

Complete vocal technique -moodit oikeaoppisesti ja
epätaloudellisesti tuotettuina

Puhetekniikan ja vokologian
pro gradu -tutkielma
Tampereen yliopisto
Kasvatustieteiden yksikkö
Huhtikuu 2012
Laura Kangasmäki

TERMIEN JA LYHENTEIDEN SELITYKSET

Alfa-suhdeluku	50–1000 kHz:n ja 1000–5000 kHz:n taajuusalueiden amplituditasojen suhde
Belting	Laulutyylä, jossa tuotetaan voimakasta ääntä sävelkorkeusalueen korkeammalla puoliskolla
Curbing	CVT:n puolimetallinen, valittavan kuuloinen moodi
CVT	Kokonaisvaltaisen äänenkäytön tekniikka (engl. <i>complete vocal technique</i>)
CQ	Äänihuulten kontaktiaika (engl. <i>contact quotient</i>)
Edge	CVT:n täysmetallinen moodi, joka tuotetaan samoin kuin twang (ks. twang)
EGG	Elektroglottografia
F0	Äänen perustaajuus
LTAS	Pitkäaikaisspektri (engl. <i>long term average spectrum</i>)
Neutral	CVT:n moodi, jossa ei ole lainkaan metallista sointia
Overdrive	Huudonkaltainen CVT:n täysmetallinen moodi
SPL	Äänenpainetaso (engl. <i>sound pressure level</i>)
Twang	Läpätunkeva äänentuottotapa, joka tuotetaan avaamalla nenänportti ja kaventamalla kurkunpään eteisonteloa. Muistuttaa kuulohavainnon perusteella ankan ääntelyä.

Tampereen yliopisto

Kasvatustieteiden yksikkö

KANGASMÄKI, LAURA: Complete vocal technique -moodit oikeaoppisesti ja epätaloudellisesti tuotettuina Pro gradu -tutkielma, 77 s.

Puhetekniikka ja vokologia

Huhtikuu 2012

Complete vocal technique -moodit oikeaoppisesti ja epätaloudellisesti tuotettuina

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää Complete vocal techniquen (CVT) neljän metallisuuden mukaan jaetun moodin tuottotapaa ja taloudellisuutta. Tarkoituksen täyttämiseksi tutkittiin: 1) miten puheääni, klassinen laulu ja CVT-moodit sijoittuvat skaalalle vuotoisesta puristeiseen, ja 2) miten kukin oikeaoppisesti tuotettu moodi erosi vastaavasta epätaloudellisesti tuotetusta moodista.

Tutkimuksessa mieskoehenkilö äänsi sanan [pa:p:a] kolmesti korkeammalla sävelkorkeudella (288 Hz, cis¹) puheäänellä, klassisella laulutyyllillä, mahdollisimman vuotoisesti, mahdollisimman puristeisesti, maksimi twangilla sekä kullakin CVT-moodilla oikeaoppisesti ja epätaloudellisesti. Näytteistä tutkittiin formantit, äänenpainetaso (SPL), alfa-suhdeluku (1 kHz:n ala- ja yläpuolisten taajuusalueiden SPL:ien ero) sekä äänihuulten kontaktaika (CQ). Kuuntelutestillä arvioitiin äänentuottotapojen työläys, tiiviys ja hälyisyys. Tilastollisesti tutkittiin kuuntelijoiden arvioiden luotettavuus ja yhtenäisyys sekä se, korreloivatko kuuntelutestin keskiarvot alfa-suhdeluvun, SPL:n ja CQ:n kanssa. Oikeaoppisesti ja epätaloudellisesti tuotettuja moodeja vertailtiin keskenään kuuntelutestin, alfa-suhdeluvun, CQ:n ja SPL:n suhteen.

SPL, alfa-suhdeluku ja CQ kasvoivat metallisuuden lisääntyessä. Kuultu tiiviys ja työläys lisääntyivät metallisuuden lisääntyessä ja hälypitoisuus väheni. Lähes kaikissa epätaloudellisesti tuotetuissa moodeissa SPL, alfa-suhdeluku ja CQ olivat suuremmat. Vain epätaloudellisessa curbingissä alfa-suhdeluku ja neutralissa CQ oli pienempi. Epätaloudellisessa edgessä SPL oli matalampi. Kuuntelutestissä epätaloudellinen neutral arvioitiin vuotoisemmaksi kuin oikeaoppinen neutral, muuten epätaloudellisesti tuotetut moodit arvioitiin puristeisemmiksi kuin oikeaoppisesti tuotetut moodit. Kaikissa moodeissa epätaloudellisesti tuotetut moodit arvioitiin työläämmiin tuotetuiksi ja hälypitoisemmiksi kuin oikeaoppiset moodit.

Tilastollisen analyysin mukaan kuuntelijoiden arviot olivat luotettavia ja keskenään yhteneväisiä. Kuullun tiiviyn todettiin korreloivan positiivisesti alfa-suhdeluvun, SPL:n ja CQ:n kanssa. CQ ja kuultu työläys korreloivat myös keskenään tilastollisesti merkitsevästi. Oikeaoppiset ja epätaloudelliset moodit erosivat merkitsevästi hälyisyyden ja työläyden suhteen.

Tulosten mukaan metallisuus tuotetaan CVT:ssä ääniväylän muutoksella ja pidemmällä äänihuulisululla. Epätaloudellisissa moodeissa häly, työläys ja puristeisuus olivat lisääntyneet.

Avainsanat: Metallikas ääni, klassinen laulu, twang, akustinen analyysi, SPL, alfa-suhdeluku, elektroglossografia, CQ, kuuntelutesti, tilastollinen analyysi

Tampereen yliopisto

Kasvatustieteiden yksikkö

KANGASMÄKI, LAURA: Complete vocal technique -moodit oikeaoppisesti ja epätaloudellisesti tuotettuina Pro gradu -tutkielma, 77 s.

Puhetekniikka ja vokologia

Huhtikuu 2012

The modes of Complete vocal technique produced according to the method and in an uneconomic manner: A case study

The purpose of this study was to examine the economy and production of the four modes of Complete vocal technique (CVT). CVT-modes were compared to speech, classical singing and the most breathiest and most pressed voice. The modes produced according to the method were compared to the modes produced uneconomically.

The male subject produced the word [pa:p:a] three times from 288 Hz (cis¹) with speaking voice, classical singing, the most breathy voice, the most pressed voice, with a maximum twang and in all CVT-modes, both according to the method and uneconomically. Formants, sound pressure level (SPL), alpha-ratio (the difference of SPL below and above 1 kHz) and contact quotient (CQ) were measured. A listening test was conducted to study the amount of effort, pressedness and noise heard. Reliability of listeners and consistency between different listeners was conducted with statistical analysis. Correlations between the averaged results of the listening test and SPL, CQ and alpha-ratio were also tested. Modes produced according to the method were compared to the uneconomically produced modes with respect to the listening test's results, alpha-ratio, CQ and SPL.

SPL, alpha-ratio and CQ rose as the amount of metal increased in the voice. Heard pressedness and effort increased and heard noise decreased as the amount of metal increased. SPL was higher in all uneconomically produced modes except for edge. Almost all modes had higher alpha-ratio and CQ when produced uneconomically. Only in neutral CQ was lower and in curbing alpha-ratio was higher when produced uneconomically. According to the listening test all uneconomically produced modes were more pressed and produced with more noise and effort. Only in neutral the uneconomically produced mode was more breathy.

In statistical analysis the listeners' ratings were reliable and consistent. Heard pressedness was in a statistically significant positive correlation with alpha-ratio, SPL and CQ. Heard effort and CQ correlated also positively. Differences in heard noise and effort between the modes produced according to the method and uneconomically were statistically significant.

According to the results, metallic voice in CVT is produced with increased adduction and a change in the shape of the vocal tract. Uneconomically produced modes contained more noise, effort and pressedness.

Key words: Metallic voice, classical singing, twang, acoustic analysis, SPL, alpha-ratio, electroglottography, CQ, listening test

SISÄLLYSLUETTELO

TERMIEN JA LYHENTEIDEN SELITYKSET

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	TEORIA	8
2.1	Taloudellinen äänentuotto.....	8
2.2	Complete vocal technique.....	8
2.2.1	Peruseriaatteet	9
2.2.2	Moodit.....	11
2.2.3	Äänen värit ja tehosteet.....	13
2.3	Metodikirjallisuus	14
2.3.1	Akustinen analyysi.....	14
2.3.2	SPL.....	18
2.3.3	EGG	19
2.3.4	Paine ja virtaus	22
2.4	Aiempiä tutkimuksia CVT:stä ja eri laulutyyleistä.....	23
3	TAVOITTEET JA TUTKIMUSKYSYMYKSET	28
4	MENETELMÄT	29
4.1	Koehenkilö.....	29
4.2	Äänitykset	29
4.3	Tietokoneanalyysi	30
4.4	Kuuntelutesti	31
4.5	Tilastolliset menetelmät	32
5	TULOKSET.....	33
5.1	Spektrit, formantit ja alfa-suhdeluku	33

5.2	Äänenpainetasot äänentuottotavoissa	44
5.3	EGG-signaalin muoto ja CQ.....	45
5.4	Kuuntelutestien tulokset ja tilastollinen tarkastelu	49
5.5	Tilastollinen vertailu	52
6	POHDINTA	55
7	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	71
	LÄHTEET.....	73

1 JOHDANTO

Äänen ja laulun harjoittamisen tueksi on kehitetty monenlaisia menetelmiä, joista Complete vocal technique (CVT) on yksi esimerkki. CVT:n mukaan kuka tahansa voi oppia tuottamaan mitä erikoisimpia ääniä äänentuottoelimistöään rasittamatta. Kuuntelijan korviin CVT:n metalliset moodit saattavat kuitenkin kuulostaa puristeisilta ja epätaloudellisilta, mistä syystä tässä tutkimuksessa onkin tarkoituksena selvittää, mitä äänentutkimusmenetelmät voivat kertoa CVT-moodien taloudellisuudesta.

Tutkimuksen tarkoituksen täyttämiseksi on tutkimuksessa vertailtu CVT-menetelmän mukaan oikeaoppisesti ja epätaloudellisesti tuotettuja moodeja. Vertailussa ovat CVT:n neljän metallisuutensa mukaan jaetun moodin lisäksi myös puheääni, klassinen laulu, mahdollisimman vuotoinen ja puristeinen ääntö sekä maksimi twang referenssinä koehenkilön äänentuottotavasta.

