

**Mikko Lämpsä**

**PUHALLINORKESTERIN ÄÄNITTÄMINEN**

**Opinnäytetyö  
KESKI-POHJANMAAN AMMATTIKORKEAKOULU  
Mediatekniikka  
Marraskuu 2011**



## TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

<b>Yksikkö</b> Ylivieskan yksikkö	<b>Aika</b> Marraskuu 2011	<b>Tekijä/tekijät</b> Mikko Lämpsä
<b>Koulutusohjelma</b> Mediatekniikka		
<b>Työn nimi</b> Puhallinorkesterin äänittäminen		
<b>Työn ohjaaja</b> Himanka Mikko		<b>Sivumäärä</b> 29
<b>Työelämäohjaaja</b> Puomio Hannu		
<p>Tässä opinnäytetyössä tallennettiin puhallinorkesterin live-esiintyminen, tarkoituksena valmistaa promo-cd heidän orkesteristaan. Tätä levyä käytetään yhtyeen markkinoinnissa sekä mainonnassa. Työssä käydään läpi äänityksen suunnittelu ja toteutus, mikrofonien toiminta, sijoittelu sekä stereotekniikat.</p> <p>Lopputuloksena valmistui kahdeksan kappaletta sisältävä master-cd, josta yhtye voi teettää tahtomansa määrän kopioita.</p>		

### Asiasanat

mikrofoni, mikrofonien sijoittelu, orkesteri, stereo, äämitys

**ABSTRACT**

<b>CENTRAL OSTROBOTHNIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES</b> Ylivieska	<b>Date</b> November 2011	<b>Author</b> Mikko Lämpsä
<b>Degree programme</b> Media Technology		
<b>Name of thesis</b> Recording a brass orchestra		
<b>Instructor</b> Mikko Himanka		<b>Pages</b> 29
<b>Supervisor</b> Hannu Puomio		
<p>The subject of this thesis was recording a live performance of a brass orchestra, and making a promotional cd of the orchestra. This cd will be used in the promotion and marketing of the orchestra. The focus in this thesis was on the planning and realization of the recording, how microphones function and how they can be placed, and stereo-techniques.</p> <p>As an end result a master-cd with eight songs was recorded. The band may reproduce as many copies of the cd as they desire.</p>		
<b>Key words</b> microphone, microphone placement, orchestra, recording, stereo,		

**TIIVISTELMÄ  
ABSTRACT  
SISÄLLYS**

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2 AKUSTIIKKA</b>	<b>3</b>
2.1 Äänentaajuus	3
2.2 Desibeli	4
2.3 Äänen akustiset ominaisuudet	4
2.3.1 Heijastuminen	5
2.3.2 Absorptio	5
2.3.3 Diffraktio	5
2.3.4 Kampasuodinilmiö	6
2.3.5 Seisova aalto	6
<b>3 STEREOFONINEN ÄÄNI JA SUUNTAKUULEMINEN</b>	<b>7</b>
3.1 Intensiteettiero eli ILD (engl. interaural level difference)	7
3.2 Aikaero eli ITD (engl. interaural time difference)	7
3.3 Kehoheijasteet eli HRTF	8
<b>4 MIKROFONIT</b>	<b>9</b>
4.1 Taajuusvaste	9
4.2 Mikrofonien herkkyys	9
4.3 Mikrofonien lajittelu toimintatavan mukaan	10
4.3.1 Dynaaminen mikrofoni	10
4.3.2 Kondensaattorimikrofoni	10
4.3.3 Painegradienttimikrofoni	11
4.3.4 Painevyöhykemikrofoni	12
4.4 Mikrofonien suuntakuviot	12
4.4.1 Pallokuvio	12
4.4.2 Herttakuvio	13
4.4.3 Kahdeksikko	14
4.5 Mikrofonien sijoittelu	14
4.5.1 AB-pari	14
4.5.2 MS-pari	15
4.5.3 XY-pari	15
4.5.4 Decca-puu	16
4.5.5 3:1-sääntö	16
<b>5 ÄÄNITYS JA JÄLKITYÖSTÖ</b>	<b>17</b>
5.1 Äänityksen suunnittelu ja toteutus	17
5.2 Jälkityöstö	24
<b>6 TULOKSET JA POHDINTA</b>	<b>25</b>

**KUVIOT**

- KUVIO 1. Akustiikan esiintymislava
- KUVIO 2. Siniaalto
- KUVIO 3. Desibeliasteikko
- KUVIO 4. Äänen heijastuminen
- KUVIO 5. Kampasuodinilmiö
- KUVIO 6. Dynaamisen mikrofonin rakenne
- KUVIO 7. Kondensaattorimikrofonin rakenne
- KUVIO 8. Pallokuvioinen mikrofoni
- KUVIO 9. Herttakuvioinen mikrofoni
- KUVIO 10. Kahdeksikko
- KUVIO 11. AB-pari
- KUVIO 12. XY-pari
- KUVIO 13. 3:1-sääntö
- KUVIO 14. Esiintymislavan ohjauskaappi
- KUVIO 15. Studion ohjauskaappi ja miksaustietokone
- KUVIO 16. NT2-mikrofonin herkkyykskaavio herttamuodossa
- KUVIO 17. NT2-mikrofonin herkkyykskaavio pallomuodossa
- KUVIO 18. Röde NT2-mikrofoni
- KUVIO 19. Orkesterin istuinkartta
- KUVIO 20. Schoepsin MK-22 stereopari kotelossaan
- KUVIO 21. Neumann KM 184-mikrofonin herkkysalue
- KUVIO 22. Miksauspöytä ja muut laitteet

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyöni aiheena oli suunnitella ja toteuttaa Quatro di Bothnia-puhallinorkesterin promo-cd:n äänitys. Tavoitteena oli luoda onnistunut ja hyvälaatuinen äänite yhtyeen esiintymisestä. Työn tilasi Hannu Puomio, joka on yksi yhtyeen perustajajäsenistä. Hän tahtoi yhtyeestä tavallista laadukkaamman mainoslevyn, jota voisi käyttää yhtyeen markkinoinnissa.

Quatro di Bothnia on alueorkesteri, joka toimii vuonna 1972 perustetun Laaksojen Soittajat ry:n yhtenä kokoonpanona. Quattro di Bothnia -projekti alkoi kaksi vuotta sitten, kun alueen puhallinorkestereiden koko alkoi pienentyä. Kalajoen, Nivalan, Oulaisten ja Ylivieskan puhallinsoittajat yhdistyivät yhteen isoon kokoonpanoon. Laaksojen Soittajat ry:n peruseriaate on puhallinmusiikin tunnetuksi tekeminen jokilaaksojen alueella. Laaksojen Soittajista pystytään tekemään monenkokoisia kokoonpanoja erilaisiin tilaisuuksiin, joita ovat mm. 60 henkilön puhallinorkesteri, pienemmät puhallinorkesterikokoonpanot sekä erikoisemmat kokoonpanot, kuten saksofonikvartetti vahvistettuna pianolla, sähköbassolla ja rummuilla. Lisäksi kokoonpanoihin kuuluvat tarvittaessa myös laulusolistit.

Kyseessä oli ensimmäinen ammattilaislaatuinen äänite sekä yhtyeelle että minulle. Äänitys tapahtui kahtena päivänä vuoden 2010 heinäkuussa. Ensimmäisenä päivänä tein alustavan suunnitelman mikrofonien sijoituksesta ja suuntaukset, tämän lisäksi päivä kului laitteistoon tutustumisella. Ennen äänitystilaisuutta opiskelin perusteet mikrofoneista ja niiden sijoittamisesta sekä perusteet ääniraitojen miksaamisesta. Nämä olivat ensimmäiset työvaiheeni. Äänitys tapahtui Ylivieskan musiikkitalo Akustiikassa.

Toisessa pääkappaleessa käsitellään akustiikan luonnetta, mikä se on ja miten se vaikuttaa ääneen. Kolmannessa pääkappaleessa käsitellään stereofonisen kuulemisen perusteet. Neljännessä pääkappaleessa käsitellään mikrofonien toimintaa sekä suuntakuvioita. Viidennessä pääkappaleessa käsitellään äänitystä ja jälkityöstöä.



KUVIO 1. Akustiikan esiintymislava

## 2 Akustiikka

”Ääni on luonteeltaan aaltoliikettä eli edestakaista säännöllistä värähtelyä, joka syntyy värähtelevän kappaleen vaikutuksesta ja joka voi edetä erilaisissa väliaineissa” (Laaksonen 2006, 4.) Ääneen liittyy useita erilaisia suureita, joita seuraavassa käydään läpi.

