suosiossa. Pinnan alla piilee kuitenkin monia mielenkiintoisia innovaatioita, joilla saattaa olla sanansa sanottavana elokuvan äänentoistossa.

## **5 Kolmiulotteiset äänijärjestelmät**

### **5.1 Binauraalinen ääni**

#### **5.1.1 Periaate**

Niinkin kaukaa kuin 1800-luvulta juurensa juontavasta binauraalisesta äänitystekniikasta on nykyään yhä enemmän puhuttu myös 3D-äänestä. Kuunnellussa

binauraalista tallennetta stereokuulokkeilla on mahdollista paikallistaa äänilähteet huomattavasti tarkemmin kuin perinteisessä stereo- tai surround-kuuntelussa. Tässä tapauksessa 3D-äänellä tarkoitetaan äänentoistoa, jossa äänen koetaan tulevan ympäristöstä luonnollisen kolmiulotteisesti; ts. kuulotahtumien suunta, etäisyys ja tilantuntu on hallittu, vaikka kyseisissä suunnissa, etäisyyksillä, tai tilavaikutelmaa vastaten ei olekaan todellisia äänilähteitä. (Karjalainen 2009.) Binauraalinen äänitystekniikka itse asiassa noudattaa samaa periaatetta kuin 3D-kamera. Kahden linssin sijasta vain käytetään kahta mikrofonia. (Palmer 2011.) Binauraalisessa äänitystekniikassa äänen lokalisaatio toimii periaatteessa niin syvyys-, leveys-, kuin korkeusakselillakin. Tämä saavutetaan mikrofonitekniikalla, jossa kaksi pallosuuntakuvioista mikrofonia on asetettu ihmisen pään tai sitä mallintavan keinopään molemmille puolille. Nämä mikrofonit toimivat korvina, joihin ympäristön ääni-informaatio saapuu suoraan, heijastuen tai suodattuen pään läpi, muodostaen näin tarkan kolmiulotteisen representaation kuuntelutilanteesta (Wahlgren 2012.).

### **5.1.2 Binauraalinen ääni ja 3D-elokuva**

Voisi siis kuvitella, että binauraalisella äänitystekniikalla olisi paikkansa myös kolmiulotteisen elokuvan äänisuunnittelussa. Väitettä on kenties helpointa lähteä käsittelemään sen ongelmakohtia purkamalla. Ongelmista konkreettisin ja käyttäjäläheisin on kuulokkeiden käyttö. On selvää, että kuulokkeiden käyttö elokuvateatterissa kohtaisi ainakin alussa voimakasta vastustusta. 3D-lasien käyttö on edelleen monelle elokuvakävijälle punainen vaate eivätkä korvia puristavat ja hiostavat kuulokkeet varmastikaan parantaisi tällaisten kävijöiden suhdetta 3D-elokuvaan. Voisin kuitenkin kuvitella, että jos binauraalinen ääni lopulta vakiinnuttaisi paikkansa elokuvien ääniraidalla, löytäisi myös käyttäjäystävällinen sekä lasit että kuulokkeet sisältävä headgear-tyyppinen ratkaisu tiensä tuotekehittelystä teattereiden vakiokalustoon.

Kuulokkeista aiheutuisi pieniä hankinta- ja huoltokustannuksia teattereille, mutta kustannukset jäisivät todennäköisesti vain nimellisiksi verrattuna esimerkiksi surround-järjestelmän täydelliseen uusimiseen. Kuulokkeiden käyttö poistaisi

elokuvalta todennäköisesti sen sosiaalisen tapahtuman leiman, joka sillä on suuremmissa tai pienemmissä määrin ollut. Sen sijaan elokuva lähentyisi tietynlaisista teema- ja huvipuistoista tuttua elämyskokemusta. Tämän voi kävijästä riippuen nähdä positiivisena tai negatiivisena asiana.

Toinen haastava ongelma binauraalisen äänityksen kannalta piilee elokuvaäänien tuotantoprosessissa. Kaikkea äänitystä ja äänisuunnittelua pitäisi lähestyä binauraalisen ajattelun kautta. Kärjistetysti sanottuna monikanavajärjestelmään perustuva surround-pohjainen ajattelu olisi hylättävä. Jo pelkästään tämä vaatisi monelta pitkän linjan äänittäjältä ja äänisuunnittelijalta melkoista uudistumista. Todennäköisesti katselu- ja kuuntelukokemuksien häiriintymättömän tasapainon ja todellisuuden illuusion säilymisen takia dialogi sijoitettaisiin edelleen keskelle eteen, jolloin sen äänittäminen joko kuvauspaikalla tai jälkiäänitysstudioissa ei liialti eroaisi siitä mihin on totuttu. Vaikka dialogi yllättäen haluttaisiinkin äänittää binauraalisesti ja sen seuraavan näyttelijöiden liikkeitä, näkisin sen olevan äänittäjän ongelmista pienin. Jokainen yksittäinen tausta-, foley- ja tehosteääni olisi äänitettävä erikseen ja jälkityöstettävä binauraalisella tekniikalla.

Koska binauraalisen äänen käsittely äänityksen jälkeen heikentää tilan tunnun autenttisuutta (Wahlgren 2012), ei nykyään elokuvaäänien jälkityössä lähes poikkeuksetta käytettävistä taajuuskorjaimista, kompressoreista ja ekspandereista, kaiuista tai muista jollain tavalla ääniaaltoa muokkaavista työkaluista olisi enää hyötyä vaan vain haittaa. Tämä taas riisuisi äänisuunnittelijan aseista, kun pitäisi luoda uusia erilaisia ääniä esimerkiksi tarunomaisille otuksille. Koko äänen jälkituotantoprosessi kääntyisi myös ajallisesti pääläelleen, kun äänitykseen käytettävä aika veisi yhtäkkiä suurimman osan koko aikataulusta ja äänileikkaus olisi käytännössä vain äänien sijoittelua aikajanelle. Tutkimuksellisesti ajatusta binauraalisesta äänisuunnittelusta voisi viedä jopa niin pitkälle, että rakennettaisiin äänitehosteet normaalisti erilaisia työkaluja käyttäen ja toistettaisiin ne sitten studioissa jonkinlaisella radalla liikkuvasta kaiuttimesta ja äänitettäisiin binauraalisesti. Tällainen menetelmä olisi toki naurettavan kallis ja aikaa vievä, mutta antaisi äänittäjälle täyden hallinnan käytettävistä äänistä sekä tonaalisesti, spatiaalisesti että myös sijoittamisen kannalta.