Vaikka äänenharjoittaminen monesti on teoriasta irrallaan toimiva prosessi, kerätään harjoitusmenetelmien perusteeksi myös tutkimustietoa esimerkiksi eri menetelmien vaikuttavuudesta ja vaikutuksista. CVT:tä on toistaiseksi tutkittu melko vähän etenkin taloudellisuuden näkökulmasta, joten tälle tutkimukselle on selkeästi kysyntää. Äänentutkimuksen kannalta on myös mielenkiintoista saada tutkittua tietoa erilaisista laulutyyleistä ja niiden tuottotavoista.

2 TEORIA

2.1 Taloudellinen äänentuotto

Laukkasen ja Leinon (2001, 14) mukaan normatiivisesti tarkasteltuna hyvä äänentuotto on ”sekä perkeptuaalisesti, kommunikatiivisesti että fysiologisesti tarkoituksenmukainen”. Perkeptuaalisesti tarkoituksenmukainen äänentuotto välittää kielellisen sanoman, eli ääni on kuultavissa ja sanat tuotetaan selkeästi. Kommunikatiivisesti tarkoituksenmukainen äänentuotto on ilmaisevaa, äänessä on sopivasti vaihtelua esimerkiksi voimakkuudessa ja korkeudessa. Fysiologisesti tarkoituksenmukainen äänentuotto on taloudellista, mikä tarkoittaa mahdollisimman kuuluvan ja ilmaisevan äänen tuottamista mahdollisimman vähällä lihastyöllä. (Laukkanen & Leino 2001, 14–15.)

Taloudellinen äänentuotto ei aiheuta epämiellyttäviä tunteuksia tai äänen käheytymistä. Taloudellisessa äänentuotossa äänihuulten adduktio on oikeassa suhteessa ääniraon alapuoliseen ilmanpaineeseen, jolloin ääntö ei ole vuotoista (hypofunktionaalista) tai puristeista (hyperfunktionaalista). Vuotoisessa äänentuotossa äänihuulten adduktio on vähäistä, äänirako ei välttämättä sulkeudu lainkaan tai äänihuulisulku on lyhyt. Ääni on voimakkuudeltaan heikkoa. Puristeisessa äänentuotossa adduktio on suurta, äänirako sulkeutuu tiiviisti ja on pitkään kiinni. Äänihuulet törmäävät voimakkaasti yhteen aiheuttaen kudosisäntä. Usein puristeisessa äänentuotossa kurkunpää on lisäksi korkealla. Vuolaassa äänentuotossa, jota pidetään taloudellisena äänentuottotapana, kurkunpää on matalalla ja äänentuotto sijoittuu tiiviysasteeltaan vuotoisen ja puristeisen välille. (Sundberg 1987; Titze 2000.)

2.2 Complete vocal technique

Complete vocal technique (CVT) on Cathrine Sadolinin kehittämä äänenkäytön tekniikka, jonka mukaan kaikki erilaiset ihmisen tuottamat äänet ovat tärkeitä ja oikealla tekniikalla mahdollisia tuottaa ilman ikäviä tunteuksia tai käheytymistä.

Sadolin näkee äänenkäytön vapaana ääni-ihanteista ja musiikkityylien rajoituksista, ja vaikka CVT perustuu suurelta osin lauluääneen ja erilaisten laulutyylien mahdollistamiseen, ei Sadolin rajaa lauluääntä ja puheääntä tarkasti erilleen – CVT:ssä ihmisääni ja sen käyttö on kokonaisuus, jossa kaikki äänentuottotavat, laulutekniikat ja musiikkityylit perustuvat samoihin perusosatekijöihin. Perusajatuksena CVT:ssä on myös se, että kuka tahansa voi oppia laulamaan. Vaikka ammattilaulajan tasolle pääseminen vaatii paljon harjoitusta, voi Sadolinin mukaan tieto siitä, miten ääni toimii yhdistettynä oppiin äänen luonnollisista funktioista ja niiden kehittämisestä tarjota lähes kaiken tarvittavan. Vaikka tekniikassa on huomioitu koko ihmisäänen skaala, ei tekniikkaa ole tarve opiskella koko laajuudeltaan. Sen sijaan CVT pyrkii tarjoamaan jokaiselle mahdollisuuden kehittyä omien yksilöllisten kehitystarpeidensa mukaan. (Sadolin 2008, 6–9.) CVT voidaan jakaa neljään osaan, jotka ovat äänentuoton perusperiaatteet, moodit, äänen värit ja tehosteet. (Sadolin 2008, 15.)

2.2.1 Perusperiaatteet

Äänentuoton kolmea perusperiaatetta tarvitaan Sadolinin mukaan aina, kun tuotetaan tervettä ääntä ja sen vaativiakin variaatioita. Näitä perusperiaatteita ovat tuki, perustwang sekä rento leuka ja huulet (Sadolin 2008, 15).

”Tuki tarkoittaa sitä, että vastustetaan pallean luontaista pyrkimystä työntää ilmaa ulos keuhkoista” määrittelee Sadolin (2008, 20). Tuki on laajasti käytetty termi laulopedagogiassa ja sen määrittelyt ja toteutustavat vaihtelevat. On esimerkiksi esitetty, että tuki on laulajan tunne laulaessa (Sonninen et al. 2005). Tämä tunne liittyy hengityslihasten ja pallean toimintaan. Tuki voidaankin ymmärtää sisään- ja uloshengityslihasten yhteistoiminnaksi, jonka tarkoituksena on säädellä hengitystä. Optimaalinen sisään- ja uloshengityslihasten käyttö mahdollistaa sekä syvähengityksen, jossa keuhkot pääsevät täyttymään kokonaisuudessaan että äännettäessä käytettävän ilman määrän ja ilmanpaineen säätelyn. Tuen merkitys tulee erityisesti esiin pitkien fraasien ja voimakkaan äänenkäytön yhteydessä. Riittävällä tuella ääntö pysyy tasaisena fraasin alusta loppuun. (Titze 2000, 80–84; Sundberg 1987.)

Zenkerin (1964) mukaan tuen myötä pallea laskeutuu alemmas vetäen myös kurkunpäättä alemmas. Tätä vaikutusta kutsutaan nimellä *tracheal pull*, joka edesauttaa taloudellista äänentuottoa paitsi laskemalla kurkunpäättä myös lisäämällä äänihuuliabduktiota (Zenker 1964). Myös Iwarsson et al. (1995), Iwarsson & Sundberg (1998) ja Iwarsson (2001) ovat tutkineet keuhkojen tilavuuden ja hengitystavan vaikutuksia kurkunpään vertikaaliseen asentoon. Heidän tutkimustensa mukaan kurkunpää on matalammalla keuhkojen tilavuuden ollessa suuri, sekä vatsan liikkeessa sisään hengitettäessä. Oikeaoppisella tuella on siis tutkimusten mukaan suuri merkitys taloudelliselle äänentuotolle.

Toinen äänen peruseriaate CVT:n mukaan on perus-twang. Twang yhdistetään yleensä korkeaan ja voimakkaaseen, läpituokevaan äänentuottoon, ja sitä käytetään laajasti eri laulutyyeissä (Sundberg & Thalén 2009). Tutkimusten mukaan twang tuotetaan kaventamalla kurkun kannen aluetta, viemällä huulia hymyasetukseen ja lisäämällä äänihuuliabduktiota. Lisäksi spektrissä on todettu ilmenevän voimakas huippu noin 3000 Hz:ssä. (Yanagisawa 1989; Estill et al. 1983; Sundberg & Thalén 2009.) Sadolinin menetelmän perus-twang tarkoittaa pelkästään kurkunpään eteison telon kaventamista äännössä. Koska väylää ei muuteta muilta osin, perus-twangin käyttö ei välttämättä tuo ääneen kuultavaa twangiä. Sadolinin mukaan äänentuotossa tulisi aina jonkin verran kaventaa kurkunpään eteison teloa, koska se helpottaa äänentuottoa, kirkastaa ja voimistaa ääntä sekä estää äänen muuttumista vuotoiseksi. (Sadolin 2008, 51–52.)

CVT:n kolmannen peruseriaatteen mukaan leuan ja huulten rentous mahdollistaa oikeiden asetusten käyttämisen äänentuotossa. Sadolinin mukaan etenkin laulaessa oikeat asetukset ovat tärkeitä äänen tuottamiseksi äänihuulia rasittamatta. Hänen mukaansa on tärkeää käyttää kielen oikeaa asentoa huulten ja leuan jännittämisen sijasta. (Sadolin 2008, 53–57.)

2.2.2 Moodit

Perinteisessä käsityksessä äänentuotto jaetaan rekistereihin äänihuulten värähtelytavan perusteella. Rekistereitä voidaan erottaa vähintään kaksi; modaali- ja falsettirekisteri. Modaalirekisterissä äänihuulet värähtelevät kokonaisvaltaisesti ja äänihuulisulku on tiivis, kun taas falsetissa äänihuulet eivät välttämättä sulkeudu lainkaan. (Sundberg 1987.) CVT:n mukaan kaikki ihmisen äänet voidaan lajitella perinteisestä rekisterijaottelusta poiketen neljään moodiin äänen metallisuuden mukaan. Sadolinin moodit perustuvat ajatukselle siitä, että kaikki laulajat ja puhujat ylittäessään puheen normaalin tason (esim. huuto, kirkuminen) käyttävät äänessään metallista sointia. Neutral-moodi ei sisällä metallisuutta, curbing on puolimetallinen ja täysmetallisia moodeja ovat overdrive ja edge. Vaikka Sadolinin jaottelu perustuu äänen laadulliselta ominaisuudelta kuulostavaan metallisuuteen, ovat McGlashan, Sadolin ja Kjelin esittäneet, että eri moodit voidaan erottaa toisistaan äänihuulivärähtelyn perusteella (2010). Tämän perusteella CVT:n moodit voisi luokitella kuuluvan eri rekistereihin.