### 2.1 Äänen taajuus

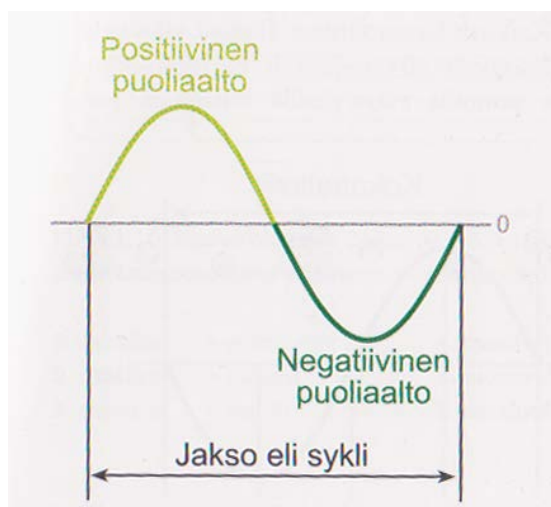
Taajuuden kuvaamiseen käytetään yleensä siniaaltoa, jossa kokonainen aalto tarkoittaa sykliä. Äänen taajuus kertoo sen, kuinka monta sykliä ääni tekee sekunnissa. Mitä suurempi määrä hertsejä on, niin sitä korkeampi ääni on kyseessä. Ihmisen kuuloalue on yleensä 20-20 000 Hz (Huber & Runstein 2005, 41). Tosin vanhuksilla korkeimmat taajuudet katoavat. Taajuutta mitataan seuraavalla kaavalla:

$$f = 1 / T,$$

jossa

f=taajuus (Hz)

T= yhteen sykliin käytetty aika



KUVIO 2: Siniaalto (Laaksonen 2006, 7.)



## 2.2 Desibeli

Desibeli (dB) tarkoittaa, äänen voimakkuutta mitattaessa, staattisen ilmanpaineen ja äänenpaineen eroa. Mitä suuremmasta erosta on kyse, sitä voimakkaammalta ääni kuulostaa. Tämä mittayksikkö ei siis kuvasta mitään pysyvää arvoa, vaan on se tarvitsee toimiakseen vertailukohteen. Vertailukohde merkitään dB-merkinnän loppuun. Esimerkiksi dBA tarkoittaa äänenpainetasoa ja dBu tarkoittaa signaalitasoa. (Huber & Runstein 2005, 51-54.) Yleisen äänenvoimakkuuden mittaamisessa käytetyin muoto on dB SPL, joka tarkoittaa äänenpainetasoa (Sound Pressure Level). Desibeli lasketaan logaritmillä:

$$\text{dB SPL} = 20 \lg (P/P_0)$$

<b>DESIBELIASTEIKKO ARKIELÄMÄN ÄÄNILLE</b>	
<b>0 dB</b>	kuulokynnys
<b>10 dB</b>	lehtien havina
<b>20 dB</b>	tyhjän studion kohinat
<b>30 dB</b>	kodin pohjahäly
<b>40 dB</b>	konserttisalissa hiljaisin pianissimo
<b>50 dB</b>	hiljainen keskustelu
<b>60 dB</b>	kovaääninen keskustelu
<b>70 dB</b>	radion kuunteluvoimakkuus, keskim.
<b>85 dB</b>	diskon meluraja
<b>100 dB</b>	telakka, kova melu katupora
<b>130 dB</b>	kipuraja
<b>yli 130 dB</b>	kuulolle vaarallinen melu

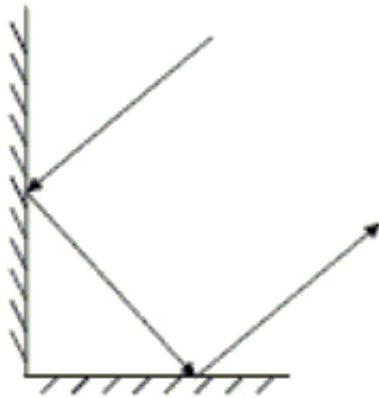
KUVIO 3. Desibeliasteikko (Korpinen 2005.)

## 2.3 Äänen akustiset ominaisuudet

Kaikissa äänitystilanteissa, varsinkin live-taltioinnissa, tilan akustiset ominaisuudet korostuvat. Akustisiin ominaisuuksiin kuuluvat tilan koko, pintojen materiaalit, pintojen kaltevuus sekä tietysti muoto. Pienetkin muutokset edellä mainittuihin asioihin saattavat aiheuttaa suuren muutoksen äänien sointiin.

### 2.3.1 Heijastuminen

Osueissa rajapintaan ääniaalto tai sen osa heijastuu tulokulmansa negatiivisessa vastineessa. Esimerkiksi 90 asteen kulmassa saapuva ääni heijastuu samassa päinvastaisessa kulmassa takaisin. (Huber & Runstein 2005, 39.) Seuraavassa kuvassa näkyy miten ääni ns. kimpoaa toiseen seinään. Mikäli signaalin tulokulma olisi suuri, se ei välttämättä osuisi toiseen seinään ollenkaan.



KUVIO 4. Äänen heijastuminen

Tämän tähden esiintymisaleissa ei käytetä paljoakaan tasaisia ja sileitä pintoja, jos sellaisia käytettäisiin, niin ääni jäisi ”elämään” tilassa. Tästä syystä saleissa seinät ovat vinoja ja eri suuntaisia. Pintamateriaaleja käytetään useita erityyppisiä, riippuen halutusta äänensävyistä. Esimerkiksi rock-musiikissa käytetään voidaan käyttää pehmeitä ja huokoisia materiaaleja, jotka imevät osan äänestä itseensä, kun taas klassisessa musiikissa käytetään kovia materiaaleja, jotka saavat äänen heijastumaan hyvin. Yhteistä näille materiaaleille tai pinnoituksille on se että niiden pinnan pitää olla vino, jotta heijastumista ei tapahtuisi. Tässä siis käytetään hyväksi diffuusiota, jossa epätasainen pinta hajauttaa äänen eri suuntiin.

### 2.3.2 Absorptio

Äänen kohteena olevan pinta imee aina osan ääniaallosta itseensä. Nyrkkisääntönä voidaan pitää sitä että mitä paksumpi ja huokoisempi seinämateriaali on, niin sitä matalampia taajuuksia se itseensä imee. Korkeilla taajuuksilla absorptioon vaikuttaa pinnan muoto.

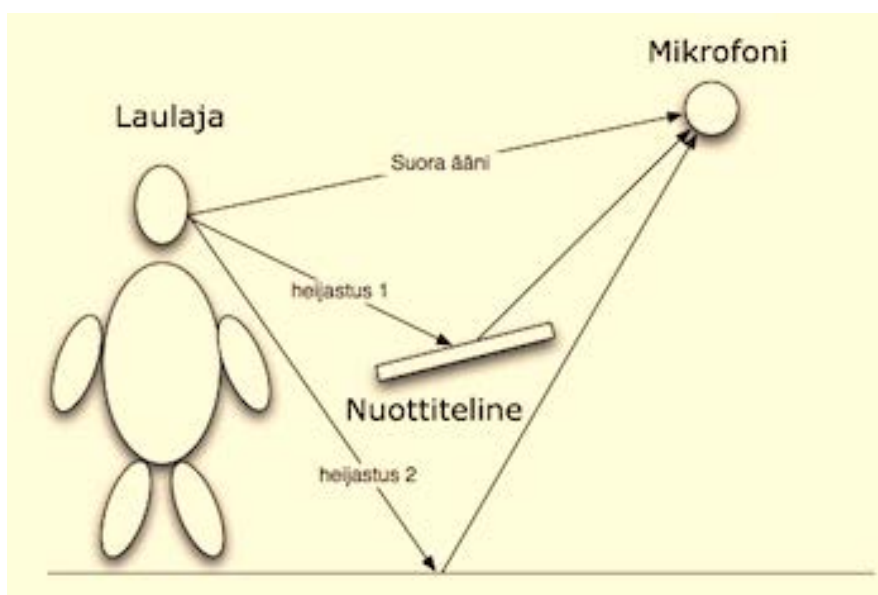
Tehokkain tapa on akustisten levyjen käyttäminen, valitettavasti ne ovat metrihinnaltaan usein hyvinkin kalliita ja ulkonäöllisesti rumia. Usein ulkonäköä voidaan parantaa asentamalla levyn päälle jokin kevyt pintamateriaali.

### 2.3.3 Diffraktio

Edellä mainittujen ilmiöiden lisäksi saattaa tapahtua myös diffraktiota. Tämä tarkoittaa sitä että ääniaallon reitillä oleva objekti saattaa taivuttaa äänen reittiä. Havainnollistavana esimerkkinä voidaan käyttää tulvaveden kulkua metsikössä. Aluksi vesi kulkee virran mukaisesti, mutta kohdatessaan esteen esimerkiksi puun se kiertää sen molemmiin puolin ja ohitettuaan sen yhtyy jälleen yhtenäiseksi massaksi.(Schlanger 2008.)