### 5.1.3 Digitaalinen mallinnus

Tässä vaiheessa on hyvä mainita virtuaaliakustiikaksi mielletävä binauraalisen äänen digitaalinen mallintaminen. Erilaisten digitaalisten äänityökalujen eli sovellusten liitännäisten (plug-in) avulla on mahdollista muokata tavallista monoääntä siten, että se binauraalisen äänen tavoin sijoittuu tarkasti määriteltyyn paikkaan tietyssä tilassa ja huomioi myös ihmisen pään aiheuttamat muutokset ääniaallossa. (Karjalainen 2009.) Näkisin tämän peliteollisuuden jo suurissa määrin hyödyntämän menetelmän myös elokuvateollisuudelle otollisempuna verrattuna edellä käsiteltyyn binauraalisen äänittämisen menetelmään. Digitaalinen mallintaminen antaisi äänisuunnittelijalle täysin vapaat kädet äänitiedostojen jälkikäsitelyssä ja jokaista vaikka jo kuvauspaikaltakin saatua äänitystä voitaisiin hyödyntää huoletta lopullisessa ääniraidassa. Äänien sijoittaminen digitaalisesti mallinnettuun tilaan olisi vain yksi vaihe jälkituotannossa ja vaatisi äänisuunnittelijalta ainoastaan uuden liitännäisen hallinnan opettelun. Se, kuinka laadukas ja täsmällinen digitaalisesti mallinnettu binauraalinen ääni on verrattuna binauraaliseen äänitykseen, on vain kiinni mallintavan ohjelman tai liitännäisen laadusta. Binauraalisen elokuvaäänien mahdollisesti yleistyessä, myös audio-ohjelmistojen valmistavat yritykset ryhtyisivät varmasti kehittämään yhä laadukkaampia digitaaliseen mallinnukseen erikoistuneita ohjelmistojen.

### 5.1.4 Binauraalinen ääni ja immersio

Kun palataan binauraalisen ääniraidan ongelmakohtien käsittelyyn, on jälleen tärkeää pohtia koko ääniraidan merkitystä elokuvalla ja nimenomaan elokuvan tarinalle, joka on se kivijalka, jolle kaikki muu rakentuu ja se seinä, jota kaikki muu tukee. Kuten surround-äännessä, myös binauraalisessa äännessä on kyseenalaistettava takaa kuuluvan äänimateriaalin funktio elokuvan tarinankeronnassa. Siinä missä sekä katsojan edestä, että takaa toistettava tasainen liikenteen humina on omiaan viemään tämän keskelle valkokankaalle levittäytävää urbaania kaupunkimaisemaa, saattaa takavasemmalta yllättäen kantautuva auton äänitorven toivotus tai koiran haukkuminen kääntää katsojan huomion

liiaksikin tähän tarinan kannalta kenties epäolennaiseen häiriötekijään. Pahimmillaan katsoja imetään tällaisella häirinnällä ulos elokuvan immersiiivisestä maailmasta ja tehdään tietoiseksi ympärillään istuvista kanssakatsojista ja tilasta. Tämä taakse sijoitettavan äänen käyttö ja sen hallinta koskee siis myös surround-äänisuunnittelua eikä siten ole vain mahdolliseen binauraaliseen äänisuunnitteluun liittyvä seikka. Ongelma piilee kuitenkin siinä, että binauraalisen äänen yksi suuri viehätysvoima on nimenomaan kuuntelijan takana sivu- ja syvyysuunnassa liikkuvassa äänessä. Tätä potentiaalia ei elokuvan äänikerronnassa täysin pysty eikä ole edes järkevää hyödyntää.

Binauraalisen äänen potentiaali 3D-elokuvissa piilee sen kyvyssä ilmentää ääntä syvyydessä. Sen se tekee kiistattomasti paremmin kuin perinteinen stereotai edes surround-ääni. Tilaa mallintavien digitaalisten työkalujen avulla binauraalinen ääni voidaan tuoda elokuvaan suhteellisen pienillä muutoksilla elokuväänen jälkityövaiheeseen. Myöskään kuulokkeiden käyttö elokuvassa ei ole täysin mahdoton ajatus, vaikka se elokuvien katselun – tai kuuntelun – melko oleellisella tavalla mullistaisikin. Tärkein kysymys kuuluukin, onko tällainen mullistus elokuvakokemuksen kannalta tarpeellinen. Painaako äänen tarkempi syvyytsvaikutelma vaakakupissa niin paljon, että elokuvakävijät olisivat valmiita jälleen uuteen elokuvan katsomisen edellyttävään lisätarvikkeeseen? Mielestäni olisi tärkeää löytää keino toistaa binauraalista ääntä perinteisten kaiuttimien kautta vaarantamatta sen luomaa kolmiulotteista äänikenttää etenkin, kun pian kolmiulotteista kuvaa pystyy ihailemaan ilman 3D-laseja.

## **5.2 Pure Stereo 3D Audio**

### **5.2.1 Periaate**

Princetonin yliopiston professori Edgar Choueiri on vastikään lisensoidulla innovaatiollaan lähellä läpimurtoa kolmiulotteisen äänen saralla. Pure Stereo 3D Audio on teknologia, joka mallintaa yhden ainoan kaiutinparin kautta kolmiulotteisen reproduktion mistä tahansa toistettavasta stereotallenteesta. Pure Stereo



3D Audio tarvitsee toimiakseen vain Choueirin kehittämän algoritmin mukaan ääntä prosessoivan digitaalisen suotimen (BACCH-suodin), joka on mahdollista liittää minkä tahansa stereosignaali- ketjun jatkoksi. Yksinkertaistettuna BACCH-suodin poistaa kaiutinkuuntelussa yleisen ominaisuuden ja kolmiulotteisen äänen havainnoinnin kannalta ongelmallisen asian eli ylikuulumisen. (Princeton University 2012.)

### 5.2.2 Ylikuuluminen ja sen kompensointi

Ylikuulumista (crosstalk) tapahtuu, kun vasemmasta kaiuttimesta tuleva ja näin ollen vain vasemmalle korvalle tarkoitettu ääni-informaatio saavuttaa oikean korvan ja päinvastoin. Kyseessä on siis eräänlainen vuotamisilmiö, joka kaiutinkuuntelussa on ollut täysin normaali ja hyväksyttävä ominaisuus, mutta joka vaikeuttaa huomattavasti tallenteen kolmiulotteista havaitsemista (Karjalainen 2009.). Ylikuulumisen kompensointia (Karjalainen 2009) tai suodatusta (cross-talk cancellation / XTC) tutkivat ensimmäisen kerran Bishnu S. Atal sekä Manfred R. Schroeder 1960-luvulla ja myöhemmin laajemmin Duane H. Cooper sekä Jerald L. Bauck. Cooper ja Bauck muun muassa ehdottivat, että ylikuulumisen kompensoinnin avulla olisi esimerkiksi mahdollista toistaa yhdessä kokoustilassa käyty asian käsittely eri kielillä samanaikaisesti kullekin osanottajalle ilman käsittämätöntä äänitulvaa ja ilman kuulokkeita. Luonnollisesti tämä luo myös sillan mahdollisuuteen kuunnella binauraalisia äänityksiä ilman kuulokkeita. Ylikuulumisen kompensointi on omiaan tuomaan myös vanhoihin stereoäänityksiin uudenlaista sointia ja tilantuntua. (Nutfire 2013.) Muun muassa tätä ajatusta Choueiri tuntuu vaalineen BACCH-suodinta suunnitellessaan.

Ongelmana XTC-suotimissa on tähän saakka ollut vahva käsitellyn äänen värittäminen eli äänenlaadun heikentyminen. Lisäksi optimaalinen kuuntelualue (sweet spot) on ollut verraten pieni, korkeintaan muutama kymmenen senttimetriä sivusuunnassa (Karjalainen 2009). Pienikin pään liike tai asennon vaihtaminen on saattanut johtaa kolmiulotteisuuden vääristymiseen. Vaikka Pure Stereo 3D Audiollakin on optimaalinen kuuntelualueensa, on se huomattavasti laajempi ja ennen kaikkea säädettävissä oleva ja kaiuttimien sijoittelusta riippumaton.