Kaikki moodit, kuten muutkin ihmisäänen variaatiot, voidaan Sadolinin mukaan tuottaa äänenkäyttöelimistöä vahingoittamatta: "I believe it is possible to produce ALL sounds in a healthy manner" (Sadolin 2008, 9). Tämä edellyttää moodien rajoitteiden huomiointia. Moodien käytössä on tärkeää tietää tiettyjä moodien ominaisuuksia, kuten mitkä äänet kullakin moodilla ovat helppoja ja vaikeita, ja mitä sudenkuoppia eri moodien käytössä voi olla. (Sadolin 2008, 81–82.)

Neutral-moodi ei sisällä lainkaan metallisuutta ja onkin sävyltään pehmeä ja voimakkuudeltaan hiljaisempi kuin metalliset moodit. Sadolinin mukaan neutralia voidaan tuottaa vuotoisesti (*Neutral with air*) ja kiinteästi (*Neutral without air*). Kiinteässä neutralissa ääni on kirkas, muttei metallinen, eikä myöskään vuotoinen (*breathy*). (Sadolin 2008, 16.) Neutral on laaja ja monipuolinen moodi; sillä voidaan tuottaa laaja skaala sävelkorkeuksia. Moodia käytettäessä on kuitenkin tärkeää pitää leuka rentona ja voimakkuus kohtuullisena. Neutralin rajoituksena onkin äänen voimistaminen, sillä väärin voimistettuna neutral-moodi rasittaa äänielimistöä. Esimerkiksi lisäämällä ääneen twangiä ja ääntä tummentamalla voidaan neutral-moodissa ääntä kuitenkin voimistaa. (Sadolin 2008, 27–33, 87–91, 95.) Neutral-

moodissa on mahdollista tuottaa metallisen kuuloinen ääni käyttämällä kiinteässä neutralissa vokaalea äänen väriä ja twangia. (Sadolin 2008, 92.) Kiinteää neutralia käytetään klassisessa laulussa lauletaessa hiljaa (pianissimossa), naiset käyttävät kiinteää neutralia myös laulaessaan äänialansa korkeammilla taajuuksilla. Vuotoista neutralia käytetään tavallisesti vuotoisessa äänessä tai esimerkiksi kuiskatessa, kiinteää neutralia käytetään puhuttaessa hiljaa, mutta ei vuotoisesti. (Sadolin 2008, 16).

Curbing, overdrive ja edge ovat kaikki metallisointisia moodeja, joissa ei esiinny lainkaan vuotoisuutta. Curbing on puolimetallinen, valittavan kuuloinen moodi, joka muodostetaan Sadolinin mukaan käyttämällä suurta määrää tukea ja estämällä äänen muuntuminen täysin metalliseksi. Se asettuu neutralin ja metallisten moodien välille ollen säyseämpi kuin metalliset, mutta voimakkaampi kuin neutral-moodi. Curbing onkin usein haastavin moodi oppia, sillä harjoitteluvaiheessa ääni siirtyy usein neutralin tai täysmetallisten moodien puolelle. Curbingia voidaan käyttää laajalla äänialalla ja sen puitteissa äänen värin vaihtoehtoja on runsaasti. Voimakkuuksista vain hiljaisimmat ja voimakkaimmat äänet aiheuttavat moodin vaihtumisen. Neutral-moodissa kaikkia vokaaleja voidaan käyttää rajoitteetta eri sävelkorkeuksilla, mutta curbingissa korkeilla sävelalueilla on moodissa pysymiseksi vokaaleja muokattava [ɪ], [ʊ] ja [ʌ] -vokaalien suuntaan. (Sadolin 2008, 96–101.) Curbingia käytetään esimerkiksi R'n'B-musiikissa ja tavallisesti vaikerrettaessa tai voihiessa. Klassisessa laulussa miehet käyttävät curbingia laulaessaan melko voimakkaasti (*mezzo forte*), naiset laulaessaan voimakkaasti (*forte*) äänialansa keskialueella. (Sadolin 2008, 17.)

Overdrive on huudon kaltainen voimakkaan äänen moodi, jota Sadolinin mukaan arkielämässä käytetäänkin huutaessa. Nimensä mukaan overdrive tarkoittaa äänen ”vetämistä överiksi” – voimakasta äänentuottoa, joka kuulostaa päällekkäyvältä ja jopa aggressiiviselta. Overdrive saadaan aikaan oikealla leuan ja suun asetuksella: ylä- ja alahampaat ovat irti toisistaan ja alaleuka on yläleukaa taaempana. Lisäksi ylläpidetään hymyasetusta huulissa. Matalammilla taajuuksilla overdrive-moodissa on mahdollista käyttää kaikkia vokaaleja ja tuottaa hiljaisempaakin ääntä, mutta pääasiassa moodia käytetään kohtuullisen kovasta äänenvoimakkuudesta hyvin voimakkaaseen ääneen. Korkeammilla taajuuksilla overdrive on vaativampaa ja pysyy yllä vain [eɪ] ja [oʊ] -vokaaleja käyttäen. Sadolinin mukaan terveen äänen kannalta on

tärkeää, ettei overdrive ole koskaan vuotoinen tai liian hiljainen korkeammilla taajuuksilla. Overdrive-moodia käyttäessä miehet voivat käyttää korkeintaan sävelkorkeutta c^2 ja naiset korkeintaan sävelkorkeutta d^2 . (Sadolin 2008, 106–111.) Overdriveä käytetään esimerkiksi rock-musiikissa. Klassisessa laulussa miehet käyttävät overdriveä laulaessaan voimakkaasti (*forte – forte fortissimo*), naiset saattavat käyttää overdriveä äänialansa matalilla taajuuksilla, jos ollenkaan. (Sadolin 2008, 17.)

Edge on voimakas ja täysmetallinen moodi, kuten overdrive, mutta vaaleampi, terävämpi ja läpitukevampi johtuen edgessä käytettävästä ääri-twangistä. Edgeä voidaan käyttää kaikilla sävelkorkeuksilla, mutta moodi on rajoitetuin äänen värin muokkaamisen suhteen – mahdollisia äänen värejä ovat lähinnä vaalea ja vähemmän vaalea äänen väri. Sadolinin mukaan käytettäviä vokaaleja ovat vain voimakkaasti twangia sisältävät vokaalit [ɪ], [eɪ], [æ] ja [œ]. Edge muodostetaan etenkin moodin harjoitteluvaiheessa nostamalla kurkunpäättä, avaamalla suuta huulet hymyasetuksessa, asettamalla kieli leveäksi ja koveraksi sekä avaamalla nenäportti. (Sadolin 2008, 116–122.) Tavallisesti edgeä käytetään kiljuttaessa. Myös raskaassa rockissa käytetään edgeä. Klassisessa laulussa miehet käyttävät edgeä laulaessaan hyvin voimakkaasti (*forte fortissimo*). (Sadolin 2008, 17.)

2.2.3 Äänen värit ja tehosteet

CVT:ssä voidaan moodien lisäksi käyttää erilaisia äänen värejä. CVT:n äänen värit vastaavat perinteistä käsitystä äänenväristä (*timbre*), joka on yksilöllinen, ääniväylän koosta ja muodosta riippuvainen ominaisuus. Lyhyt ääniväylä tuottaa vaaleamman äänenväriin, jolloin ääni kuulostaa ohuelta. Pitkä ääniväylä tuottaa tumman äänenväriin ja täyteläisemmän soinnin. (Fant 1960; Sundberg 1987). Vaihteluvälillä vaaleasta tummaan voidaan CVT:n mukaan harjoittelulla kasvattaa erilaisten käytettävien äänen värien määrää. Äänen väriä muokataan CVT:ssä ääntöväylää muokkaamalla: twangilla, kurkunpäättä nostamalla tai laskemalla, kielen ja huulten asentoa muuttamalla ja/tai nenäporttia avaamalla/sulkemalla. Eri moodeissa äänen värin muokkaus tapahtuu eri tavoin. (Sadolin 2008, 158, 173–174.)

CVT:n tehosteet ovat ääni-ilmaisun välineitä, joita voidaan halutessa yhdistää eri moodeihin ja äänen väreihin. Tehosteita voidaan kuitenkin lisätä vasta kun äänen peruseräkkeet, moodit ja värit ovat hallussa, sillä tehosteet ovat vaativia ja tekniikan ollessa vajavaista ääntöelimistö rasittuu helposti (Sadolin 2008, 177–179). CVT:n tehosteet ovat pääosin erilaisia urinoita, murinoita, säröjä ja muita rouheita ääniä, mutta mukaan mahtuu myös vuotoista ääntä ja sävelkorkeudella tai rytmillä leikittelyä. Sadolinin mukaan tehosteita tuotetaan usein yksilöllisin tavoin, sillä ääntöelimistö toimii jokaisella hivenen eri vivahtein. (Sadolin 2008, 179–215.)

Sadolinin mukaan tärkeää CVT:n harjoittamisessa on se, että äänentuotto tuntuu aina hyvältä. Mikäli ääniharjoitukset tuottavat kipua tai tuntuvat muuten epämiellyttäviltä, on niiden toteutustapa silloin väärä. Sadolinin mukaan oikein toteutettuna CVT tuottaa välittömän hyödyn äänenkäyttöön, eikä äännössä esiinny epämiellyttäviä tuntemuksia tai äänen käheytymistä. (Sadolin 2008, 18.)

Tässä tutkimuksessa on tarkoitus selvittää, mitä äänentutkimusmenetelmät voivat kertoa CVT-moodeista sekä miten oikeaoppisesti tuotetut CVT-moodit eroavat tarkoituksellisesti epätaloudellisesti tuotetuista vastaavista. Seuraavaksi käsitellään äänentutkimuksen ja äänentutkimusmenetelmien teoriaa.

2.3 Metodikirjallisuus

2.3.1 Akustinen analyysi

Spektri on tehokas äänen akustinen analyysitekniikka, jossa ääniaalto jaetaan perusosiinsa. Spektrin muodostaminen on matemaattinen, Fourier-muunnoksen perusteella tehty prosessi, jonka tuloksena ääni voidaan esittää esimerkiksi kuvaajana, jossa x-akselilla on taajuus ja y-akselilla voimakkuus. (Baken & Orlikoff 2000, 226–227, 232–233.) Spektrin sijasta voidaan käyttää myös spektrogrammia, joka kuvaa äänessä esiintyvien taajuuksien ja niiden voimakkuuksien muutoksia suhteessa aikaan. Spektrogrammin y-akselilla on taajuus ja x-akselilla aika. Taajuuksien voimakkuus kuvataan spektrogrammin tummuusasteena. (Titze 2000, 177–178.)