### 2.3.4 Kampasuodin-ilmiö

Suoraan ja heijastuneen ääniaallon välille syntyy pieni aikaero, joka aiheuttaa vaihevirheen. Tästä johtuen jotkut taajuudet korostuvat ja toiset heikkenevät tai jopa kumoutuvat täysin. Seuraavassa kuvassa laulajan ääni tulee mikrofoniin kolmesti, mutta joka kerta hieman eri aikoina. Stereokuuntelulla tällaisen huomaaminen vaatii tarkan korvan, mutta monomuodossa se on erittäin helppo havaita. Tätä ilmiötä voidaan käyttää myös tehokeinona, jolloin sitä kutsutaan phaser-efektiksi(Laaksonen 2006, 369.)



KUVIO 5. Kampasuodinilmiö (Karvonen 2010.)

### 2.3.5 Seisova aalto

Kahden yhdensuuntaisen seinän välissä syntyy vahvoja äänenpaineen maksimi- ja minimikohtia. Tietyt taajuudet värähtelevät synkronoituna huoneen kanssa jääden soimaan pitempään. Matalien äänten värähtelyt häipyvät nopeammin kuin korkeitten, jotka muuttuvat lopulta diffuusiksi.(Saksala 2011.) Seisova aalto voidaan estää parhaiten siten, että äänitystilan seinät ovat erisuuntaiset. Siis yksi seinä on tavallinen pystyseinä, mutta sen vastainen seinä on rakennettu hieman kallelleen. Tällöin ääniaalto ei kimpoa takaisin suoraan seinään.

### 3 Stereofoninen ääni ja suuntakuuleminen

Stereofonia eli stereo tarkoittaa sellaista äänitys- tai toistojärjestelmää, jossa käytetään enemmän kuin yhtä mikrofonia, ja kuunnellessa on useampia kaiuttimia. Tällä menetelmällä kuuntelutilanteessa voi havaita kohtalaisen tarkasti äänten suuntia ja keskinäisiä etäisyyksiä. Yleensä stereoäänestä puhuttaessa tarkoitetaan juuri 2-kaiuttimista äänijärjestelmää (vasen ja oikea kanava), mutta myös muut monikanavaiset äänentoistolaitteet ovat stereofonisia. Stereossa perspektiivi on näyttämöllinen, kaiuttimet ja kuuntelija on sijoitettu tasasivuisen kolmion (60 astetta) kulmiin, ja kaiuttimien välistä janaa kutsutaan stereokannaksi.(Laaksonen 2006. 273.) Kannan väliin muodostuvia ääniluusuioita kutsutaan näennäisiksi äänilähteiksi (phantom-image).(Laaksonen 2006. 274.) Äänen tulosuunta havaitaan, koska korvat kuulevat äänen hieman toisistaan poikkeavasti tulosuunnasta riippuen. Ihmisen aivot ovat kohtuullisen tarkkoja paikantamaan äänisignaaleja edestä, takaa sekä sivuilta. HRTF-ilmiön ansiosta kykenemme myös erottelemaan sen, tuleeko ääni ylhäältä vai alhaalta.

#### 3.1 Intensiteettiero eli ILD (engl. interaural level difference).

Sivulta tuleva ääni saapuu voimakkaampana lähempään korvaan. Tämä voimakkuusero havaitaan äänen suuntana. Varjopuolella oleva korva ei kuule korkeimpia ääniä, koska pää osittain imee ja osittain heijastaa ne. Bassoäänien aallonpituus on niin pitkä, että ne kulkevat pään ympäri. Intensiteettiero on tarkka yli noin 1200-1400 Hz taajuuksilla, koska silloin äänen aallonpituus on pään halkaisijaa pienempi.(Aro 2006. 31-32.)

#### 3.2 Aikaero eli ITD (engl. interaural time difference)

Aivot paikallistavat äänen sille puolelle, johon se saapuu ensimmäisenä. Pää aiheuttaa korvien välille noin 1 millisekunnin viiveen. Jos ääni jatkuu tasaisena ja yhtenäisenä, aikaeroa ei huomaa. Tasaisesti jatkuvassa äänessä korvien tärykalvot liikkuvat eri tahtiin, jolloin ääni voidaan paikallistaa. Arkielämässä ILD sekä ITD toimivat samanaikaisesti, vaikka paikallistamiseen riittäisi jompikumpi. Molempien ilmiöiden yhtäaikaisuus selittynee

sillä, että matalataajuiset äänet on helpompi paikantaa IDT:n avulla, kun taas korkeataajuiset äänet voidaan lokalisoida ILD:n avulla.(Aro 2006. 31.)

### **3.3 Kehoheijasteet eli HRTF**

HRTF (eng. head-related transfer funktion) tarkoittaa ihmiskehon aiheuttamia vaikutuksia ääniaaltoon. Äänen saapumista korviin voidaan kuvata HRTF-vasteiden avulla. Tietyn suuntainen HRTF-vaste koostuu kaiuttomassa tilassa mitatuista siirtofunktioista kyseisessä suunnassa olevasta äänilähteestä kuulijan molempiin korviin. Vastaavista impulssivasteista käytetään lyhennettä HRIR (head related impulse response). Vasteet riippuvat pään, korvalehtien ja ylävartalon muodoista ja ovat täten yksilöllisiä. HRTF-ilmiötä voidaan simuloida joko tietokoneohjelmilla käyttämällä ns. ”keinopäätä” tai korvakäytäviin sijoitettavilla minimikrofoneilla.(Aro 2006. 33-36.)

## 4 MIKROFONIT

Laadukas mikrofoni on kaikkien akustisten tilanteiden äänittämisessä kaikkein tärkein edellytys. Ilman hyvälaatuista ja toimivaa mikrofonia äänitteestä ei tule hyvää. Mikään jälkikäsitteily ei korjaa huonon mikrofonin ääntä. Yleisimmät mikrofonien lajitteluperusteet ovat toimintaperiaatteet ja suuntakuvio.

### 4.1 Taajuusvaste

Lyhyesti sanottuna taajuusvaste tarkoittaa sitä, kuinka hyvin mikrofoni ”kuulee” kunkin taajuuden. Yleensä taajuusvaste esitetään graafisena käyränä, jossa matalat ääniaallot ovat vasemmalla ja korkeat oikealla. Useimmissa mikrofoneissa käyrä laskee kaikkein matalimpien ja korkeimpien taajuuksien kohdalla. Matalissa äänissä tämä selittyy sillä, että on turhaa tallentaa ääniaaltoja, joita yleisimmin käytetyt toistolaitteet eivät kykene toistamaan. On kuitenkin tärkeää että mikrofoni tallentaa kaiken hyötyäänäen mitä äänitystilassa kuuluu, turhat huiput voidaan poistaa myöhemmin jälkityöstöllä. Taajuusvastekäyrässä on yleensä myös kuvattuna läheisysefekti (engl. proximity effect), joka tarkoittaa bassoäänien korostumista, kun mikrofoni on lähellä kohdetta. Tämä koskee vain suuntaavia suuntakuvioita eli ei pallokuvioita. (Shure 2007, 7.)

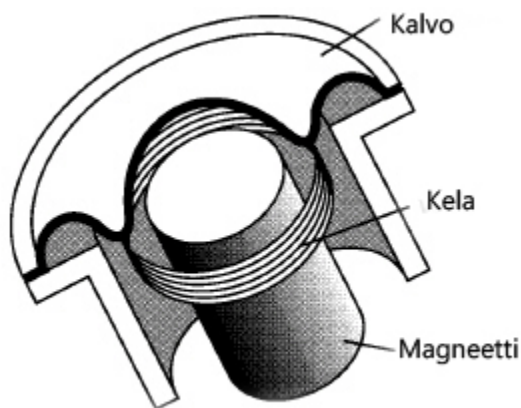
### 4.2 Mikrofonin herkkyys

Mikrofonin herkkyys kertoo sen, miten mikrofonista ulos saatava jännite muuttuu paineen funktiona. Toisin sanoen, kuinka pieniä paine-eroja se havaitsee. Mikrofonin herkkyys ilmoitetaan yleensä arvona mV/Pa (millivolttia per Pascal). Yksi Pascal (Pa) on yhtä paljon kuin 94 db-SPL (sound pressure level). Yleensä volttimäärä muunnetaan yhtä voltia vastaavan desibelitasoon(dBV). Valittaessa mikrofonia johonkin sovellukseen täytyy mikrofonin herkkyyden kanssa olla tarkkana. Mikrofonin herkkyys vaikuttaa suoraan ulostulojännitteeseen. Mitä suurempi herkkyys mikrofonilla on, sitä paremman signaalikohinasuhteen se omaa. (TvTechnology.com 2010.)