Lisäksi se ei Choueirin mukaan vaikuta haitallisesti äänenlaatuun kuten edeltäjänä, vaan ainoastaan puhdistaa (purify) tallenteen ylikuulumisesta. Tästä juontaa juurensa myös nimi Pure Stereo 3D Audio. (Princeton University 2012.)

### 5.2.3 Kuuntelualue ja akustinen kalibrointi

Parhaan kuuntelukokemuksen saavuttamiseksi myös Pure Stereo 3D Audio vaatii sitä, että kuuntelija kuuntelee tallennetta tietyssä pisteessä (sweet spot). Pure Stereo eroaa kuitenkin tavallisesta stereokuuntelusta siinä, että optimaalinen kuuntelualue on kuuntelijan itse säädettävissä eikä ole riippuvainen kaiuttimien sijoittelusta. Kuuntelija voi ohjelmoida Pure Stereo -prosessoriinsa valmiiksi useita eri kuuntelualueita, joita hän sitten halutessaan napin painalluksella valitsee. Jos kuuntelija esimerkiksi nauttii tallenteistaan sekä sohvalta että työpisteeltään käsin, voi hän siirtää optimaalista kuuntelualueitaan näiden sijaintiensa mukaan kaiuttimien sijaintia tai asentoa muuttamatta. On kuitenkin optimaalisen kuuntelukokemuksen kannalta suositeltavaa, että kaiuttimet sijoitellaan jonkin geometrisen konfiguraation mukaan. Optimaalisella kuuntelualueella kuuntelija ei tiedosta äänien tulevan kaiuttimista – kaiuttimet periaatteessa katoavat akustisesta kentästä ja jäljelle jää vain kolmiulotteinen äänikenttä. Lisäksi optimaalinen kuuntelualue on tarpeeksi laaja, jotta siitä voisi samanaikaisesti hyötyä useampi kuuntelija. Jos kuuntelija liikkuu kuitenkin yli metrin sivusuunnassa kuuntelualueella, kolmiulotteisuus vääristyy. Äänenlaatu säilyy kuitenkin tässäkin tapauksessa hyvänä.

Pure Stereo 3D Audion riippumattomuus kuuntelijan tai kaiuttimien sijainnista johtuu BACCH-suotimien kyvystä mitata kuuntelutilaa kuuntelijan sijainnin mukaan ja kalibroida itsensä tulosten perusteella. c-BACCH-suodin (customized BACCH-filter) on käyttäjänsä mukaan räätälöity suodin, joka testisignaalien ja kuuntelijan korvakäytävien suulle asetettavien mittamikrofonien avulla mittaa koko kuunteluketjun kaiuttimista korviin. Aikaa tämä vie Pure Stereon kehittäjien mukaan vain minuutin. u-BACCH-suodin (universal BACCH-filter) toimii samalla periaatteella, mutta käyttää mittaamiseen keinopäätä kuuntelijan oman pään sijaan. Tämä tapa luo hieman epätarkemman kolmiulotteisen äänikuvan, mutta

saattaa olla toimivampi vaihtoehto, kun kuuntelijoita on samaan aikaan useampi. Ero näiden kahden suotimen välillä on hienovarainen, mutta havaittava. Sama Pure Stereo –prosessori voi sisältää molempien suotimien avulla tehtyjä asetuksia, joita käyttäjän on mahdollista tarpeensa mukaan vaihdella. (Princeton University 2012.)

#### **5.2.4 Pure Stereo 3D Audio ja 3D-elokuva**

Professori Choueirin kehittämä Pure Stereo 3D Audio tuntuu todellakin olevan suuri harppaus kolmiulotteisen äänentoiston kehityksessä stereokannalla. Sen spatiaalista tarkkuutta ja äänenlaatua mainostetaan realistisuudessaan yliver-taiseksi – jopa binauraaliseen kuulokekuunteluun verrattuna. Jotta Pure Stereo -prosessori olisi varteenotettava vaihtoehto elokuvateatterin äänentoistoketjuun, olisi optimaalista kuuntelualuetta saatava huomattavasti laajemmaksi. Pure Stereo-prosessori on jo tässä vaiheessa helppo kuvitella jokaisen kotiteatterilaitteiston lisäominaisuudeksi ja nimenomaan kotisohvalta ihailtu 3D-elokuva saisi varmasti tervetulleen lisämausteen tällä 3D-ääniraidalla. Optimaalinen kuuntelualue on tähänkin tarkoitukseen toki vielä pieni, esimerkiksi koko perheen nau-tittavaksi.

Pure Stereo on kuitenkin osoittanut potentiaalinsa luoda useita optimaalisia kuuntelualueita. Toisaalta, Pure Stereo -prosessoitua äänimateriaalia voi on-gelmitta kuunnella myös optimaalisen kuuntelualueen ulkopuolella äänenlaadun ollessa edelleen hyvä. Vain kolmiulotteinen vaikutelma kärsii. Liittyhän myös nykyiseen surround-äänentoistoon optimaalinen kuuntelualue. Kenties tuoteke-hittelyn myötä on lähitulevaisuudessa mahdollista toistaa kolmiulotteisen vaiku-telman sisältämä äänimateriaali samanaikaisesti usealle alueelle. Mieleeni tule-vat muun muassa Pure Stereon ja esimerkiksi live-äänentoistossa yleisesti käy-tettävän line array -äänentoistojärjestelmän yhdistäminen ja Choueirin algorit-min soveltaminen line arrayn yksittäisiin kaiuttimelementteihin. Taloudellisesti ajateltuna Pure Stereo –prosessori ja mahdollinen kaiuttimien uusiminen laa-dukkaimman lopputuloksen saavuttamiseksi ei varmasti tulisi elokuvateattereille

ylitsepääsemättömän kalliiksi. Myöskään DCP-yhteensopivuus ei varmasti muodostuisi ongelmaksi, vaikka sitä ei tällä hetkellä ole.

### **5.3 Surround-järjestelmät**

#### **5.3.1 Auro 3D**

Yksi selkeästi surround-tekniikkaan pohjautuvista uusista äänentoistojärjestelmistä on belgialaisten Barco ja Galaxy Studios –nimisten yritysten yhteistyössä kehittämä Auro 3D –järjestelmä. Se on käytännössä 11.1 tai 13.1 surround –järjestelmä eli perinteisen viiden tai seitsemän kanavan sijaan se sisältää 11 tai 13 kanavaa ja yhden matalien taajuuksien kanavan. Auro 3D –järjestelmässä uudet kaiuttimet on sijoitettu jokaisten jo olemassa olevien kaiuttimien yläpuolelle luoden näin huomattavasti lisää mahdollisuuksia äänen sijoittamiselle korkeusakselilla. Lisäksi kuudes (11.1) tai kahdeksas (13.1) uusi niin kutsuttu overhead-kanava toistetaan katsomon ylle asetetuista kaiuttimista. Järjestelmä koostuu siis periaatteessa kolmesta kaiutintasosta, jotka ovat surround-taso, korkeustaso ja overhead-taso. (Barco 2013b.)