Akustisessa analyysissä etsitään äänenväriä ja artikulaatiota kuvaavat formantit, jotka ovat ääniväylän resonanssien muodostamia energiakeskittyviä spektrissä. Jokaisella vokaalilla on ominaiset formanttitaajuutensa johtuen siitä, että erilaisilla artikuloiden kielen ja ääniväylän muoto muuttuu vaikuttaen näin ääniväylän resonansseihin. Esimerkiksi viemällä huulia hymyasetukseen formanttitaajuudet nousevat. Lisäksi F1:n on todettu nousevan suuta avatessa ja F2:n nousevan, kun kieltä tuodaan eteenpäin. (Sundberg 1987, 93–94.) Formanttien lisäksi spektrillä voidaan kuvata äänentuottotapaa. Puristeinen ja/tai voimakas äänentuottotapa näkyy loivana spektrikäyränä, kun taas vuotoisessa ja hiljaisessa äänentuottotavassa spektrin käyrä laskee jyrkästi (Laukkanen & Leino 2001, 163).

Suomen kielen /a/-vokaalissa, eli [ɑ]:ssa, joka on väljä ja takainen vokaali, F1 on miehellä keskimäärin 300–700 Hz:n ja F2 600–2400 Hz:n korkeudella (Laukkanen & Leino 2001, 78). Wiikin (1965) mukaan keskimääräiset miehen formanttitaajuudet suomen kielen /a/-vokaalissa ovat F1 710 Hz, F2 1345 Hz ja F3 2505 Hz. Neljäs ja viides formantti ovat yksilöllisiä. (Wiik 1965.) F0 eli perustaajuus on äänen ensimmäinen osasävel ja spektrin ensimmäinen huippu, joka määrittelee puhekorkeuden (Laukkanen & Leino 2001, 70). Puhujan-, näyttelijän- ja laulajanformantit ovat voimistuneita ja/tai yhteen sulautuneita perusformantteja. Formanttien yhteensulautumaa voidaan kutsua myös formanttiklusteriksi. (Laukkanen & Leino 2001, 171–174.)

Formanttitaajuuksien muutoksia eri laulutyylien (ruotsalainen iskelmä, rock, soul, pop) ja ääntötapojen välillä ovat tutkineet Zangger Borch ja Sundberg (2011). Heidän tutkimuksessaan mieskoehenkilöllä F1 ja F2 olivat korkeimmat rockissa ja matalimmat soulissa. Soulissa, iskelmässä ja neutraalissa äännössä F1 oli matala ja rockissa, popissa ja puristeisessa äännössä korkea, kenties johtuen suuremmasta leuan avaamisesta ja kurkunpään nousemisesta ylöspäin.

Keskiarvospektri (*Long Time Average Spectrum*), eli LTAS on laajasti käytetty äänen laatua kuvaava analyysimenetelmä. Keskiarvospektri on nimensä mukaisesti koostettu keskiarvo useista hetkellisistä spektreistä. Jokaisen vokaalin ominaiset formanttitaajuudet vaikuttavat LTAS-analyysiin, jolloin luotettavan tuloksen

saamiseksi on luentanäytteen joko sisällettävä vain yhtä vokaalia tai oltava riittävän pitkä ja sisältää koko vokaalien kirjo. (Laukkanen & Leino 2001, 170.) Zangger Borchin ja Sundbergin tutkimuksessa (2002) on todettu, että jo 20 sekunnin mittaisessa luentanäytteessä LTAS-käyrä ehtii vakautua ja saadaan luotettava tulos.

Formanttiklusterit näkyvät spektrissä voimistuneina huippuina korkeammilla taajuuksilla. Formanttiklusterien on todettu edustavan perkeptuaalisesti laadukkaita ääniä (Leino 1994; Sundberg 1987; Bele 2006; Leino 2009) ja esimerkiksi laulajanformantti mahdollistaa laulajan äänen kuulumisen orkesterin yli (Sundberg 1974). Tutkimusten mukaan formanttiklusterit esiintyvät eri korkeuksilla eri laulutyyleissä. Esimerkiksi laulajanformantti esiintyy miehillä klassisessa laulussa 2500–3000 Hz:n korkeudella (Sundberg 2001), kun taas country- ja pop-laulajien laulusta on löydetty laulajanformantin sijaan korkeammalla taajuudella sijaitseva puhujanformantti (Stone et al 1999; Cleveland et al 2001; Zangger Borch & Sundberg 2002). Myöhemmin myös pop-laulusta on löydetty 2700 Hz:n korkeudella sijaitseva laulajanformantti. Myös ruotsalaisesta iskelmästä (*Swedish Dance Band*) ja soulista on löydetty huippu 2700 Hz:n korkeudelta ja rockista 3000 Hz:n korkeudelta. Rockissa LTAS-käyrä myös todettiin laskevan hyvin loivasti, kun taas popissa ja soulissa käyrä laski kohtalaisesti. Jyrkimmin käyrä laski ruotsalaisessa iskelmässä. (Zangger Borch & Sundberg 2011).

Leinon tutkimusten mukaan 3,5 kHz:n korkeudella sijaitseva näyttelijänformantti erottaa hyvän ja huonon äänen toisistaan, ja että kyseinen energiakeskittymä perustuu ääniväyläasetusten ja ääniväyläresonanssien suhteeseen (Leino 2009). Näyttelijöiden LTAS-analyysikäyrien on todettu myös olevan loivempia, johtuen mahdollisesti sopivammista glottaaliasetuksista, jotka mahdollistavat nopeamman äänihuulisulkeutumisen (Barrichelo et al 2001).

Belen mukaan näytteessä tulee olla sama energihuippu sekä LTAS -analyysissä, että yksittäisen vokaalin spektrissä, ja ilmiön tulee toistua säännöllisesti, jotta voidaan puhua puhujanformantista (Bele 2006). Puhujanformantti on miehillä 3–4 kHz:n ja naisilla 4–5 kHz:n korkeudella (Laukkanen & Leino 2001, 171).

Sundbergin lauluäänitutkimusten perusteella laulajanformanttiklusteri muodostuu, kun nielun läpimitta on noin kuusi kertaa kurkunpään eteisontelon läpimitan verran. Esimerkiksi kurkunpään lasku klassisessa laulussa edesauttaa lauluformantin syntyä. Samalla neljäs formantti laskee. (Sundberg 1987.) Laukkasen, Radolfin ja Leinon mallinnustutkimuksen mukaan (2009) puhujanformanttiklusterin syntymistä (ainakin vokaalissa [ɑ:]) edistää se, että kurkunpään eteisontelon alue (ns. epilaryngaalialue) hieman kaventuu ja suun etuosa pienenee, esimerkiksi mikäli kieltä tuodaan eteenpäin ja sen kanta laskee. Laulajanformantin aikaansaamista edisti parhaiten se, että em. muutokset tapahtuivat suurempina ja kurkunpää laski hieman. Samalla ääniväylän pituuden kasvaessa myös alemmat formantit laskevat (Sundberg 1987).

Nasaalikonsonanteissa, kuten [m] ja [n], ääni tuotetaan nenän kautta, jolloin suu on kiinni ja nenänportti auki. Tällöin äänen spektrissä esiintyy nenäontelon resonanssin aiheuttama nasaaliformantti: huippu alle 500 Hz:ssä. Nasaloituneissa vokaaleissa tämä nenäontelon resonanssi muuttaa vokaalin spektriä etenkin F1:n taajuusalueella. Oraalivokaaliin verrattuna nasaloituneessa vokaalissa on F1:n sijaan kaksi huippua, nasaaliformantti ja F1, joista F1 on taajuudeltaan siirtynyt, leveämpi ja amplitudiltaan heikompi kuin vastaavassa oraalivokaalissa. (Fant 1960; Fujimura 1960.) Kuten F1:n, myös F3:n on todettu nousevan nasaloituneissa vokaaleissa korkeammalle taajuudelle kuin vastaavissa oraalivokaaleissa. (Mrayati 1975; Hawkins & Stevens 1985.) Krakow et alin tutkimuksessa todettiin, että suppeiden nasaalivokaalien, kuten nasaloitu /i/ tai /u/, kohdalla nasaaliformantti sijaitsi matalammalla taajuudella kuin F1, mutta väljien nasaalivokaalien kohdalla nasaaliformantti ilmeni F1:tä korkeammalla taajuudella (1988).

Pruthi et alin tutkimuksessa (2007) tutkittiin amerikanenglantia puhuvan henkilön nasaloituneita vokaaleja magneettikuvauksen (MRI) ja tietokonemallinnuksen avulla. Tutkimuksessa tutkittiin nasaalisoinnin kolmea tärkeintä akustista muuttujaa: nenänportin avautumisen määrää sekä nenän käytävien ja onteloiden kokoa. Koehenkilön oikean ja vasemman nenäkäytävien ja -onteloiden todettiin olevan asymmetriset, mikä aiheuttaa ylimääräisiä antiformantti- ja formanttipareja, sekä formanttien siirtymisen todettiin olevan suhteessa nenänportin aukeamiseen. Myös nenäontelot aiheuttivat omanlaisensa antiformantti- ja formanttiparit spektriin. Nenän käytävien ja onteloiden koko on kuitenkin yksilöllistä, jolloin nasaalisuuden

aiheuttamia formanttimuutoksia ei voida Pruthi et aliin tutkimuksen perusteella yleistää.

LTAS-analyysin perusteella voidaan laskea myös alfa-suhdeluku, joka kertoo spektrin kaltevuuden perusteella äänentuottotavasta – jyrkkä spektri kuvaa vuotoista ääntä ja loivasti laskeva spektri puristeista ääntä (Laukkanen & Leino 2001, 170–171). Alfa-suhdeluku saadaan jakamalla tietyn taajuuden, esim. 1000 kHz:n yläpuolinen amplituditaso kyseisen taajuuden alapuolelle jäävien taajuuksien amplituditasolla. Mitä suurempi saatu luku on, sitä enemmän energiaa on äänen ylemmillä taajuuksilla suhteessa alempiin taajuuksiin. (Brüel & Kjaer 1976, 5.)