### 4.3 Mikrofonien lajittelu toimintatavan mukaan

#### 4.3.1 Dynaaminen mikrofoni

Dynaaminen mikrofoni toimii sähkömagneettisen induktion avulla. Akustiseen tärykalvoon on kiinnitetty kevyt johtokela, joka liikkuu kalvon mukana. Tämä ns. puhekela indusoi vaihtojännitteen, liikkuaan mikrofonin sisäisen kestomagneetin ympärillä. Dynaamisen mikrofonin tärykalvo on yleensä pyöreä levy, joka on kiinnitetty suoraan kulmaan nolla-akseliin nähden. On myös olemassa nauhamallinen kalvo, joka ei tarvitse erillistä puhekela. Nauhamallinen mikrofoni on erittäin tarkka taajuuksien kohdalla, mutta on myös tavallista herkempi kolhuille. Koska dynaamiset mikrofonit kestävät paremmin kolhuja, ne soveltuvat hyvin lavakäyttöön sekä kovaäänisten soittimien äänittämiseen. (Shure 2007, 5.)



KUVIO 6. Dynaamisen mikrofonin rakenne. (Shure 2007, 5.)

#### 4.3.2 Kondensaattorimikrofoni

Kondensaattorimikrofoni toimii muuttuvan kapasitanssin periaatteella. Kuten dynaamisessa mikrofonissakin, myös kondensaattorimikrofonissa on kalvo mutta sitä ei ole kiinnitetty kelaan. Kalvo sijoitetaan lähelle takalevyä, täten muodostaen ilmaeristeisen kondensaattorin. Kun tämän parin välille kytketään jännite, yhdistelmän vaihteleva kapasitanssi aiheuttaa tasajännitteen moduloitumisen kalvon vastaanottaman äänivärähtelyn tahdissa. Tämän tyyppiset mikrofonit tarvitsevat aina käyttöjännitteen. Yleisin käytetty virransyöttötapa on



Phantom-virta, joka on 48 voltia. Elektreettimikrofoni on kondensaattorimikrofoni, jossa on pysyvä jännite. Hyvälaatuisissa elektreettimikrofoneissa on myös esivahvistin, joka tarvitsee lisävirran.



KUVIO 7. Kondensaattorimikrofonin rakenne (Shure 2007, 5.)

### 4.3.3 Painegradienttimikrofoni (nopeusmikrofoni)

Painegradienttimikrofonissa on avoin kalvo, ja ääniaallot pääsevät kalvon etu- ja takapuolelle. Kalvo taipuu etu- ja takapuolen paine-erojen vaikutuksesta. Painegradienttimikrofonin akustinen periaate aiheuttaa sen, että mikrofoni reagoi huonosti mataliin ääniin. Kun matalat äänet vyöryvät mikrofoniakalvon ohi, matalilla taajuuksilla on hyvin vähän paine-eroa kalvon molemmin puolin. Korkeilla taajuuksilla paine-ero on huomattavasti suurempi. Tämä rakenteellinen ongelma on jouduttu rakenteellisesti kompensoimaan niin, että mikrofoni korostaa matalia taajuuksia. Se merkitsee samalla sitä, että matalat häiriöäänet, kuten tuulihäiriöt, korostuvat (Laaksonen 2006, 238). Samaan asiaan liittyy se, että painegradienttimikrofoneissa matalat taajuudet korostuvat, kun mikrofoni on hyvin lähellä äänilähdettä. Tämä on ns. lähiefekti eli ”proximity-efekti”. Syynä on se että lähietäisyydellä äänenvoimakkuus nopeasti vähenee, kun etäännyttään mikrofoniasta. Siitä syntyy ylimääräistä paine-eroa kalvon etu- ja takapuolelle. Kun matalia vielä korostetaan, vaikutus tulee esiin voimakkaana matalilla taajuuksilla.

#### 4.3.4 Painevyöhykemikrofoni PZM

Uudenlaista ajattelua edusti aikanaan PZM-mikrofoni (eng. pressure zone microphone) eli painevyöhykemikrofoni. Sen periaate on seuraava: Kun ääni osuu suureen pintaan, aivan pinnan tuntumassa, muutaman millin etäisyydellä, ääni on kaksi kertaa voimakkaampaa. Siinä on yhtaikaa tuleva ja heijastuva ääniaalto. Mikrofonin kannattaa sijoittaa hieman pinnan yläpuolelle. PZM-mikrofonissa on hyvin pieni painemikrofoni (pallosuuntakuvio). D. M. Huber esittelee kirjassaan *Microphone Manual , Design and application* (1988) erilaisia konstruktioita, joilla voi kokeilla pinnan lähellä olevaa painevyöhykettä.

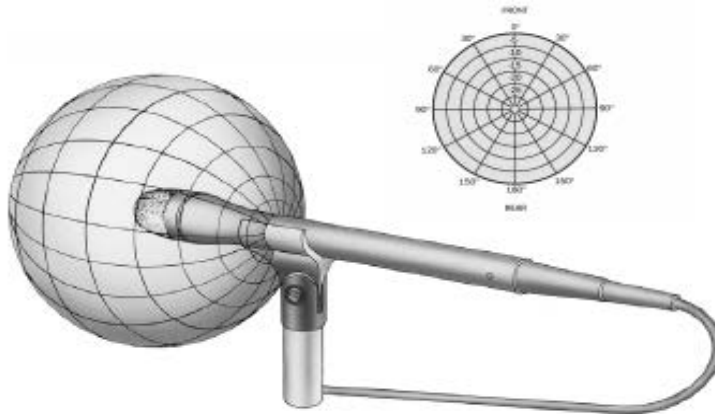
Tämän teknologian tärkein hyöty on heijastuvien äänten aiheuttaman häiriön poisto.

Tavanomainen mikrofoni tallentaa päälähteen lisäksi myös jälkikaiut, joka voi johtaa luonnottomaan äänentoistoon. Painevyöhykemikrofoneissa ääniaallot ovat aina samassa vaiheessa joten häiriöitä ei synny. PZM-mikrofoneilla on myös yleensä tasainen taajuusvaste sekä hyvin johdonmukainen nolla-akselista eroavien äänten tallennus (Huber 1988.)

#### 4.4 Mikrofonien suuntakuviot:

##### 4.4.1 Pallokuvio

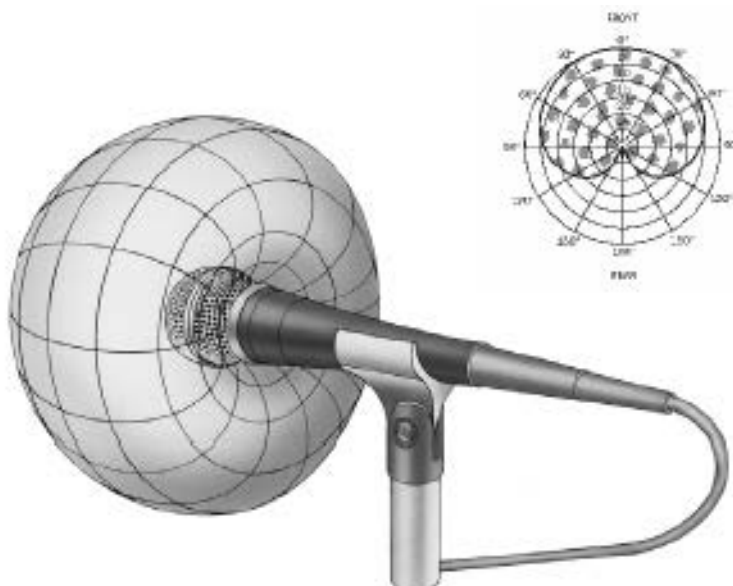
Pallokuvio (engl. Omnidirectional) mikrofoni vastaanottaa ääntä tasaisesti joka puolelta. Tästä johtuen sitä ei tarvitse suunnata kohdetta kohti, vaan pelkkä etäisyyden arviointi riittää. Täytyy kuitenkin muistaa että väitetystä suuntakuvioista riippumatta kaikki mikrofonit ovat bassoäänten kohdalla pallokuvioisia. Sama pätee käänteisesti korkeissa taajuuksissa, joissa pallokuvio ei aina ole täysin pyöreä. Tässä pätee vanha viisaus: halvalla ei hyvää saa.



KUVIO 8. Pallokuviainen mikrofoni (Shure 2005.)