Auro 3D –järjestelmä on yhteensopiva nykyään elokuvateattereissa käytettävien järjestelmien ja formaattien kanssa. Optimaalisesti toimiakseen se vaatii olemassa olevan mediaketjun jatkoksi sekä dekooderin, prosessorin ja upmix-prosessorin – kaikki valmistaja Auro Technologiesin omaa laitteistoa – että myös luonnollisesti tarpeellisen määrän lisäkaiuttimia. On huomioitavaa, että kaiuttimien enimmäismäärää ei ole määritelty, vaan kanavia voi Auro 3D –järjestelmässä olla enintään 14 – matalien taajuuksien kanava mukaan luettuna. Dekooderin ja prosessorien tehtävänä on tunnistaa mahdollinen Auro 3D-metadata käsiteltävästä DCP:stä ja muuntaa se 11.1- tai 13.1-muotoon. Laitteisto toimii täysin myös muiden monikanavamiksausten kanssa ja kykenee napin painalluksesta operoimaan tavallisena 5.1–järjestelmänä. (Barco 2013b.) Yhteensopivuusongelmia ei siis yksinkertaisempien monikanavajärjestelmien

kanssa ilmeisesti ole eikä lisälaitteistonkaan määrä ole valtava, joten taloudellisesti Auro 3D ei liene mahdoton vaihtoehto elokuvateattereille.

### 5.3.2 Dolby Atmos

Dolby Laboratories on lähtenyt väkevästi haastamaan Auro 3D –järjestelmää omalla vuonna 2012 julkaisemallaan Dolby Atmos –järjestelmällä. Kuten Auro 3D myös Dolby Atmos pohjautuu surround-tekniikkaan ja tuo mukanaan teatterin kattoon asennettavan overhead-kaiutinryhmän. Lisäksi Dolby Atmos lisää olemassa oleviin surround-järjestelmiin kaiuttimia valkokankaan ja katsomon väliin sekä tavallista laajemmän kankaan tapauksessa myös sen taakse. Lisäksi Dolby neuvoo lisäämään kaksi surround-kanavista ohjattuja matalia taajuuksia toistavaa kaiutinta (subwooferia) katsomon takaosaan. Näiden lisäysten avulla pyritään luomaan pehmeämpää panorointia, lokalisaatioltaan tarkempaa äänimateriaalia sekä koko katsomon kattavaa immersivistä ääniraitaa. Overhead-kanavan kautta myös Dolby Atmos pyrkii ratkaisemaan ongelman korkeusakselille sijoiteltavien äänien kanssa. Se ei kuitenkaan Auro 3D:n tavoin luo ylimääräistä korkeustasoa erillisillä kaiuttimilla. (Dolby Laboratories Inc. 2012b.)

Myös Dolby Atmos on täysin yhteensopiva olemassa olevan elokuvan toistotekniikan kanssa. Se lisää olemassa olevaan mediaketjuun oman prosessorinsa, joka kykenee karsimaan tilasta johtuvia korostuksia sisäänrakennetulla taajuuskorjaimellaan, tunnistamaan ja mitätöimään mahdollisia vikoja kaiutinjärjestelmässä sekä operoimaan reaaliajassa toteutettavaa Dolby Atmos –metadetaa, kuten myös perinteistä 5.1-monikanavamiksausta. (Dolby Laboratories Inc. 2012b.) Tavoitteet ja keinot ovat siis hyvin samankaltaisia sekä Auro 3D:n että Dolby Atmosin tapauksissa. Niiden toimintaperiaatteet eroavat kuitenkin toisistaan yhdellä merkittävällä tavalla. Auro 3D edustaa perinteisempää kanavapohjaista järjestelmää, kun taas Dolby Atmos on osittain kanavapohjainen, mutta osittain myös objektipohjainen järjestelmä – toisin sanoen hybridijärjestelmä.

### 5.3.3 Kanavapohjainen vs. objektipohjainen

Elokuvan äänisuunnittelu on tähän saakka perustunut kanaviin eli se on ollut kanavapohjaista. Tämä tarkoittaa sitä, että elokuvan äänimiksauksessa syntyvät raidat (dialogiraita, efektiraita, ambienssiraita jne.) ohjataan halutulla tavalla eri kanaviin, joista jokainen sisältää yhdelle kaiuttimelle tai kaiutinryhmälle tarkoitetun materiaalin. Näin esimerkiksi dialogi usein ohjataan niin kutsuttuun keskikanavaan, joka elokuvateatterissa toistetaan keskikaiuttimesta. Ambianssiraitoja saatetaan ohjata esimerkiksi 5.1-miksauksessa paitsi oikeaan että vasempaan etukanavaan, myös oikeaan ja vasempaan surround-kanavaan. Tämän seurauksena ambienssi toistetaan sekä stereokaiuttimista kankaan takaa, että surround-kaiuttimista teatterin sivuilta ja takaa. 5.1-surround sisältää yhteensä kuusi kanavaa (LCR+Ls+Rs+LFE) ja vastaavasti 7.1-surround sisältää kahdeksan kanavaa. Kanavapohjainen Auro 3D -järjestelmä sisältää maksimissaan 13 kanavaa kolmessa eri kaiutintasossa. Kanavapohjainen järjestelmä on tällä tavoin helposti käsitettävä ja tähän saakka ainakin elokuvan epävirallisena standardina toiminut menetelmä.

Objektipohjainen äänisuunnittelu on elokuva-alalla melko uusi menetelmä, mutta esimerkiksi videopelitaloudessa sitä on hyödynnetty jo pidemmän aikaa. Objektipohjaisessa äänisuunnittelussa eri äänielementteihin yhdistetään metadataa, joka määrittää elementit yksittäisiksi ääniobjekteiksi. Äänisuunnittelija sitten päättää, miten mikäkin objekti sijoittuu kolmiulotteisessa äänikentässä. Elokuvaa toistettaessa tällaisen objektipohjaisen järjestelmän prosessori tunnistaa äänielementteihin liitetyn metadatan ja reaaliajassa sijoittaa eri objektit äänisuunnittelijan määrittelemille paikoille elokuvateatterin äänentoistossa. On olemassa myös käsite hybridijärjestelmä, joka tarkoittaa kanavapohjaisen ja objektipohjaisen järjestelmän kombinaatiota. Tällöin tietyt äänielementit voidaan ohjelmoida käyttäytymään tarkasti lokalisoituina objekteina, vaikka muu äänimateriaali toistuisikin edelleen kanavapohjaisena. (Barco 2013a.) Dolby Atmos on tällainen järjestelmä ja myös Auro 3D:n viimeisimmät kehitysaskleet ovat kohti hybridiä.

Verratessa näitä kahta järjestelmää toisiinsa, ei voi olla vertaamatta keskenään niiden tämän hetken johtavia puolestapuhujia ja kilpakumppaneita Auro 3D:tä ja Dolby Atmosia. Kanavapohjaisen järjestelmän hyödyistä puhuttaessa on helppoa nostaa esille perinteet ja standardit elokuvaäänisuunnittelun historiassa ja hyvin pitkälti tästä johtuva järjestelmän näennäinen yksinkertaisuus. On tarpeen myös kyseenalaistaa objektipohjaisissa järjestelmissä ilmenevien tarkasti lokalisoitujen pisteänten tarpeellisuus. Auro 3D argumentoi myös lisäämällä korkeustasolla ja sen merkityksellä niin immersiolle, kuin elokuvakokemukselle yleisesti (Barco 2013a). Perinteisiin ja standardeihin viitattaessa tarkoitetaan sekä työnkulkua elokuvan jälkitöissä että elokuvan siirtoprosessia jälkityöasemasta elokuvateatteriin ja katsojien kuultavaksi ja nähtäväksi. Nämä kaikki ovat ajan saatossa jo jokseenkin kiveen hakattuja menettelytapoja. Ensimmäisistä stereona miksatuista elokuvista aina nykypäivän kuuden tai kahdeksan kanavan monikanavamiksauksiin on kanavapohjainen ajattelu ollut käytännössä ainoa tapa tehdä elokuvaääntä. Lisäksi kirjainyhdistelmät DCP, SMPTE (aikakoodi) ja PCM (pulssikoodimodulaatio) ovat olleet elokuvan ja elokuvaäänen siirtofunktiossa vakioita digiteknologian yleistettyä vuosikymmeniä sitten.