2.3.2 SPL

Kuultua äänenvoimakkuutta voidaan mitata äänenpainetason avulla. Äänenpainetaso, eli SPL (*sound pressure level*) on äänenpaineen suhde referenssipainearvoon (20 μPa) ja se ilmaistaan desibeleinä (dB) logaritmisella asteikolla. Keskimääräinen SPL puheessa on noin 60–70 dB 40 cm:n etäisyydeltä mitattuna, mutta huudossa voimakkuus voi nousta jopa 120 dB:iin. (Laukkanen & Leino 2001, 41.) Äänenvoimakkuutta nostetaan lisäämällä subglottaalista painetta ja tiivistämällä äänihuuliadduktiota. On todettu, että äänenpainetaso nousee noin 10 dB subglottaalisen paineen kaksinkertaistuessa. (Titze & Sundberg 1992.)

Äänen voimakkuuden on todettu vaikuttavan LTAS-käyrään epätasaisesti eri taajuuksilla. Äänen voimistuessa korkeammat taajuudet (noin 3 kHz) LTAS-käyrässä voimistuvat enemmän kuin matalat taajuudet, mikä aiheuttaa ongelmia puheen voimakkuuden vaihdellessa eri näytteiden välillä. LTAS-analyysi onkin hyvin luotettava menetelmä vain, mikäli tämä äänenvoimakkuuden vaikutus käyrälle voidaan tarkkaan määrittellä ja ennustaa. Tällaista määrittelyä on pyritty tekemään vertaamalla LTAS-käyrän muutoksia ja LTAS-käyrän voimakkuuden muutoksia 1–4 kHz:n taajuusalueella suhteessa Leq :n (standardoitu äänenvoimakkuus, keskimääräinen äänienergia esitettyinä logaritmina) muutokseen. Tuloksena on todettu, että vaikka eri puhujien LTAS-käyrät ovat keskenään erilaisia, muuttuu LTAS-käyrä kuitenkin lineaarisesti suhteessa Leq :n muutokseen, jolloin LTAS-käyrän muutos

voidaan määritellä suhteessa Leq :iin. Koehenkilön eri äänenvoimakkuuksilla tehtyjen luentojen perusteella voidaan kyseisen yksilön Leq :n ja LTAS:n suhde laskea, jolloin tällä suhteella voidaan määritellä myös yksilön muiden Leq -tasojen aiheuttamat muutokset LTAS-käyrään. Myös alfa-suhdeluvun on todettu olevan suhteessa Leq :iin. (Nordenberg & Sundberg 2004; Sundberg 2011.)

2.3.3 EGG

EGG, eli elektroglossografia on noninvasiivinen äänentutkimusmenetelmä, jossa kaksi elektrodia asetetaan kurkunpään molemmiin puolin. Näiden elektrodien avulla kurkunpään läpi johdetaan sähkövirtaa kurkunpään impedanssin, vastuksen, selvittämiseksi. Ääniraon ollessa auki on impedanssi suuri, sillä ilma johtaa heikosti sähköä. Äänihuulten ollessa kiinni sähkö virtaa hyvin kurkunpään läpi laskien näin kurkunpään impedanssia. (Baken 1992; Baken & Orlikoff 2000, 415.) Virhelähteitä EGG-signaaliin voivat aiheuttaa kurkunpään pystysuuntainen liike, elektrodien asentaminen liian löyhästi kaulalle tai runsas rasvakerros koehenkilön kaulan alueella (Baken 1992).

EGG-signaalin amplitudin ja muodon perusteella voidaan tutkia äänentuottotapaa. Hypofunktionaalisessa äänentuotossa EGG-signaalin amplitudi on pieni ja hyperfunktionaalisessa suuri (Laukkanen & Leino 2001, 152; Titze 1990). Yleensä äänihuulet sulkeutuvat nopeammin kuin avautuvat, mikä näkyy EGG-signaalissa jyrkkänä nousuna tai laskuna riippuen esitystavasta. Mitä jyrkempi käyrä on, sitä nopeammin äänihuulet avautuvat ja sulkeutuvat. Äänihuulten sulkeutuminen ja avautuminen voidaan nähdä EGG-signaalin huippuna ja notkona. Signaali voi kuitenkin olla niin pyöreä, ettei selkeää huippua tai notkoa ole löydettävissä. Sekä avautumis- että sulkeutumisvaiheessa voi lisäksi olla kaksi huippua, jota nimitetään polveksi EGG-signaalissa. Polven on todettu esiintyvän vaihdellen äännön intensiteetin kasvaessa tai vähentyessä. Mahdollista on, että polvi syntyy siitä syystä, että äänihuulet aukeavat tai sulkeutuvat vertikaalisesti kahdessa eri vaiheessa (*vertical phasing*). Tällöin äänihuulten alaosat avautuvat ja sulkeutuvat ensimmäisenä. (Henrich et al. 2004.) Vertikaalinen vaihe-ero on suurempaa rintarekisterissä ja pienempää falsetissa (Laukkanen & Leino 2001, 46). Myös avautumisen tai

sulkeutumisen sijoittuminen suhteessa äänihuulten paksuuteen voi olla syynä polven muodostumiselle (Henrich et al 2004). Titzen (1990) mukaan polvi EGG-signaalissa johtuu äänihuulten keskipinnan pullottamisesta, mitä yleensä esiintyy modaalirekisterissä, sillä äänihuulen sisäisen lihaksen ollessa aktivoitunut ovat äänihuulet paksummat.

Äänenlaatu on Hessin ja Ludwigin (2000) mukaan yhteydessä äänihuulten avautumisen vaihe-eroon. Heidän mukaansa rento ääntö tuotetaan vertikaalisesti kaksivaiheisesti niin, että äänihuulten takaosa avautuu ensin ja etuosa sitten. Puristeinen ääntö sen sijaan aiheuttaisi äänihuulten etuosan avautumisen ennen takaosaa. Tämä johtuu siitä, että arytenoid-lihaksen suurempi aktiivisuus puristeisessa äännössä vaikeuttaa ilman kulkua äänihuulten takaosassa. Toisaalta rennossa äännössä äänihuulten takaosa sulkeutuu pehmeämmin tai voi jopa jäädä hivenen auki.

Titzen (1990) mukaan vertikaalinen vaihe-ero aiheuttaa EGG-signaalin muuttumisen kolmikulmaiseksi. Titzen mukaan vertikaalisen vaihe-eron yhteydessä EGG-signaalin huippu voi lisäksi vinoutua glottiksen ollessa konvergentti (*glottal convergence*), eli lähentynyt. Tämä tarkoittaa glottiksen muodon muuntelua pystysuunnassa. Glottiksen yläpinnat lähenevät, kun äänirako on aukeamassa ja äänihuulten pohjat ovat avautuneet. (Titze 2000, 102–104.)

EGG:n avulla saadaan selville kurkunpään avautumis- ja kontaktivaiheiden pituus (CQ, *contact quotient*) periodin aikana, minkä perusteella voidaan tutkia mm. äänen puristeisuutta. Puristeisessa äänentuotossa äänihuulet ovat pitkään yhdessä, kun taas vuotoisessa äänessä äänihuulten sulkeutumisvaihe on pitkä, eikä äänihuulisulku ole niin tiivis. Normaalisti CQ on noin 0.40–0.60 ja sen on todettu kasvavan äännön intensiteetin kasvaessa. (Baken & Orlikoff 2000, 417, 426–427.) CQ:n yhteydessä valitaan kriteeriaste (*criterion level*, CL), joka määrittää mitattavan alueen. CL on horisontaalisen kursorin suhteellinen korkeus esitettyinä prosentteina. CQ:n on todettu laskevan merkitsevästi kriteeriasteen kasvaessa 10 %, mutta kriteeriasteiden ollessa 25–40 % ei CQ:n muutos ollut enää merkitsevää. Toistaiseksi CQ:n mittauksessa ei ole vakiintunutta kriteeriastetta vaan tutkimuksissa on käytetty vaihtelevasti kriteeriasteita 10–40 %:iin. (Kania et al. 2004.)

Estill et al. (1983) tutkimuksessa on vertailtu eri äänentuottotapojen EGG-käyriä. Tutkimuksessa F0:n ollessa 294 Hz käyrän amplitudi oli melko voimakas ja äänihuulet sulkeutuivat nopeammin kuin avautuivat. Beltingissä ja twangissä käyrän amplitudi oli hivenen pienempi ja äänihuulten avautumisvaiheeseen oli muodostunut ”polvi” – käyrä pysyi melko tasaisena ylhäällä, josta se lähti laskemaan jyrkästi. Oopperalaulun EGG-käyrä sen sijaan oli amplitudiltaan voimakas ja äänihuulten avautumisvaiheessa oli porras.

Verdolini et al. (1998) ovat tutkineet äänihuuliadduktiota normaalissa, vuotoisessa, puristeisessa ja resonoivassa äänessä. Heidän tutkimuksensa mukaan CQ:n ja videoskoopin perusteella resonoiva ääni tuotettiin pehmeällä äänihuuliadduktiolla tai -abduktiolla. Tässä tutkimuksessa resonoivan äänen CQ oli 0.555, puristeisen 0.572, vuotoisen 0.493 ja normaalin 0.530, kriteeriarvo oli 35 %. Sundbergin tallentamien tulosten mukaan miehellä vuolaassa äänössä CQ oli 0.48, puristeisessa ja neutraalissa äänössä 0.53 ja vuotoisessa 0.30 (1987).

Howard et al. ovat tutkineet laulukoulutuksen tai -kokemuksen vaikutuksia CQ:iin 18:lla mieskoehenkilöllä (1990). Heidän tuloksiensa mukaan saadun laulukoulutuksen tai laulukokemuksen määrän vuosissa kasvaessa myös CQ kasvoi tilastollisesti merkitsevästi. Heidän mukaansa CQ:n kasvu voisi kuvata fysikaalisesti tehokasta äänentuottoa, jossa a) aika, jona äänirako on auki ja akustinen väylä keuhkoihin on auki, on lyhentynyt sillä seurauksella, että vähemmän akustista energiaa johdetaan akustisen väylän resonoimattomiin osiin (*subglottal damping*) b) lyhyemmän ääniraon aukiolovaiheen vuoksi äänössä käytetään vähemmän ilmaa keuhkoista, mikä parantaa hengityksen tehokkuutta ja mahdollistaa nuottien venyttämisen pidemmiksi c) kuulohavainnon perusteella ääni ei ole vuotoinen (*breathy*). Howard et al. ovat toistaneet saman tutkimuksen myös 26:lla naiskoehenkilöllä (1995). Tämän tutkimuksen perusteella he ovat todenneet, että naisilla CQ korreloi positiivisesti saadun laulukoulutuksen tai -kokemuksen määrän vuosissa kanssa taajuualueilla g^1 (195–392 Hz) ja h^1-g^2 (494–784 Hz).