#### 4.4.2 Herttakuviainen

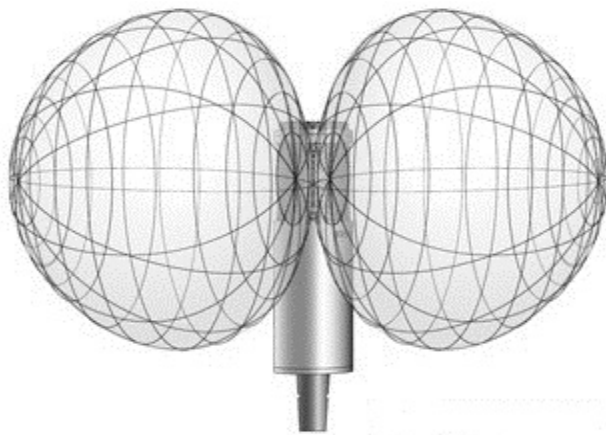
Herttakuvioisella (engl. cardioid, unidirectional) mikrofoniolla on yksi pääasiallinen äänityssuunta. Tämä tarkoittaa että mikrofoni täytyy suunnata tarkasti aiottua kohdetta kohti. Herttakuvioisen mikrofoniin epäherkin äänityssuunta on suoraan takaa. Matalilla äänentaajuuksilla herttakuviainen mikrofoni muuttuu pallomaisemmaksi. Herttakuvioisiin mikrofoneihin lukeutuvat myös superhertta ja hyperhertta. Molemmissa näistä on terävämpi eteenpäin suuntaavuus kuin tavallisessa herttakuviossa, mutta niissä on myös kapea taaksepäin suuntautuva herkkyysalue.



KUVIO 9. Herttakuvionen mikrofoni (Shure 2005.)

### 4.4.3 Kahdeksikko

Tämä suuntakuvio ottaa äänen, nimensä mukaisesti, kahdeksikon muodossa, eli sillä on kaksi nolla-akselia. Epäherkimmät alueet ovat sen sivustoilla. Omimmillaan tällaisen suuntakuvion omaava mikrofoni on esimerkiksi duettoa äänittäessä. Tätä kuviota käytetään yleisimmin yhdessä muitten mikrofoniensa kanssa, kuten esimerkiksi M/S-paria luodessa. Kahdeksikkokuvioista mikrofonia voidaan myös hyödyntää äänitystilanteissa, joissa on paljon vuotoääniä, sillä kuvio on kuuro sivuilta tuleviin ääniin.



KUVIO 10. Kahdeksikko (Ears and Gears 2008.)

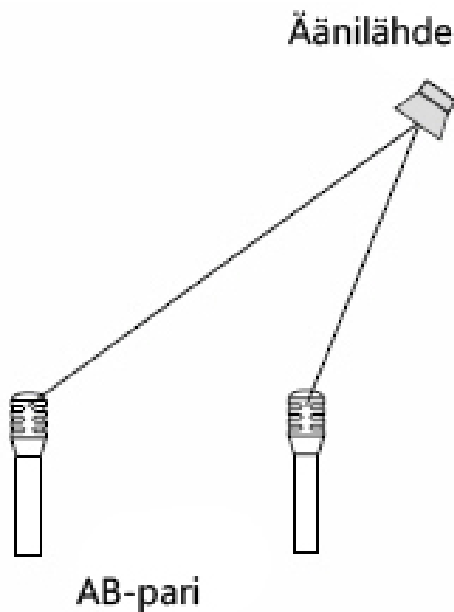
## 4.5 Mikrofonien sijoittelu:

### 4.5.1 AB-pari

Yleisnimitys AB tarkoittaa hajautettua mikrofoni-paria, joihin ääniaallot tulevat eri aikaan ja eri suunnasta.

Yleensä tässä sijoittelutavassa käytetään pallokuvioisia mikrofoneja, jotka sijoitetaan toisistaan 30cm-3m etäisyydelle toisistaan ja panoroidaan vasemmalle sekä oikealle. Tällä tavalla saadaan talteen yhtyeen tai soittimen ääni stereona. Mikrofonien välinen etäisyys riippuu äänilähteen fyysisestä koosta ja etäisyydestä. Esimerkiksi jos kaksi mikrofonia sijoitetaan noin metrin etäisyydelle äänityksen kohteena olevasta akustisesta kitarasta, niin soitin kuulostaa olevan stereokuvan keskellä.

AB-parin haittapuolena on mahdollinen vaihekääntymä. Johtuen mikrofonien suhteellisen suuresta etäisyydestä, ääni saapuu mikrofoneihin eri aikoina, joka saattaa aiheuttaa ääniaallon kumoutumisen tai summautumisen. Mahdollisen ongelman havaitsee helposti laittamalla äänet monotilaan. Toisaalta monoyhteensopivuudella ei enää ole kovinkaan suurta merkitystä, sillä useimmat ihmiset kuuntelevat äänitteitä vähintäänkin stereofonisesti. Tosin esimerkiksi liiketiloissa, hisseissä ym. on yleensä käytössä monotoisto, joten sekin pitää ottaa huomioon.



KUVIO 11. AB-pari

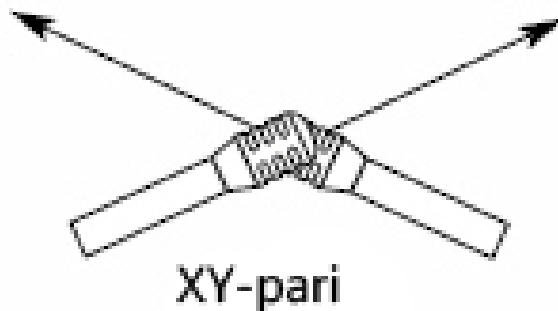
#### 4.5.2 M/S-pari

Niin sanottu mid/side-pari, jossa käytetään yhtä kahdeksikkokuvioista ja yhtä herttakuvioista mikrofonia. Herttakuvioinen mikrofoni suunnataan äänilähteen keskelle ja kahdeksikko sijoitetaan sen päälle siten, että sen nolla-akselit osoittavat sivuille. MS-paria kannattaa käyttää silloin kun on epävarmaa kuinka laaja stereokuva halutaan. Tässä muodossa herttakuvioinen mikrofoni ottaa äänen monona ja stereokuva saadaan aikaiseksi lisäämällä siihen kahdeksikon tuomat vaikutukset. Videokameroiden mikrofonit ovat monesti juuri M/S-pareja.

### 4.5.3 XY-pari

Tämä tekniikka käyttää kahta, saman merkkistä ja mallista herttamikrofonia siten että kapselit ovat mahdollisimman lähellä toisiaan. Tästä muodosta on myös munnelmia, joissa mikrofonien etäisyyttä on kasvatettu. Näistä esimerkkinä NOS-asetelma, jota Hollannin radio käyttää. Äänilähteen koosta, sekä halutusta äänestä riippuen, mikrofonipari sijoitetaan 90-135 asteen kulmaan toisistaan.

Johtuen mikrofonien lähekkäisyydestä ääniaallot saapuvat niihin lähes samanaikaisesti, täten vähentäen tai jopa eliminoiden mahdolliset vaiheongelmat. Tämä tekniikka antaa hyvän stereokuvan, mutta ei ole paras mahdollinen jos äänilähde on erittäin leveä. Tällä tekniikalla saadaan aikaan myös mono-yhteensopivuus, sillä kapselit ovat samalla linjalla.



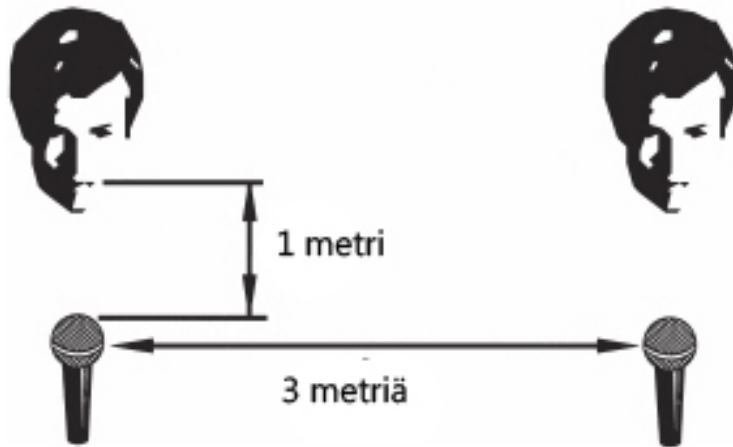
KUVIO 12. XY-pari

### 4.5.4 Decca-puu

Tätä sijoittelua käytetään erityisesti suurten kokoonpanojen äänittämisessä. Valitaan kolme pallokuvioista mikrofonia, jotka asetetaan kolmion muotoon ja sijoitetaan 2-3 metriä kapellimestarin yläpuolelle. Tämä mikitystapa on saanut suuren suosion varsinkin 5.1 surround-äänityksissä. Decca-muoto ei tallenna pelkästään instrumenttien vasen/oikea-sijaintia, vaan myös sen ovatko ne etu-, vai taka-alalla. Tämä on hyvin hyödyllinen ominaisuus sellaisissa äänitystilanteissa, joissa lähimikitys veisi syvyysvaikutelman vaikutelman. Decca-puu oli myös eräs ensimmäisistä stereofonisista muodoista.