Jos jokin taho on kykenevä perinteistä poikkeamaan tai niitä rikkomaan, on se Dolby Laboratories. Dolby Atmosin teknisiä tietoja (Dolby Laboratories Inc. 2012a) tarkastellessa törmää kuitenkin hyvin nopeasti edellä mainittuihin kirjainyhdistelmiin ja standardeihin. Dolby vetoaakin uutta järjestelmäänsä mainostaessaan varsin samoihin seikkoihin kuin Auro 3D. Hybridijärjestelmä tuo toki jälkitöihin vähintäänkin uudenlaisen mausteen, joka ei loppujen lopuksi kovin paljoa eroa uuden liitännäisen opettelusta. Dolbyn tapauksessa ei voi myöskään olla huomioimatta sen pitkää historiaa elokuvaäänen johtavana toimijana. Järjestelmää myydessään Dolby myy aina myös omaa asiantuntemustaan ja osaavien teknikoidensa apua sekä jälkityöprosessin aikana, että järjestelmän asentamisessa. Se kuinka laajalti tämä asiantuntemus ja apu ovat saatavilla, onkin sitten toinen kysymys. Lisäksi Dolby Atmosilla on etumatka objektipohjaisessa äänisuunnittelussa. Barco julkaisee lähiaikoina liitännäisen, joka mahdollistaa objektipohjaisen työskentelyn Auro 3D –järjestelmän puitteissa vieden sitä lähemmäs hybridijärjestelmän periaatetta (Auro Technologies 2013).

Näyttää siltä, että molemmat valmistajat ovat ottaneet huomioon yhteensopi-  
vuuden nykyisten menetelmien kanssa ja työnkulkuun aiheutuvat mahdollisim-  
man pienet muutokset. Ratkaisevaksi tekijäksi nousee siis erot toistovaihees-  
sa. Onko Auro 3D:n lisäämä korkeustaso todellakin se tekijä, joka kykenee hor-  
juttamaan Dolby Laboratoriesin valta-asemaa? Kumpikaan järjestelmistä ei tuo  
juuri mitään mullistavaa elokuvaäänentoistoon syvyysakselilla, ellei sitten Auro  
3D pyri korkeustasoa ja overhead-tasoa hyödyntämällä tuomaan äänielement-  
tejä lähemmäs katsojaa. Dolby Atmos on jatkanut surround-kaiuttimien linjaa  
siten, että yleisön ja kankaan väliin on mahdollista luoda äänielementtejä. Jää  
nähtäväksi, kuinka hyvin tämä ratkaisu toimii syvyydessä liikkuvien objektien  
tukena.

Molemmat valmistajat lupailevat entistä immersiivisempää ja realistisempaa  
elokuvakokemusta. Aina on kuitenkin olemassa vaara, että jotain uutta tekniik-  
kaa ylikäytetään häiritsevästi ja täysin tavoitteen vastaisesti vieraannutetaan  
yleisöä teknisellä kikkailulla. Tässä vaiheessa on hankala arvuutella, kumpi jär-  
jestelmä tulee lopulta voiton viemään vai onko niiden mahdollista elää rinnak-  
kain. Molemmat ovat tehneet ilmeisesti useita elokuvia kattavan sopimuksen,  
Barco Dreamworksin ja Dolby usean eri julkaisijan kanssa. Pienten elokuvateat-  
tereiden kannalta on huolestuttavaa, että elokuvaäänien kehitys näyttäisi autta-  
matta tarkoittavan kaluston määrän lisäämistä ja melko suuria taloudellisia pa-  
nostuksia. Toisaalta taas nopeasti kehittyvän kotiteatteriaikakauden aikana elo-  
kuvateattereiden on jollain tavalla vastattava haasteeseen ja Dolby Atmos sekä  
Auro 3D ovat ehkä keinoja sen tekemiseen.

## **5.4 Äänikenttäsynteesi**

### **5.4.1 Periaate**

Delftin teknillisessä yliopistossa Hollannissa 1980-luvulla kehitetty äänikenttä-  
synteesi (Wavefield Synthesis / WFS) on virtuaalista tilaääntä luova moni-  
kanavajärjestelmä. Sen tavoitteena on tuottaa kuuntelijan sijainnista riippuma-



ton keinotekoinen kolmiulotteinen äänikenttä. WFS on ääniaallon fyysiseen olemukseen perustuva tarkka kopio halutusta äänestä, jossa virtuaaliset äänilähteet luodaan toistamalla ääniä suljetun pinnan ympärille jaotelluista lukuisista monopoli- ja dipolikaiuttimista. (Audio Engineering Society 2006.) WFS perustuu Huygensin–Fresnelin periaatteeseen, jonka mukaan etenevää aaltoa voidaan pitää jokaisesta aaltoliikkeen jo läpäisemästä väliaineen pisteestä lähteiden alkeisaaltojen summana (Wikipedia 2013b). WFS tähän periaatteeseen nojaten yhdistää kuivaan äänisignaaliin mitatun informaation huonetilasta ja äänilähteen sijainnista ja tuottaa näiden mittausten avulla tarkan reproduktion äänilähteestä halutussa akustisessa ympäristössään. Äänikenttäsynteesisistä on myös käytetty nimitystä holofonia, optisen holografian vastineena. (Theile 2004.)

Kolmiulotteisen äänen luojana äänikenttäsynteeseillä on joitakin huomattavia etuja verrattuna stereofonian sovelluksiin. Äänikenttäsynteessin luoma kolmiulotteinen äänikuva ei ole riippuvainen kuuntelijan sijainnista, vaan virtuaaliset äänilähteet lokalisoituvat aina tiettyyn pisteeseen kuuntelualueella. Äänilähteet voivat olla tietystä pisteestä säteileviä pisteääniä tai tietystä suunnasta eteneviä laajoja äänimattoja. Äänen lokalisointi on niin realistisella tasolla, että kun kuuntelija liikkuu tilassa lähemmäs tai kauemmas pisteäänestä, äänen amplitudi kasvaa tai vähenee liikkeen mukana. Nämä ominaisuudet antavat äänisuunnittelijalle aseet toteuttaa monimuotoisia kolmiulotteisia äänimaisemia ja kuuntelijalle mahdollisuuden hyvinkin tarkkaan äänen paikantamiseen. Äänikenttäsynteessin kautta on mahdollista lokalisoida ääniä sekä kaiuttimien taakse että eteen. Käytännön sovellukset ovat kuitenkin osoittaneet, että kolmiulotteisen äänikentän luominen äänikenttäsynteessin avulla on suuren työn takana. (Theile 2004.)