2.3.4 Paine ja virtaus

Virtaus ja kurkunpään alapuolinen paine (subglottaalinen paine) mitataan transduusereihin, jotka muuttavat äännön virtauksen ja ilmanpaineenvaihtelun sähköjännitteeksi. Transduuserit voidaan kiinnittää ilmavirtauksen kokoavaan Rothenbergin maskiin (Rothenberg 1973), eli virtausmaskiin, joka asetetaan koehenkilön kasvoille. Virtaus mitataan litroina sekuntia (L/s) kohden ja kurkunpään alapuolinen paine mitataan vesisenteissä (cm H₂O). (Baken & Orlikoff 2000, 248–249; 348.)

Jakamalla subglottaalinen paine keskimääräisellä virtauksella saadaan selville glottisresistanssin määrä. Glottisresistanssi kuvaa äänentuottotapaa, sillä sen määrä vaihtelee äännön tiiviyyden, voimakkuuden, perustaajuuden ja rekisterin mukaan. SPL:n ollessa suuri on myös glottisresistanssi suuri. Parhaassa tapauksessa glottisresistanssi voi avustaa äänentuottoa kasvattamalla paineenvaihtelua ääniaallossa, mutta pahimmassa tapauksessa vastus voi kasvaa liian suureksi, jolloin ääntö lakkaa kokonaan. (Titze 2000, 78–80; Baken & Orlikoff 2000, 437–438.)

Subglottaalisen paineen selvittämiseksi käytetään maskiin äännettäessä soinnitonta klusiilia, kuten esimerkiksi [p]:tä. Klusiilissa huulet ovat kiinni, jolloin äänihuulet ovat auki ja glottiksen ylä- ja alapuolella vallitsee yhtä suuri paine. Huulten auetessa akustinen energia ”räjähtää” jälleen liikkeelle. (Baken & Orlikoff 2000, 272.)

Normaalissa puheessa subglottaalinen paine on noin 7 vesisentiä ja voimakkaassa laulussa paine voi nousta jopa 70 vesisentiin. Äännössä käytetyn virtauksen ja paineen määrä kuitenkin vaihtelevat yksilöllisesti. (Laukkanen & Leino 2001, 141–142.) Sundbergin tutkiman yhden miehen tuloksissa puristeisessa äännössä subglottaalinen paine oli 14 vesisentiä. Neutraalissa äännössä paine oli 9 cm H₂O, vuolaassa 8 cm H₂O ja vuotoisessa 5 cm H₂O. (Sundberg 1987.) Glottaaliadduktio määrä saadaan selville jakamalla yhden periodin aikana tapahtuva virtaus subglottaalisella paineella; mitä pidempi adduktio, sitä pienempi virtauksen ja paineen suhde (Thalén & Sundberg 2001).

Kurkunpään alapuolisen paineen ja SPL:n suhdetta on tutkittu esimerkiksi countrylaulajilla. Clevelandin et al. (1997) tutkimuksessa kuusi miespuolista countrylaulajaa äänsivät tavua [pæ] puhe- ja lauluäänellään eri korkeuksilta ja voimakkuuksilta. Countrylaulajat lisäsivät subglottaalista painetta SPL:n kasvaessa ja/tai korkeuden noustessa, mutta he käyttivät kuitenkin laulaessaan pienempää subglottaalista painetta kuin voimakkaassa puheessaan. Subglottaalinen paine countrylaulajilla todettiin korkeammaksi kuin klassisesti koulutetuilla laulajilla, mikä saattaisi johtua suuremmasta äänihuuliadduktiosta countrylaulajilla. Äänihuuliadduktio todettiin vaikuttavan SPL:ään; puristeisessa äännössä kurkunpään ollessa kauemmin suljettuna SPL oli matalampi.

2.4 Aiempia tutkimuksia CVT:stä ja eri laulutyyleistä

CVT:stä on toistaiseksi vielä hyvin vähän tutkimusta. Agerkvist (2011) on tutkinut ääniväylän resonanssien muutoksia CVT:n eri moodien välillä. Hänen tutkimuksessaan vertailtiin ääniväylän resonanssien ja väylän akustisen vastuksen muutoksia [a]-vokaalissa eri moodeissa (neutral, curbing, overdrive ja edge) ja kolmelta eri korkeudelta: c (131 Hz), g (196 Hz) ja c¹ (262 Hz). Korkeuden noustessa ääniväylän resonanssit muuttuivat, mutta moodien väliltä ei löytynyt merkittäviä eroja. Neutral-moodin EGG-käyrä oli hyvin erilainen verrattuna metallisten moodien EGG-käyriin, mutta metallisten moodien kesken käyrissä ei ollut suuria eroja. Overdrive-moodissa toinen harmoninen osasävel oli voimistunut ja neljäs ja kuudes harmoninen osasävel olivat heikentyneet suhteessa muihin metallisiin moodeihin. Lisäksi Agerkvistin tutkimuksen mukaan äänialan rajoittuneisuus CVT:n overdrive-moodissa johtuu ainakin osin ääniväylän vastuksesta.

CVT:n eri moodeja on aikaisemmin tutkittu myös Selamtzisin pro gradu -tutkielmassa (2011). Tutkielman mukaan CVT-moodeissa metallisuuden kasvaessa äänihuulten avautumisvaihe lyheni ja kurkunpään yläpuolinen alue (*aryepiglottic constriction*) kaventui. Pisin äänihuulten avautumisvaihe oli twangiä sisältävässä neutral-moodissa, mikä antaisi ymmärtää, että äänihuuliadduktiota ja kurkunpään yläpuolisen alueen kaventumaa voidaan kontrolloida erikseen. Lisäksi tutkielman mukaan metallista ääntä tuottaessa kurkunpään yläpuolisen alueen kaventuma on tarpeellinen, muttei

ilman adduktion lisäämistä saa aikaan metallista ääntä. Overdrivessa kolmas formantti sijaitsi matalammalla kuin muissa moodeissa, minkä todettiin johtuvan muutoksista korkeammalla ääniväylässä, sillä kurkunpään yläpuolisen alueen kaventuman todettiin nostavan vain F1:tä ja F2:ta. Tutkielman mukaan metallisten moodien korkeat SPL:t voisivat selittyä tiiviimmän äänihuuliadduktion ja kurkunpään yläpuolisen väylän impedanssin sovittamisen yhteisvaikutuksella.

Lisäksi Munir et alii ovat tutkineet CVT:tä tuntemattomien puheterapeuttien kykyä tunnistaa CVT:n eri moodeja kuulohavainnon perusteella (2007). Tutkimukseen osallistui 12 puheterapeuttia, jotka osallistuivat ennen kuuntelukoetta Cathrine Sadolinin kolmituntiselle luennolle. Tämän luennon jälkeen kuuntelukokeesta saatiin 91,6 %:n onnistumistulos. 14 päivän CD-harjoittelun jälkeen sama ryhmä sai kuuntelukokeessa 96,7 % onnistumistuloksen.

McGlashlan et alii ovat tutkineet 34 CVT-koulutetun laulunopettajan kykyä tunnistaa CVT-moodit kurkunpään endoskooppikuvien ja Laryngographin tuottaman EGG-käyrän perusteella (2010). Opettajille annettiin 2 x 20 minuuttia koulutusta moodien tunnistamiseen endoskooppikuvien ja Laryngographin tuottaman EGG-käyrän perusteella, minkä jälkeen heille näytettiin viisi kuvaa jokaisen 16 analysoitavan laulajan kurkunpäästä. Tutkimuksen tulosten mukaan eri moodit voidaan tunnistaa äänihuulivärähtelyn perusteella. Laryngographin tuottama EGG-käyrä tuki moodien tunnistamista endoskooppikuvien ohella.

Eri laulutyylien eroja on tutkittu muun muassa Thalénin ja Sundbergin tutkimuksessa (2001), jossa pyrittiin selvittämään muutoksia äänilähteessä klassisen, popin, jazzin ja bluesin välillä. Tutkimuksessa oli yksi naiskoehenkilö, joka lauloi kaikki tyylit eri voimakkuuksin ja erilaisin äänentuottotavoin (vuotoinen, flow, neutraali ja puristeinen). Näytteistä analysoitiin subglottaalinen paine, CQ, virtauksen ja subglottaalisen paineen suhde periodin aikana sekä ensimmäisen ja toisen harmonisen suhde (H1-H2). Vuotoisessa äännössä CQ ja subglottaalinen paine olivat matalat ja virtauksen ja subglottaalisen paineen suhde sekä H1-H2 korkeat. Flow ja neutraali erosivat vuotoisesta vain CQ:n suhteen, joka flow:ssa oli keskitasoa ja neutraalissa kohtalaisen korkea. Puristeisessa äännössä CQ ja paine olivat korkeat, ja virtauksen ja subglottaalisen paineen suhde sekä H1-H2 matalat. Klassinen laulu sijoittui

ääntötavoista neutraalin ja flow:n väliin muistuttaen eniten flow-ääntöä, pop ja jazz olivat lähellä neutraalia ääntöä ja blues puristeista. Bluesissa sekä paine että CQ olivat korkeat, ja virtauksen ja subglottaalisen paineen suhde, samoin kuin F0 olivat matalat. Tässä tutkimuksessa CQ ei kasvanut paineen lisääntyessä, mikä saattaisi johtua siitä, että mitatut sävelkorkeudet sijaitsivat koehenkilön modaali- ja keskirekisterin vaihdoksessa.

Myös countrylaulun ääntötapaa on tutkittu (Sundberg et al. 1999) ja country vastasi edellä mainitun bluesin tapaan puristeista äänentuottotapaa. Samoin rockin on todettu vastaavan jokseenkin puristeista äänentuottotapaa ja ruotsalaisen iskelmälaulun, popin ja soulin vastaavan neutraalia ääntöä. Rockissa ja iskelmässä subglottaalinen paine on todettu erityisen korkeaksi. (Zanger Borch & Sundberg 2011.)