#### 4.5.5 3:1-sääntö

Käytettäessä useampaa mikrofonia niiden toisiinsa aiheuttama vaikutus voidaan minimoida käyttämällä 3:1-sääntöä. Säännön mukaan etäisyys mikrofonien välillä tulisi olla vähintään kolminkertainen, verrattuna sen aiotun äänilähteen etäisyyteen. Tällä tavoin voidaan vähentää kampsuodinilmiön kuuluvia vaikutuksia usean desibelin verran. Jos tilanteessa on mukana myös heijastavia pintoja, niin mikrofonien tulisi olla vähintään 1.5 kertaa kauempana niistä, kuin aiotusta äänilähteestä.



KUVIO 13. 3:1-sääntö

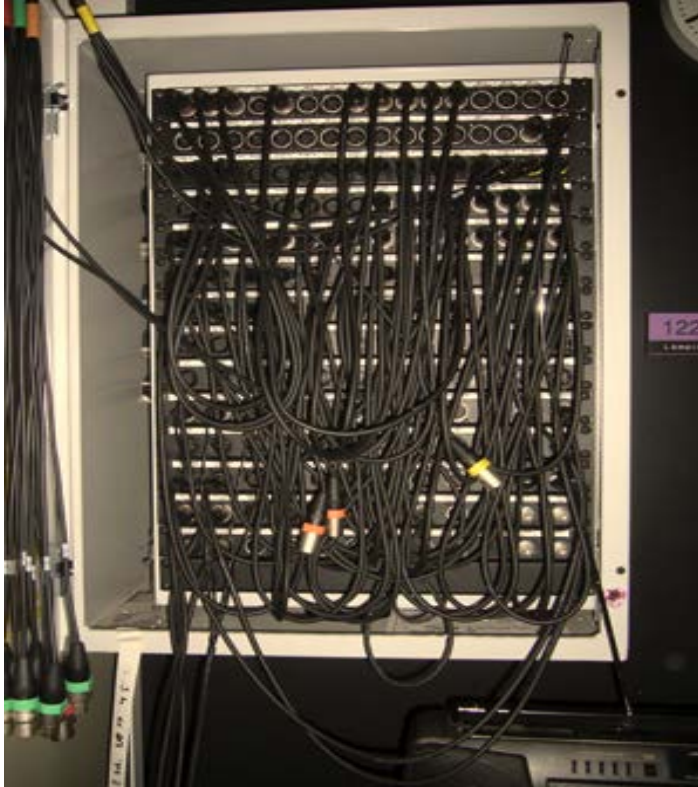
## 5 ÄÄNITYS JA JÄLKITYÖSTÖ

### 5.1 Äänityksen suunnittelu ja toteutus

Quatro di Bothnia-puhallinorkesterin kenraaliharjoitus äänitettiin Ylivieskan musiikkitalo Akustiikassa heinäkuussa 2010. Akustiikan esiintymissalin akustiikka on lähellä erinomaista. Äänitysoperaatio tapahtui kahtena eri päivänä. Ensimmäisenä päivänä kokeiltiin mikrofoni sijoittamista sekä suuntaamista ja testattiin äänitysstudion laitteistoa. Aiempaa kokemusta laitteiden käytöstä oli allekirjoittaneella mutta ne osoittautuivat vähäisiksi.

Ensimmäinen päivä, kuten myös osa toisesta, olivat hyvin kiireellisiä. Itse äänitysstudion laitteet eivät tuottaneet kovinkaan suuria vaikeuksia, mutta äänen saattaminen koneeseen osoittautui hyvinkin ongelmalliseksi. Esiintymislavalle on sopiviin kohtiin sijoitettu XLR-tyyppisiä kiinnityskohtia mikrofoneille, niistä äänisignaali johdatetaan ristiinkytkentätauluun. Taulussa kukin XLR-liitin oli numeroitu. Tässä kohtaa vaikeudet alkoivat. Nyt pitäisi yhdistää johdoilla MIC1-liitin ja ko. mikrofoni siihen liittimeen joka vie äänitysstudioon. Pistokkeet olivat kyllä merkittävät mutta ne olivat vaikeaselkoisesti nimettyjä. Myöhemmin kävi myös ilmi, että ko. taulu piti käynnistää tarkkaamosta.



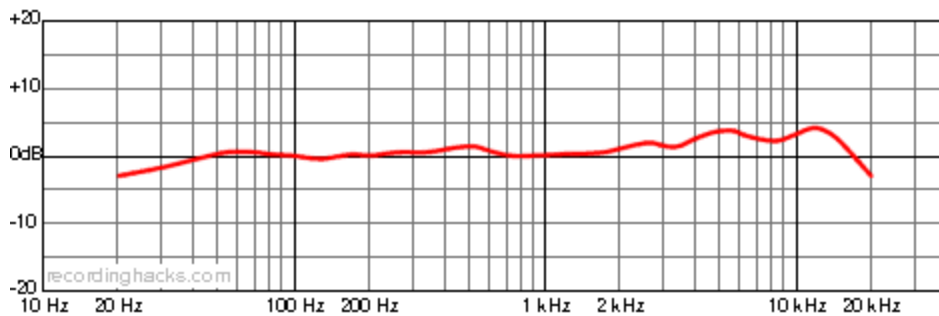


KUVIO 14. Esiintymislavan ohjauskaappi

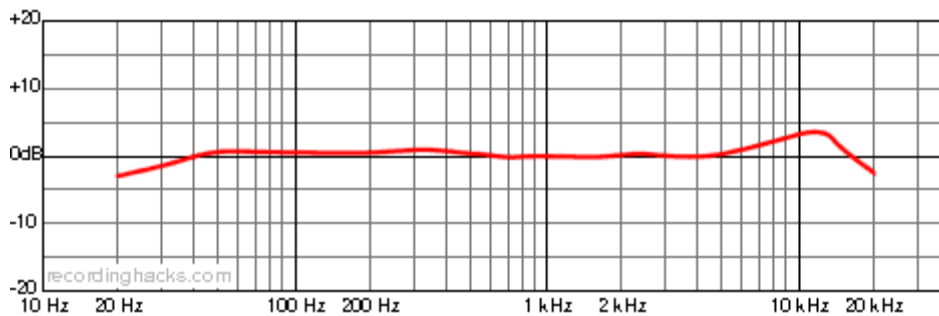


KUVIO 15. Studion ohjauskaappi ja miksaustietokone

Yritysten ja erehdysten jälkeen asia lopulta kuitenkin kääntyi onnistumiseksi. Nyt päästäisiin suuntaamaan mikrofoneja ja testaamaan parhaan tuloksen tuovaa järjestystä. Tarkoituksena oli rakentaa Decca tree, mutta sopivia mikrofoneja ei ollut saatavilla, joten jouduttiin tyytymään kahteen Røde NT2-mikrofoniin. Mikrofonit sijoitettiin telineeseen hajautettuna parina (AB-pari), joitten väli oli 30 cm. Mikrofonit kiinnitettiin jalustaan joustavalla ”kehdolla” joka pitää mikrofonin tukevasti paikallaan, mutta myös vaimentaa tärähdyksiä.



KUVIO 16. NT2-mikrofonin herkkyyskaavio herttamuodossa (McGlynn 2008.)



KUVIO 17. NT2-mikrofonin herkkyyskaavio pallomuodossa (McGlynn 2008.)

Tämä nostettiin noin kolmen metrin korkeuteen ja sijoitettiin kapellimestarin taakse. Näissä mikrofoneissa oli vaihdettava suuntakuvio, joista tilanteeseen sopivin oli pallokuvio. Tällä menetelmällä saadaan mukaan tilan tuntua, koska mikrofonit kaappaavat myös takaapäin tulevat heijastukset. Live-tilanteessa mukaan tulisivat myös yleisön aiheuttamat äänet, kuten yskiminen jne.