#### **5.4.2 Käytännön sovellukset**

Euroopan unionin rahoittama CARROUSO-projekti käytti äänikenttäsynteesiä etsiessään teknologiaa, jonka avulla oikeassa tai virtuaalisesti luodussa tilassa tuotettu äänikenttä voitaisiin toistaa toisessa kenties kaukaisessa ja hyvinkin

erilaisessa tilassa. CARROUSO-projekti oli urauurtava siinä mielessä, että se yhdisti äänikenttäsynteesin ja MPEG-4-koodausstandardin. MPEG-4-formaatin avulla voitiin siirtää kuiva äänisignaali ja tilainformaatio erikseen ja saavuttaa näin äänikentän ajallisten, spatiaalisten ja havainnollisten ominaisuuksien täysi hallinta. CARROUSO-projektissa käytetty teknologia koostui periaatteessa kolmesta vaiheesta: 1) Äänitysjärjestelmä (The Recording System) tallensi halutun äänen ja tilainformaation MPEG-4-muotoon, 2) siirtojärjestelmä (The Transmission System) toimi tiedon välittäjänä 3) renderointijärjestelmälle (The Rendering System), jonka tehtävä oli lopulta jäljentää ja toistaa ensimmäisessä vaiheessa tallennettu ääni. (CARROUSO partners 2001.)

CARROUSO-projektissa vahvasti mukana koordinaattorin ominaisuudessa ollut Fraunhofer-instituutti esitteli vuonna 2004 yhteistyössä Iosono GmbH:n kanssa kehittämänsä äänikenttäsynteesiin perustuvan Iosono-äänentoistojärjestelmän. Iosono-järjestelmän prosessori IPC 100 luo virtuaaliset (holofoniset) äänilähteet käyttäen erityistä algoritmiaan, joka tukee aina viidestä jopa 500:aan kaiutinta. Iosono-prosessori ja sen ohjelmisto toimii reaaliaikaisesti toistaen äänisuunnittelijan tekemät päätökset äänien sijoittelussa ja liikkeessä. Siksi sitä voisi toimintaperiaatteeltaan verrata esimerkiksi hybridijärjestelmä Dolby Atmosiin. Iosono noudattaa äänikenttäsynteesin vaatimuksia kaiutinsijoittelussaan ja on suunniteltu nimenomaan elokuvateatterien ja suurten yleisötapahtumien käyttöön. Järjestelmää on kehitetty tähän mennessä tarkimmaksi kolmiulotteisen äänikentän mallintajaksi ja sitä on jo käytetty joissakin suuren budjetin elokuvissa. (Iosono GmbH 2013.)

### 5.4.3 Käytännön ongelmat

Äänikenttäsynteesin konkretisoituminen käytännön sovelluksiin ja esimerkiksi elokuvateatteriin tuo esiin sen ongelmat. Kun kaiuttimien sijoittelu on edes hienoisesti epätasainen tai muulla tavalla eroava optimaalisesta, saattaa aiheutua ei-toivottavaa äänilähteen lokalisointihäiriintymistä. Myös huonosti akustoitunut tila tai sen äänelle epäsuotuisat muodot saattavat aiheuttaa ikäviä heijastuksia, jolloin jälleen kolmiulotteinen äänikuva kärsii. Vaikka WFS tekniikkana pyrkiikin

huomioimaan toistettavan salin tai huoneen tilainformaation, ei sekään pysty mitätöimään kaikista räikeimpiä akustiikan ongelmia. Näkisin, että etenkin pienemmällä taloudella operoivissa elokuvateattereissa tällaisia ongelmia saattaa ilmetä. Käytännön rajoitukset ovat myös WFS-tekniikan rasitteena. Kaiutinrivistöjen aiheuttama äänen värittyminen lähellä rivistöjen reunoja ja ääniaallon etenemismuodon muuttuminen teoreettisesta pallokuvioista käytännössä sylinterimäiseksi kuvioksi ovat vielä ainakin osittain ratkaisemattomia äänen laatuun ja kolmiulotteiseen äänikuvaan vaikuttavia ongelmia. Täytyy muistaa, että kyseessä on tieteenala, joka ammentaa teoriansa jatkuvasti kehittyvästä psykoakustikasta. (Theile 2004.)

Kenties losono-järjestelmä on jo ratkaissut joitakin olennaisia ongelmia äänikenttäsynteesin teknologiassa. Koska se on jo käytössä muutamissa elokuvateattereissa Yhdysvalloissa, voisi sen kuvitella olevan yleistymässä maailmanlaajuisesti lähitulevaisuudessa. Jo vuonna 2004 julkaistulla losonolla oli kieltämättä jonkinlainen etumatka edellä käsiteltyihin surround-järjestelmiin. Sen maailmanvalloituksen tiellä oli ja on kuitenkin yksi iso ongelma. Koska losono vaatii optimaalisesti toimiakseen useita satoja kaiutinelementtejä ja huomattavan paljon prosessointitehoa, olisi järjestelmän hankkiminen useimmalle pienellä budjetilla operoivalle elokuvateatterille mahdoton ajatus. Sen DCP-yhteensopiva IPC 100 –prosessori toki toimii myös stereo- ja erikokoisten surround-järjestelmien kanssa, mutta sen tuomat mahdollisuudet konkretisoituvat vasta lukuisia kaiuttimia vaativassa äänikenttäsynteesissä. Eric. A. Taub väittää artikkelissaan The New York Timesissa, että losonon asianmukainen asennus voi maksaa elokuvateatterille jopa 150 000 dollaria salilta. Lisäksi äänimiksaus losono-formaattiin lisäisi elokuvan jälkityöbudjettiin noin 200 000 dollaria. (Taub 2009.) On vaikea kuvitella, että monikaan suomalainen elokuvateatteri tai tuotantoyhtiö pystyisi uhraamaan tuollaisia summia kolmiulotteisen äänen takia.

#### **5.4.4 Äänikenttäsynteesi ja 3D-elokuva**

Pohdittaessa kehityksen ja uudistumisen hintaa elokuvateattereille, on muistettava mitä sillä on vastassaan. Aina television keksimisestä ja sen yleistymisestä

1900-luvun alkupuoliskolla asti, on elokuva joutunut taistelemaan yleisöstä tämän joka kodin vakiovarustukseen kuuluvan laitteen kanssa. Erilaiset surround-äänijärjestelmät ja yhä suuremmat ja paremmalla kuvanlaadulla varustellut näytöt tai jopa kankaat ovat viime vuosikymmeninä yleistyneet yksityisten kuluttajien kodeissa. Jo nyt markkinoilla on 3D-televisioita, joista osa jopa kykenee näyttämään kolmiulotteista kuvaa ilman laseja. Jälleen herää siis kysymys siitä, kuinka elokuvateatteri pystyy pitämään pintansa audiovisuaalisilla markkinoilla. Yksi mahdollisuus on juurikin panostaminen elokuvaääneen. Iosonojärjestelmän tyyppinen äänikenttäsynteesi ei vielä ole tavallisen kotiteatterin saavutettavissa sen korkean hinnan ja täsmällisen asentamisen ansiosta. Jotta keskiverto elokuvan ystävä valitsee vuokraelokuvan sijaan käynnin elokuvateatterissa, on elokuvateatterin tarjottava jotain, mitä elokuvan ystävä ei kotisohvaltaan pääse kokemaan. Ehkäpä mullistava kolmiulotteinen ääniraita kallistaisi vaa'ankielen vielä elokuvateatterikäynnin puolelle.