Stone et al. tutkimuksessa (2003) on verrattu naiskoehenkilön oopperalaulua ja Broadway-laulutyylejä. Leq:n pysyessä samana tyylien välillä LTAS-käyrät erosivat toisistaan selvästi; oopperalaulussa F0 oli voimakkaampi ja osasävelet 0.8–1.6 kHz:n välillä olivat heikommät kuin Broadway-laulussa. F1 ja F2 olivat oopperalaulussa taajuuksiltaan matalammalla. Oopperalaulussa myös subglottaalinen paine oli matalampi, äänihuulet olivat kauemmin auki sekä virtauksen ja paineen suhde oli suurempi. Broadway-laulun voimakkaammat osasävelet 0.8–1.6 kHz:n välillä saattaisivat tutkimuksen mukaan selittyä sekä lisääntyneellä adduktiolla että taajuudeltaan korkeammilla F1:llä ja F2:lla verrattuna oopperalauluun. Broadway-laulussa mittaustulokset vastasivat voimakasta puhetta.

Eri laulutyyplejä on myös vertailtu ääntöväylän kaventumien suhteen. Yanagisawa et alii (1989) ovat tutkineet laryngoskoopilla muutoksia puheen, falsetin, itkun, twangin, beltingin ja oopperalaulun välillä. Itkulla (*sob*) tarkoitetaan äänentuottotapaa, jossa kurkunkäpää on matalalla ja ääntöväylä leveänä. Koehenkilöt olivat ammattilaulajia, kolme miestä ja kaksi naista. Tutkimuksen tuloksena twangissa, beltingissä ja oopperalaulussa kaikki laulajat käyttivät kavennettua kurkunkannen aluetta ja lyhensivät äänihuuliaan enemmän kuin puheessa. Myös spektristä löytyi laulajanformantti n. 3000 Hz:n korkeudelta. Samanlainen tulos on saatu Estill et aliiin (1983) tutkimuksessa, jossa beltingin, twangin ja oopperan spektreissä oli huippu

2500–3000 Hz:n välillä F0:n ollessa 294 Hz, oopperassa huippu oli näistä kolmesta matalimmalla ja twangissa huippu oli lähimpänä 3000 Hz:ä.

Yanagisawa et alii (1989) tutkimuksessa todettiin hiljaisessa, pehmeässä äänentuotossa kurkunpään nousevan ja kurkunkannen alueen levenevän verrattuna puheeseen. Äänen intensiteetin kasvaessa nämä muutokset tapahtuivat päinvastaisesti. Tutkimuksen baritoni lauloi korkeudelta 247 Hz ja hänen kaventaessaan kurkunkannen alueettaan taajuudet 2500–4000 Hz:n välillä voimistuivat. Hänellä voimakkain huippu spektrissä ilmeni 2000 Hz:ssä, mikä saattaisi tutkimuksen mukaan johtua F2:n laskemisesta kurkunpään laskemisen yhteydessä. Myös metallisessa äänessä on todettu tapahtuvan kurkunkannen alueen kaventumista lateraalisen laryngaalikaventumisen lisäksi (Hanayama et al. 2009). Metallisessa äänessä myös nenänportti laskee, nielu kapenee ja kurkunpää nousee. Formanttitaajuuksista F1 ei ollut metallisessa äänessä muuttunut, mutta F2–F4 olivat voimistuneet ja F2 taajuudeltaan siirtynyt, kenties johtuen kielen siirtymisestä eteenpäin.

Sundberg ja Thalén ovat myös tutkineet twangiä (2010) vertaamalla naiskoehenkilön twang-laulua neutraaliin lauluun. Tuloksena twangissa CQ oli suurempi (maksimi CQ tutkimuksessa oli 0.513), SPL jopa 6.4 dB voimakkaampi ja subglottaalinen paine keskimäärin jopa 2.6 cm H₂O suurempi kuin neutraalissa äännessä. LTAS-käyrä oli twangissa kauttaaltaan voimakkaampi ja voimakas huippu ilmeni 1900 Hz:ssä, kun neutraalissa huippu ilmeni 1500 Hz:ssä. Nämä huiput vastasivat kolmatta ja neljättä osasäveltä, sillä F0 oli noin 450 Hz. F0 oli twangissa neutraalia heikompi sekä kaikissa vokaaleissa F1 ja F2 olivat twangissa siirtyneet taajuudeltaan korkeammalle ja F3 ja F5 matalammalle. Tutkimuksessa todettiin näin ollen, että twangin tuottamiseen käytetään sekä muutoksia äänilähteessä että resonaatiossa. SPL:n kasvun todettiin olleen aikaansaatu pelkästään formanttitaajuuksien muutoksella, mikä tarkoittaisi taloudellista voimistustapaa.

Sundberg et alii (2010) ovat tutkineet beltingiä, puheen tai huudon kaltaista laulutyyliä. Heidän tutkimuksessaan vertailtiin klassista laulua ja beltingin eri tyyliä: raskasta, rämeää, soivaa, nasaalia ja puheenomaista (*heavy, brassy, ringy, nasal, speechlike*), joista raskaassa beltingissä subglottaalinen paine oli korkein. Matalimmalla paineella tuotettiin klassisen laulu sekä rämeä ja soiva belting.

Klassisessa laulussa F1 oli matalammalla taajuudella kuin eri belting-tyyleissä johtuen kenties erilaisesta artikulaatiosta. Kaikissa belting-tyyleissä oli LTAS-käyrässä huippu n. 3000 Hz:ssä ja nasaalisessa beltingissä myös 1600 Hz:ssä. Belting-tyyleissä toinen osasävel oli hyvin voimakas, kun taas klassisessa laulussa F0 oli voimakkain huippu. Pienin CQ-arvo (kriteerasteena 30 %) oli klassisessa laulussa (0.25), joskin tämä saattaisi johtua siitä, ettei laulaja käyttänyt puhdasta modaalirekisteriä. Raskas ja rämeä belting olivat CQ:ltaan noin 0.50 ja soiva belting 0.30. Tutkimuksen mukaan subglottaalin paineen lisääntyessä, glottaaliadduktion vähentyessä ja ääniraon kiinniolovaiheen lyhentyessä värähtelyn amplitudi kasvaa. Raskaan tyylin LTAS-käyrä oli loivin ja se todettiin myös puristeisimmaksi.

3 TAVOITTEET JA TUTKIMUSKYSYMYKSET

Tässä tutkimuksessa on tarkoituksena selvittää: 1) miten koehenkilön puhe, klassinen laulu ja CVT-moodit sijoittuvat suhteessa mahdollisimman vuotoisesta mahdollisimman puristeiseen äänentuottoon, 2) miten eri tyyliä eroavat toisistaan oikeaoppisesti ja epätaloudellisesti tuotettuina. Hypoteesina on, että epätaloudellisesti tuotetut moodit ovat puristeisempia ja että metallimooideissa äänen kantavuus tuotetaan erilaisella formanttiklusterilla kuin klassisessa laulussa.

4 MENETELMÄT

4.1 Koehenkilö

Tutkimuksen koehenkilönä toimi miespuolinen muusikko ja laulupedagogi, joka on valmistunut Kööpenhaminan Complete Vocal Institutun kolmevuotisesta opettajakoulutuksesta vuonna 2009. Lisäksi hän on valmistunut musiikin kandidaatiksi Sibelius-Akatemian musiikkikasvatuksen osastolta.

4.2 Äänitykset

Äänitysten aluksi koehenkilö luki tavallisella puheäänellä suomenkielisen 163 sanan mittaisen tekstin, jossa esiintyvät laajasti suomen kielen vokaalit. Tämän jälkeen koehenkilö toisti sanaa [pɑ:pɑ] kolme kertaa kahdelta eri korkeudelta (n. 189 Hz, fis ja n. 288 Hz, cis¹) eri tyylein; puheäänellä, klassisella laulutyyllillä ja CVT:n neljällä eri moodilla menetelmän mukaan oikeaoppisesti. Lisäksi äänitettiin koehenkilön mahdollisimman vuotoinen ääntö, mahdollisimman puristeinen ääntö sekä maksimi twang paapattaen. Edellä kuvattu sarja, lukuunottamatta tekstin luentaa, toistettiin virtausmaskin kanssa. Virtausmaskin paineanturista suuhun tulevan putken läpimitta oli n. 1 mm ja pituus n. 4,7 mm.

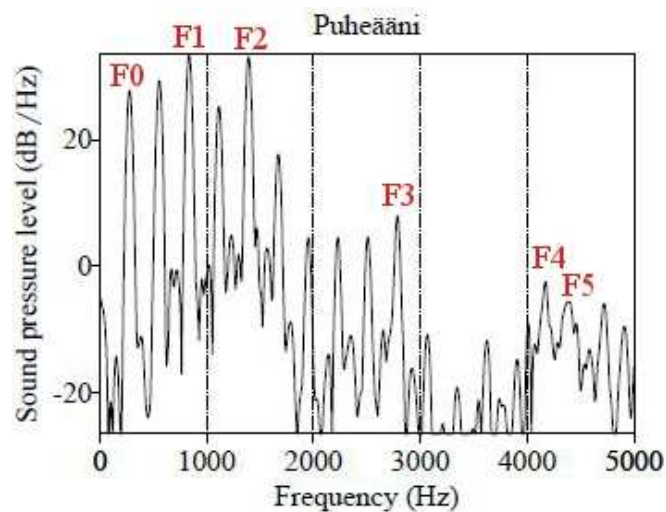
Viimeiseksi äänitettiin kaikki neljä CVT-moodia epätaloudellisesti tuotettuina ensin ilman virtausmaskia ja toisen kerran virtausmaskin kera. EGG-elektrodit olivat paikallaan kaikissa nauhoituksissa. EGG-laitteena käytettiin Glottal Enterprises:n kaksikaistaista EGG-laitetta 20 Hz:n ylipäästösuodatuksella.

Äänitykset toteutettiin Tampereen yliopiston puheen ja äänen tutkimuksen laboratorion vaimennetussa studiossa. Tasomittari-mikrofonina käytettiin Brüel & Kjaer Mediator 2238:aa ja etäisyys mikrofoniin oli 40 cm. Äänitys tehtiin 16 bittisenä ja näytteenottotaajuus oli 44,1 kHz. Nauhoitus toteutettiin SoundForge-ohjelmalla. SPL:t kalibroitiin näytteisiin äänitetyn 83,6 dB:n kalibrointiäänän avulla. Virtauksen

ja subglottaalisen paineen mittauksessa oli ongelmia ja mittaustulokset todettiin epäluotettaviksi, joten ne jätettiin tutkimuksen ulkopuolelle.