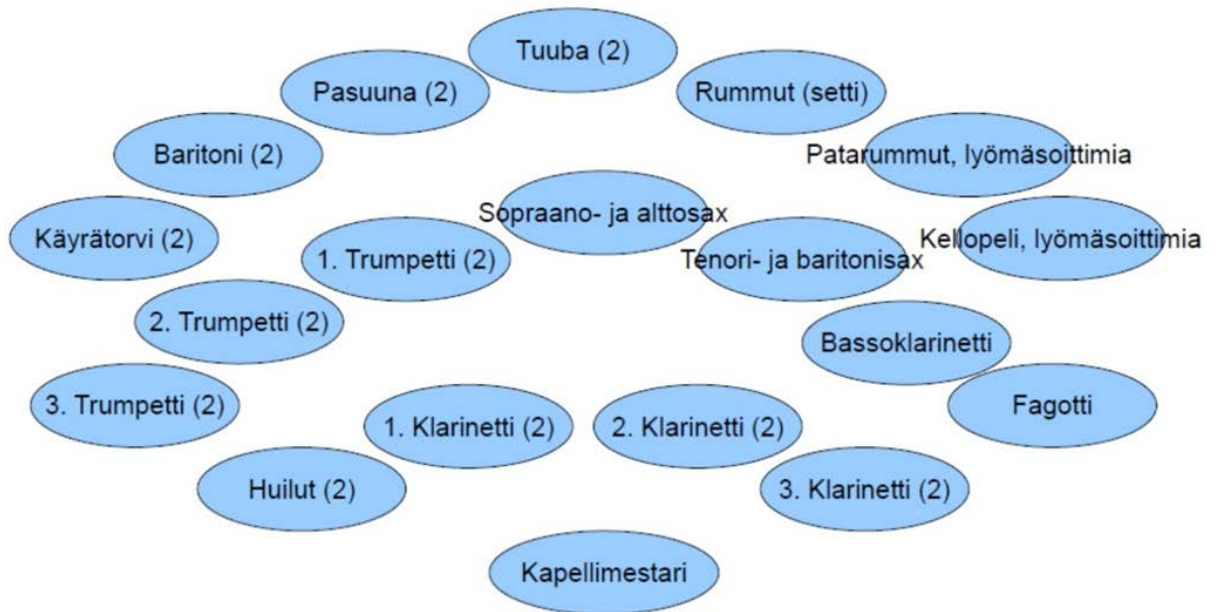


KUVIO 18. Rode NT2-mikrofoni

Yleisö aiheuttaa myös sen että osa äänistä heikkenevät absorption takia. Tästä syystä soittaessa tyhjälle salille, ääni on hiukan erilainen.

Seuraava työtehtävä oli sijoitella tukimikrofonit sopiville paikoille. Alkuperäinen suunnitelma oli mikittää jokainen soitinryhmän erikseen, mutta tämä osoittautuikin turhaksi, pelkästään senkin takia ettei mikrofoneja ollut riittävästi. Mukana oli kovaäänisiä vaskipuhaltimia, joten päätettiin jättää kyseiset soittimet vain päämikrofoniparin varaan. Tämä ratkaisu osoittautui oikeaksi, sillä äänet tulivat hyvin lävitse.

## Puhallinorkesteri Quattro di Bothnia



KUVIO 19. Orkesterin istuinkartta (Puomio 2010.)

Röden mikrofonit sopivat erinomaisesti pääpariksi, mutta kaikkea nekään eivät saaneet talteen, koska kovaääniset vaskisoittimet peittivät puupuhaltimien, klarinettien ja huilujen äänet. Tarkoituksena oli laittaa XY-parit jokaiselle pienemmälle soittimelle mutta mikrofonien vähäinen määrä sai mielipiteen muuttumaan. Tukimikrofoneiksi valikoituivat uudet Schoeps MK-22:t. MK-22 on yhdistelmä valmistajan vanhoista MK-21 ja MK-4 malleista. MK-4:stä otettiin klassinen herttamuoto ja MK-21:stä otettiin laajan herttakuvion ääniominaisuudet. Nämä valittiin koska MK-4 omaa erinomaisen vaimennuksen takaa tulevilta ääniltä ja MK-21 omasi erinomaisen soinnin, eikä sitä vaivannut läheisyys efekti. Tätä uutta mikrofonikapselia nimitetään ”avoimeksi hertaksi” (Schoeps 2010.)



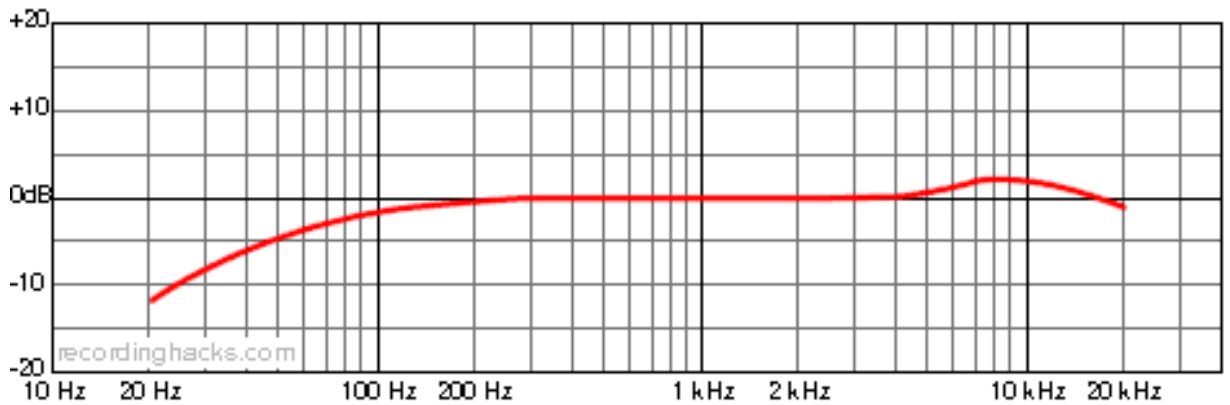
KUVIO 20. Schoepsin MK-22 stereopari kotelossaan (Schoeps 2010.)

Yksi Schoeps sijoitettiin kolmen klarinetin keskelle, ilman että soittajia täytyi siirtää. Oletuksena oli se, että mikrofoni ottaa tarpeeksi leveältä jotta näiden kolmen soittimen ääni tallentuisi. Tämä oletus osoittautui oikeaksi. Äänet tallentuivat odotettua paremmin. Saman järjestelyn tehtiin myös toiselle klarinettikolmikolle.

Fagotti ja bassoklarinetti saivat myös omat tukimikrofonit. Fagotille asennettiin Schoepsin CCM-4 mikrofoni, joka on ulkonäöstään huolimatta hyvin sopiva. Tässä mallissa oli suuntakuviona klassinen hertta. Bassoklarinetti sai samanlaisen Schoepsin MK-22 mikrofoniin. Virvelirumpua sekä patarumpuja varten sijoitettiin molempiin yhden Neumann KM 184 mikrofoni. Schoepsin mikrofoneja olisi ollut vielä muutama jäljellä mutta osoittautui, että Neumann saattaisi antaa hieman terävemmän tuloksen. Olettamus osui oikeaan. Koska tila oli vähissä ja ja patarumpujen paras äänityskohta lienee melkein suoraan sen yläpuolella, niin siihen sen myös laitettiin. Tässä sijainnissa se toimi sopivasti myös kellopelin mikrofona, eikä tarpeelliseksi nähty lisätä sille omaa mikrofonia.

Mikrofonit suunnattiin aluksi kirjoista opitulla tavalla, mutta ollut sointi ei ollut paras mahdollinen. Tästä syystä mikrofonit suunnattiin uudelleen. Tämä oli aikaa vievä operaatio, sillä jokaisen muutoksen jälkeen, jouduttiin aina nousemaan kolmannessa kerroksessa olevaan studioon ja tarkistamaan tulos. Sovimme myös että Hannu Puomio kääntäisi yhden K184-mikrofonin virvelirummusta kohti kellopeliä, koska virvelirumpua

käytettiin vain yhdessä kappaleessa ja ettei sitä tarvitsisi kesken äänittämisen käydä alakerrassa sitä itse kääntämässä. Tämä tosin osoittautui turhaksi, sillä kellopele kuulu lopulta erittäin hyvin mikrofontia siirtämättä. Hannu toimi myös välimiehenä minun ja kapellimestarin välillä. Radiolla ilmoitettiin kun äänityslaitteisto oli valmiina aloittamaan nauhoittamisen ja hän välitti tiedon kapellimestarille.



KUVIO 21. Neumann KM 184-mikrofonin herkkyyalue (McGlynn 2008.)