Jälkityöprosessin kannalta Iosono ei ilmeisesti vaadi äänisuunnittelijalta suurta uudistumista tai erikoistumista. Äänisuunnittelija Leslie Shatz teki Iosono GmbH:n avustuksella Immortals-elokuvan äänimiksauksen käyttäen Iosonon IPC 100 –proessoria. Miksaus vei aikaa viisi päivää. Suurin haaste Shatzin mukaan ei niinkään ollut tekninen operointi vaan kolmiulotteisen äänikuvan hahmottaminen ja ymmärtäminen – ja se jos joku on äänisuunnittelijalle mieluisen haaste. (Iosono GmbH 2013.)

## 6 Pohdinta

Opinnäytetyöprosessini jätti minut hieman kaksijakoisin ajatuksin elokuvaäänen tulevaisuudesta. Toisaalta on hienoa nähdä, että alan suuret yritykset ovat ottaneet asiakseen ajatuksen elokuvaäänen kehittämisestä seuraavalle tasolle. Toisaalta tapa, jolla sitä tällä hetkellä tehdään, eroaa hieman omista alkuperäisistä ajatuksistani. Otin lähtökohdakseni syvyyden kolmantena ulottuvuutena. Halusin etsiä uusia keinoja syvyysilmaisuuksiin ja tällä tavoin löytää vastinetta 3D-tekniikalle elokuvailmaisussa. Ilokseni huomasin, että moni muukin ennen mi-

nua on ottanut tähtäimekseen ja tutkimuksen kohteeksi juuri syvyyden kolmiulotteisessa ääni-ilmaisussa. Kappaleessa 2.5 esittelemäni kahden tutkimuksen lisäksi suosittelen tutustumaan suomalaisten Gröhnin, Lokin ja Takalan tutkimukseen *Comparison of auditory, visual, and audio-visual navigation in a 3D space* (2003) sekä P.D. Colemanin tai Soren Nielsenin tutkimuksiin syvyyshavainnoinnista. Näyttää kuitenkin siltä, että aihetta ei ole läheskään tarpeeksi tutkittu, jotta siitä voisi vetää suoria johtopäätöksiä tai sovelluksia elokuvaäänneen ja äänisuunnitteluun.

Otin syvyyden lähtökohdakseni kahdesta syystä. Ensinnäkin se on suoraan johdettu visuaalisesta 3D-tekniikasta ja sen mahdollistamasta tarkemmasta syvyyksilmaisusta. Toisekseen se on visuaalisen ärsykkeen kanssa samalla akselilla ja ei siten vie katsojan huomiota pois kuvasta, vaan pikemminkin vahvistaa katsojan uppoutumista eli immersiota elokuvan tapahtumiin. Immersio oli minulle terminä uusi, vaikkakin olen sen kanssa päivittäin tekemisissä elokuvien, videopelien ja kirjojen kautta. Oli tärkeää ottaa sen merkitys huomioon näinkin laajaa aihepiiriä käsitellessä ja tietysti myös siksi, että sitä käytetään voimakkaasti uusien äänentoistojärjestelmien markkinoinnissa. Yksi äänisuunnittelun kiehtovimmista aspekteista mielestäni on valjastaa tekniikka tarinan palvelukseen ja pyrkiä harmoniseen tasapainoon tekniikan ja narratiivin välillä.

Olenkin nyt hieman kaksitahoisissa ajatuksissa, koska en nähnyt löytämissäni ja käsittelemissäni järjestelmissä kovinkaan paljon edellä mainittuja asioita. Korkeuden ilmentäminen eli ääni y-akselilla tuntuu olevan tällä hetkellä äänisuunnittelussa se kolmas ulottuvuus. Itse en täysin vakuuttunut ole siitä, kuinka lisätty korkeus- tai overhead-taso voi palvella elokuvan perimmäistä tarkoitusta eli tarinankerrontaa tai edes kolmiulotteista syvyyksilmaisua, mutta en missään nimessä sitä vielä tuomitsekaan. Tämä koskee etenkin Auro 3D- ja Dolby Atmos -järjestelmiä, joissa syvyys joko kokonaan ohitettiin tai sitä pidettiin itseltään selvyytenä. Se on toki totta, että syvyyden ilmentäminen tapahtuu lähinnä äänileikkaus- ja miksauspöydällä, mutta olisi mielenkiintoista tietää, onko mikään järjestelmä edes harkinnut kaiutinsijoittelua syvyyssuunnassa esimerkiksi kankaan takana. Uskoisin, että äänikenttäsynteesin avulla olisi mahdollista luoda kankaan taakse joukko kaiuttimia, jotka sen toimintaperiaatteita noudattaen

loisivat tarkemman syvyysuunnassa levittyvän äänikentän. Kenties tällainen ratkaisu olisi mahdollista saada toimimaan rinnakkain perinteisen LCR-ajattelun kanssa – siis tietynlaisena hybridijärjestelmänä, jossa surround-kanavien sijasta keskityttäisiin niin sanottuun frontaalitasoon. Tällöin myös objektipohjaisella järjestelmällä olisi enemmän annettavaa, kun se valjastettaisiin kankaalla tapahtuvan liikkeen tarkoituksiin.

Oman mielenkiintoisen lisänsä saattaa myös tuoda Choueirin Pure Stereo 3D Audio, joka lupaa parempaa lokalisatiota kautta linjan ja on nimenomaan kahdelle kaiuttimelle suunniteltu. Jos se onnistuu ratkaisemaan ”ongelmansa” valittavan pienen optimaalisen kuuntelualueen kanssa, on siitä kotiteatterijärjestelmien lisäksi myös haastamaan elokuvan äänentoisto. Ylipäätään kehitys tänä päivänä tuntuu vaativan yhä enemmän kaiuttimia ja prosessoreja sekä joissakin tapauksissa myös tarkempaa akustista tilasuunnittelua. Kaikki nämä ovat asioita, jotka ovat esimerkiksi pienille suomalaisille elokuvateattereille suuria taloudellisia haasteita. Edes Suomen suurin elokuvaketju Finnkino ei ole hankkinut Auro 3D- tai Dolby Atmos –järjestelmää yhteenkään teattereistaan, vaikka esimerkiksi tänä tai viime vuonna julkaistuja elokuvia Hobitti ja Piin elämä ovat olleet tarjolla Dolby Atmos –miksauksella ja animaatio Viisi legenda Auro 3D –miksauksella. Finnkinon asiakaspalvelu kommentoi aihetta seuraavasti: ”Lähtölevaisuudessa Finnkino ei investoi Atmos -äänijärjestelmään. Aika näyttää tuleeko Atmos tai kenties jonkun muun valmistajan uusi äänijärjestelmä käyttöön Finnkinon uusissa teattereissa.” (HDinfo 2012.)