Tässä vaiheessa kaikki oli valmista äänityksen aloittamiseksi, mutta ongelmia oli vielä tulossa. Tekijällä ei ollut ennen äänitystä ollut paljoakaan käytännön kokemusta näistä äänityslaitteista, mutta oli luettu yleisohjeet ko. laitteistolle. Vähäisestä käyttökokemuksesta johtuen ensimmäiseksi tarkoitettu kappale jäi äänittämättä. Päätettiin että yksi kappale saisi jäädä pois levyltä, eikä tilaajakaan ollut sitä vastaan.

Äänitystietokoneena toimi Macintosh 2GHz PowerPC G4, ohjelmistona Avid-yhtiön Pro Tools, joka on hyvin yleisesti käytetty ohjelmisto sekä ammattilaisten, että harrastajien keskuudessa. Laitteiston sydän oli kuitenkin Control 24-ohjauspöytä, joka teki äänityksen jokaisen aspektin tarkkailun ja säädön hyvin sulavaksi. Laite on suunniteltu yhteistoimintaan Pro Tools- ohjelmiston kanssa, joten huomattava osa tietokoneella tehdyistä säädöistä ja toimista voidaan tehdä myös ohjauspöydällä, jolla näiden tekeminen on paljon luontevampaa kuin tietokoneen hiirtä liikuttelemalla.



KUVIO 22. Miksauspöytä ja muut laitteet

## 5.2 Jälkityöstö

Onnistuneen esityön ansiosta jälkityö ei ollut kovinkaan suuri urakka.

Kuunneltuani pääparin tallentaman musiikin mitään ärsyttäviä vaihevirheitä, huminaa tai esimerkiksi poksahduksia ei tuntunut löytyvän. Täten tehtäväksi tuli tuoda tiettyä elävyyttä ääneen. Oboen ääni jäi jostain syystä hyvinkin ohueksi, joten korostin tälle soittimelle oleellisia taajuuksia ja vahvistin niitä. Näin instrumentin ääneen saatiin hieman potkua lisää. Huilujen äänessä oli hieman liikaa terävyyttä, joten tasoitin niitä ekvalisaattorin avulla.

## 6 TULOKSET JA POHDINTA

Quatro di Bothnia-orkesterin cd-projekti oli mielenkiintoinen ja opettava kokemus. Projektin aikana opin monia uusia teknisiä kykyjä. Työn tilaaja, Hannu Puomio, antoi minulle täysin vapaat kädet koko cd:n suhteen.

Projektin alkutöitä helpottivat valmiina omaksutut perustiedot mikrofonien toimintaperiaatteesta ja sijoittamisesta. Vaikeinta oli oppia käyttämään äänityslaitteistoja, sillä neuvojaa ei ollut äänitystilanteen aikoina saatavilla. Onnekseni internetistä löytyi kattavat tiedot laitteistosta.

Tuotteelle asetetut vaatimukset täyttyivät, josta olen erittäin iloinen. Päätaivoitteena oli laadukas ja hyvältä kuulostava äänituote. Äänituotteen valmistaminen on aiheena kiinnostava ja erittäin monipuolinen. Kokemuksena se on tärkeä ja tietoa kasvattava, sillä äänitteen onnistuminen vaatii tutustumista moniin erilaisiin mielipiteisiin, kirjoihin ja tieteellisiin tutkimuksiin.

Vaikka aikataulu oli lähes täysin avoin, useampien mikrofonimuotojen suunnittelu ja kokeilu olisi tuonut työlle sekä haasteita että lisäkokemusta. Myös jälkityöstössä olisi ollut mahdollista kokeiluille, mutta vähäisen kokemukseni takia pitäydyin perusasioissa. Olisin voinut myös tehdä äänituotteelle graafiset kuoret, mutta päätimme jättää sen osan jonkun muun tehtäväksi.

Opinnäytetyössäni olen mielestäni onnistunut luomaan hyvälaatuisen ja onnistuneen äänituotteen. Olen onnistunut luomaan teoksen, jonka avulla Quatro di Bothni-puhallinorkesteri voi markkinoida itseään onnistuneesti. Opinnäytetyöraportissani olen pyrkinyt kuvailemaan tätä äänitysprosessia havainnollisesti ja tarkasti, josta toivon olevan apua muille samankaltaista prosessia suunnittelevalle tai tekeväälle opiskelijalle.



## LÄHTEET

Aro, E. 2006. Tilaääni. Porvoo: Idemco Oy.

Bartlett & Bartlett. 2009. Practical recording techniques. 5. Painos. USA: Focal Press.

Brüel & Kjaer. 1994 Measurement microphones 2.painos. Www-dokumentti. Saatavissa: [http://www.bksv.com/pdf/Measurement\\_Microphones.pdf](http://www.bksv.com/pdf/Measurement_Microphones.pdf).  
Luettu 1.5.2010.

Brüel & Kjaer. 1996. Technical Documentation, Microphone handbook, Vol. 1: Theory. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.bksv.com/lectures/BE144711.pdf>  
Luettu 1.5.2010.

Chrich, T. 2005. Recording Tips for Engineers. 2 painos. Hollanti: Focal Press.

Ears and Gears. 2008. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.earsandgears.com/2010/10/28/microphone-directionality-%E2%80%93-polar-patterns>.  
Luettu 20.09.2010.

Huber, D. 1988. Microphone Manual, Design and application. Butterworth-Heinemann.

Huber & Runstein 2005. Modern Recording Techniques. 6 painos. USA: Focal Press.

Karvonen, A. 2010. Www-dokumentti. Saatavissa: [http://opiskele.com/kurssit/musiikkifysiikka/html/02e\\_vaihevirheet.shtml](http://opiskele.com/kurssit/musiikkifysiikka/html/02e_vaihevirheet.shtml). Luettu 07.08.2010.

Korpinen, P. 2005. Www-dokumentti. Saatavissa: [http://www.aanipaa.tamk.fi/voima\\_1.htm](http://www.aanipaa.tamk.fi/voima_1.htm)  
Luettu 30.08.2011.

Laaksonen, J. 2006. Äänityön kivijalka. Porvoo: Painoyhtymä.

McGlynn, M. 2008. Neumann KM-184. Www-dokumentti. Saatavilla: <http://recordinghacks.com/microphones/Neumann/KM-184>. Luettu 15.07.2011.

McGlynn, M. 2008. Røde NT2-A. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://recordinghacks.com/microphones/Rode/NT2-A>. Luettu 01.05.2011.

Merimaa, J. 2000. Reaaliaikainen auralisaatio signaaliprosessorilla. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu. Otaniemi.

Meyer, J. 1978. Acoustics and the Performance of Music. Saksa: PPV Medien.

Saksala, P 2011. Seisova ääniaalto. Www-dokumentti.

Saatavissa: [http://opinnot.internetix.fi/fi/muikku2materiaalit/lukio/fy/fy3/5.\\_seisova\\_aaltoliike\\_ja\\_interferenssi/5.2.seisovaaaniaalto?C:D=hNh0.g0iN&m:selres=hNh0.g0iN](http://opinnot.internetix.fi/fi/muikku2materiaalit/lukio/fy/fy3/5._seisova_aaltoliike_ja_interferenssi/5.2.seisovaaaniaalto?C:D=hNh0.g0iN&m:selres=hNh0.g0iN). Luettu:28.10.2011.

Schlanger, H 2008. Www-dokumentti. Saatavilla: [http://harry-p-](http://harry-p-schlanger.suite101.com/diffraction-of-sound-a62735)

[schlanger.suite101.com/diffraction-of-sound-a62735](http://harry-p-schlanger.suite101.com/diffraction-of-sound-a62735). Luettu: 30.10.2011.

Schoeps GmbH. 2011. Www-dokumentti. Saatavilla:

<http://www.schoeps.de/en/products/mk22>

Luettu 25.08.2011.

Shure. 2007. Microphone Techniques for Live Sound Reinforcement. Pdf-dokumentti.

Saatavissa:

[http://www.shure.com/idc/groups/public/documents/webcontent/us\\_promics\\_for\\_music\\_sound\\_ea.pdf](http://www.shure.com/idc/groups/public/documents/webcontent/us_promics_for_music_sound_ea.pdf).

Luettu 20.08.2011.

Shure 2009. Microphone techniques for recording. Pdf-dokumentti. Saatavissa:

[http://www.shure.com/idc/groups/public/documents/webcontent/us\\_pro\\_micsmusicstudio\\_ea.pdf](http://www.shure.com/idc/groups/public/documents/webcontent/us_pro_micsmusicstudio_ea.pdf).

Luettu 25.08.2011.

TvTechnology, 2010. Microphone sensitivity. Www-dokumentti.

Saatavissa: <http://tvtechnology.com/article/110388>. Luettu: 24.10.2011.