Tässä vaiheessa panen toivoni siis etukaiuttimien ja frontaalitason edessä tapahtuvaan kehitykseen ja jään mielenkiinnolla odottamaan, onnistuuko jokin käsittelemistäni äänijärjestelmistä vakiinnuttamaan paikkansa globaalissa elokuvateollisuudessa. Pienillä teoilla on jokaisen elokuvantekijän mahdollista luoda jotain suurta. Tästä todisteena ovat lukuisat ikivihreiksi mielletyt ja kerta toisensa jälkeen ihmisiä ympäri maailmaa liikuttavat elokuvat, joiden yhdistävä tekijä ei ole yliverainen tekniikka vaan jotain aivan muuta. Tekniikka antaa meille yhä kasvavissa määrin keinoja kertoa tarinoita ja olisi ajattelematonta kieltäytyä näistä keinoista. Jokainen suuri tekninen mullistus, kuten värielokuvan tai äänielokuvan saapuminen ja luonnollisesti myös stereoskooppinen elokuva on

kohdannut vastustusta, mutta lopulta vakiinnuttanut asemansa ja tuonut mukanaan uusia upeita mahdollisuuksia. Toivon että opinnäytetyöni on vähintään herättänyt ajatuksia elokuvaäänen potentiaalista. Se toimii tietynlaisena yleisluontoisena katsauksena kolmiulotteiseen elokuvaääneen tuoden esille uusia näkökulmia.

## Lähteet

- Alanen, P., Hyyppä, M. T., Järvillehto, T., Sintonen, M. 2003. Lääketiede ja tietenteoria. Turku. Kirja-Aurora.
- Audio Engineering Society. 2006. Spatial Aliasing Artifacts Produced by Linear and Circular Loudspeaker Arrays used for Wave Field Synthesis. [http://www.deutsche-telekom-laboratories.de/~sporssas/publications/2006/AES120\\_WFS\\_Spatial\\_Sampling.pdf](http://www.deutsche-telekom-laboratories.de/~sporssas/publications/2006/AES120_WFS_Spatial_Sampling.pdf). 22.1.2013.
- Auro Technologies. 2013. Auro 3D Creative Tool Suit. Belgia.
- Bacon, H. 2004. Audiovisuaalisen kerronnan teoria. Helsinki. Suomalaisen kirjallisuuden seura.
- Barco. 2013. Auro 11.1 versus object-based sound in 3D. Belgia.
- Barco. 2013. Auro 3D, creating a new dimension in sound. Belgia.
- Bear, M. F., Connors, B. W., Paradiso, M. A. 1996. Neuroscience: exploring the brain. USA: Lippincott Williams & Wilkins.
- Björk, S., Holopainen, J. 2005. Patterns In Game Design. USA: Charles River Media, Inc.
- Brooks, K. 2003. There is Nothing Virtual About Immersion: Narrative Immersion for VR and Other Interfaces. USA: Motorola Labs / Human Interface Labs.
- CARROUSO partners. 2001. CARROUSO – System Specification and Functional Architecture. [http://www2.idmt.fraunhofer.de/projects/carrouso/Deliverables/CARROUSO\\_D1\\_\\_Public\\_July\\_10th\\_2001.pdf](http://www2.idmt.fraunhofer.de/projects/carrouso/Deliverables/CARROUSO_D1__Public_July_10th_2001.pdf). 23.1.2013.
- Chion, M. 2009. Film, a sound art. USA: Columbia University Press.
- Dakic, V. 2009. Sound Design for Film and Television. Saksa: GRIN Verlag.
- Dolby Laboratories Inc. 2012. Dolby Atmos: Cinema Technical Guidelines. USA.
- Dolby Laboratories Inc. 2012. Dolby Atmos: Next-Generation Audio for Cinema. USA.
- HDinfo. 2012. Dolby Atmos ei kajahda Finnkinon saleissa. <http://loksu.kapsi.fi/2012/07/dolby-atmos-ei-kajahda-finnkinon-saleissa/>. 1.4.2013.
- Holmberg, J. 2003. Cinémas: Journal of Film Studies, Ideals of Immersion in Early Cinema. <http://www.erudit.org/revue/cine/2003/v14/n1/008961ar.html>
- Howard, M. D., Angus, J. 1996. Acoustics and Psychoacoustics. Englanti: Reed Educational and Professional Publishing Ltd.
- Iosono GmbH. 2013. IOSONO for Cinemas. <http://www.iosono-sound.com/cinema-solutions.html>. 23.1.2013.
- Karjalainen, M. 2009. Kommunikaatioakustiikka. [https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/s-89.3320/materiaali/S-89\\_3320\\_Kurssikirja.pdf](https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/s-89.3320/materiaali/S-89_3320_Kurssikirja.pdf). 9.1.2013.
- Kearney, G., Gorzel, M., Boland, F., Rice, H. 2010. Depth perception in interactive virtual acoustic environments using High Order Ambisonic soundfields. Trinity College Dublin, School of Engineering.
- Laaksonen, J. 2006. Äänityön kivijalka. Helsinki. Idemco Oy.



- Loy, G. 2006. *Musimathics: The Mathematical Foundations of Music, Volume 1*. USA: MIT Press.
- Moore, D. R., King, A. J. 1999. *Auditory perception: The near and far of sound localization*. Oxford University Laboratory of Physiology.
- Nutfire, T. 2013. *Crosstalk Cancellation*.  
<http://www.ibink.com/tnufire/docs/XTalkCancelation.pdf>. 18.1.2013.
- Palmer, K. 2011. *Adventures in 3D Sound: Bach and Binaural Recording*.  
<http://www.studio360.org/blogs/studio-360-blog/2011/apr/29/adventures-3d-sound-bach-and-binaural-recording/>. 9.1.2013.
- Princeton University. 2012. *Pure Stereo 3D Audio*.  
<http://www.princeton.edu/3D3A/Publications/Pure%20Stereo.pdf>. 30.12.2012.
- Riederer, K., Huopaniemi, J. 1997. *Ihmisen suuntakuulon tutkiminen*. Teknillinen korkeakoulu, Akustiikan ja äänenkäsittelytekniikan laboratorio.
- Suomen mediaopas. 2013. <http://www.mediaopas.com/sanasto/immersio/>
- Taub, E. 2009. *Will Sound Be Cinema's Killer App?*  
<http://gadgetwise.blogs.nytimes.com/2009/10/27/will-sound-be-cinemas-killer-app/?partner=rss&emc=rss?pagemode=print>. 20.1.2013.
- Theile, G. 2004. *Wave field synthesis – a promising spatial audio rendering concept*. [http://www.hauptmikrofon.de/theile/Theile\\_DAFX.PDF](http://www.hauptmikrofon.de/theile/Theile_DAFX.PDF). 22.1.2013.
- Turner, A., Berry, J., Holliman, N. 2011. *Can the perception of depth in stereoscopic images be influenced by 3D sound?* Innovative Computing Group, School of Engineering and Computing Sciences, Durham University.
- Wahlgren, O. 2012. *Binauraalinen suojaviiva ja kuuntelijan positio – binauraalisen äänitystekniikan käyttö kuunnelmassa*. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu. Viestinnän koulutusohjelma. Opinnäytetyö.
- Wikipedia. 2013. DCP. <http://fi.wikipedia.org/wiki/DCP>. 2.4.2013.
- Wikipedia. 2013. Huygensin periaate.  
[http://fi.wikipedia.org/wiki/Huygensin\\_periaate](http://fi.wikipedia.org/wiki/Huygensin_periaate). 25.1.2013.
- Wilkie, S., Stockman, T. 2012. *The Perception of Auditory-visual Looming in Film*. Teoksessa *CMMR London: Music & Emotions*. Queen Mary University of London.