4.3 Tietokoneanalyysi

Näytteiden akustiseen analyysiin käytettiin Amsterdamin yliopiston Paul Boersman ja David Weeninkin kehittämää Praat-ohjelmaa (<http://www.fon.hum.uva.nl/praat/>). Analyysin kohteena oli kunkin tyylin kohdalla korkeammalta sävelkorkeudelta tuotettu viimeinen [pa:p:a], sillä se oli formanttitaajuuksien suhteen vakain kolmesta korkeasta eri tyylien välillä. Spektrien avulla [ɑ:]-vokaalista etsittiin viisi ensimmäistä formanttia sekä mahdollinen nasaaliformantti. LTAS-analyysi tuotettiin käyttäen 20 Hz:n kaistanleveyttä. LTAS-käyrästä etsittiin mahdolliset formanttiklusterit sekä jokaisesta tyylistä laskettiin myös alfa-suhdeluku, joka laskettiin jakamalla spektrin 1000 Hz yläpuolisten taajuuksien amplituditaso 50–1000 Hz:n välisten taajuuksien amplituditasolla. Näytteistä määritettiin myös SPL.

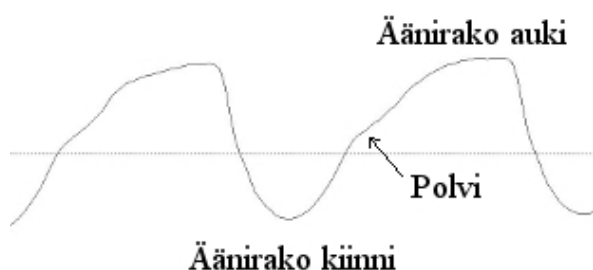


Kuva 1. Havainnollistava kuva formanteista spektrissä, kyseessä on puhenäytteen spektri [ɑ:]-vokaalista.

Kokonaisesta luentanäytteestä määritettiin alfa-suhdeluku, keskimääräinen F0 sekä keskimääräinen SPL. Yksittäisestä luennassa esiintyneestä [ɑ:]-vokaalista mitattiin myös formanttitaajuudet, alfa-suhdeluku ja SPL. Vokaali esiintyi sanassa ”vaarojen”.

EGG-signaalin perusteella määritettiin ääniraon kiinnioloaika (CQ, *contact quotient*) VoceVista 3.3 -ohjelmalla (<http://www.vocevista.com/>). CQ-arvo mitattiin sellaisesta kohdasta, jossa EGG-käyrä pysyi stabiilina useamman periodin ajan ja kriteerasteena käytettiin 35 %:a. Myös luentanäytteessä ”vaarojen”-sanassa esiintyneestä [ɑ:]-vokaalista määritettiin CQ. Lisäksi tarkasteltiin EGG-signaalin muotoa. Kuvat EGG-signaaleista eri äänentuottotavoissa saatiin SoundSwell-ohjelmasta (Ternström, 1992).

EGG-signaali



Kuva 2. EGG-signaalin muotoa analysoitiin kuvien avulla. Pystyakselilla on äänihuulten välinen kontakti, vaaka-akselilla aika. Kuvassa on puhenäytteen EGG-signaali.

4.4 Kuuntelutesti

CVT:n suhteen hyvin kokenut henkilö arvioi tutkimuksessa käytettyjen näytteiden vastaavuuden CVT:n moodien kanssa. Tämä toteutettiin ”sokkona”; kuuntelijaa pyydettiin luokittelemaan näytteet CVT:n moodeihin tietämättä, mitä moodia kussakin näytteessä oli tavoiteltu.

Tämän lisäksi viisi puhetekniikan ja vokologian alan tutkijaa ja opiskelijaa, joilla kaikilla oli vähintään neljän vuoden kokemus puhetekniikan ja vokologian alalta, kuuntelivat tutkimuksessa käytetyt näytteet. He kuuntelivat korkeammalta taajuudelta tuotetun viimeisen ’paappa’-sanän kaikista äänentuottotavoista. Kuuntelukertoja ei ollut rajoitettu. Heitä pyydettiin arvioimaan kunkin näytteen työläysaste, tiiviysaste ja hälyisyys. Arviointi toteutettiin Judge-ohjelmalla kolmella 10 mm pituisella janalla, joiden alku- ja loppupisteet olivat: hyvin helppoa – hyvin työlästä, hyvin vuotoinen –

hyvin puristeinen ja ei hälyä – paljon hälyä. Ohjelma antoi tulokset numeerisessa muodossa nolasta tuhanteen.

4.5 Tilastolliset menetelmät

Tilastollinen analyysi toteutettiin SPSS 16.0 -ohjelmalla. Luentanäytteen tuloksia ei otettu huomioon tilastollisessa analyysissä sen muista näytteistä eroavan F0:n vuoksi. Mitattavia äänenlaatuja oli vain 13 kappaletta, joten tilastollisessa analyysissä oli käytettävä nonparametrisia testejä.

Kolme kuuntelijaa kuunteli näytteet kaksi kertaa, minkä perusteella testattiin heidän omien arvioidensa yhdenmukaisuus Spearmanin järjestyskorrelaatiokertoimen sekä ICC:n (*Intraclass correlation coefficient*) avulla. Korrelaatioanalyysia käytettiin myös eri kuuntelijoiden arvioiden yhteneväisyyden selvittämiseksi. Samaa tarkoitusta varten toteutettiin myös cronbachin alfa -reliabiliteettianalyysi. Eri kuuntelijoiden arvioiden vertailussa huomioitiin kultakin kuuntelijalta vain ensimmäisen kuuntelutestin arviot.

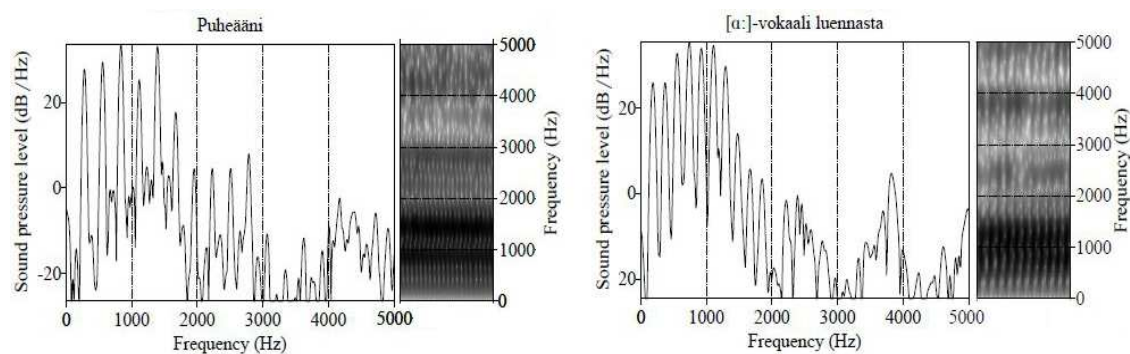
Lisäksi selvitettiin Spearmanin järjestyskorrelaatiokertoimella korreloivatko tiiviyden, hälyisyyden ja työläyden arvioiden keskiarvot alfa-suhdeluvun ja CQ:n kanssa. Myös oikeaoppisesti tuotettuja ja epätaloudellisesti tuotettuja moodeja vertailtiin keskenään kuuntelutestin, alfa-suhdeluvun ja CQ:n suhteen. Tämä analyysi toteutettiin Mann-Whitneyn U-testillä.

5 TULOKSET

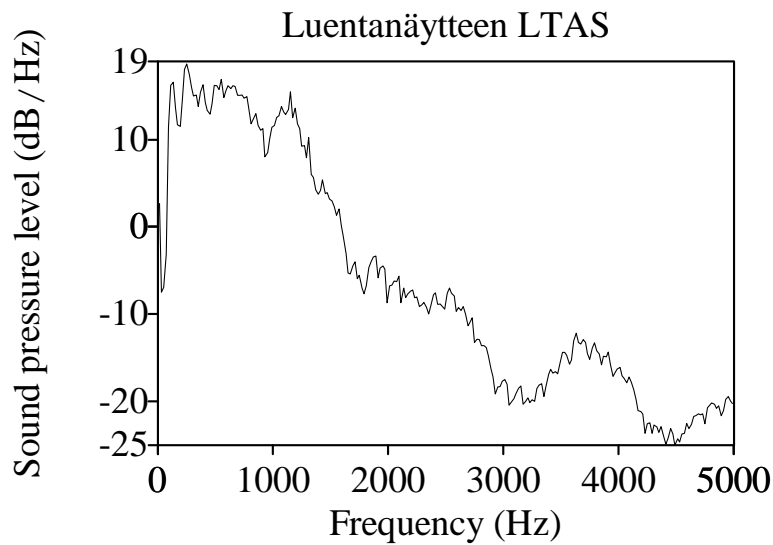
5.1 Spektrit, formantit ja alfa-suhdeluku

Luantanäytteestä puhuttaessa viitataan näytteeseen, joka käsittää tekstin luentaa koehenkilön tavanomaisella puhekorkeudella. Puhenäyte viittaa näytteeseen, joka on tehty 'paappa'-sanaa toistaen 288 Hz:n korkeudelta.

Puhenäytteessä F0 oli voimakas, F1 ja F2 olivat voimakkaimmat huiput. Luantanäytteen [ɑ:]-vokaalin spektri ja puhenäytteen spektri erosivat toisistaan (kuva 3). Luantanäytteessä F0 oli heikompi kuin puhenäytteessä ja lisäksi luennasta oli löydettävissä ns. nasaaliformantti vajaan 1000 Hz:n korkeudelta. Puhenäytteessä F3:n alue oli voimakas, toisin kuin luantanäytteessä. Puhenäytteessä F4:n alue oli korkeammalla, yli 4000 Hz:ssä, luantanäytteen spektrissä F4 oli alle 4000 Hz:n korkeudella. Luantanäytteen spektri laski jyrkemmin. Puheen LTAS-käyrästä löytyi puhujanformantti 4000 Hz:n korkeudelta, sama puhujanformantti löytyi voimakkaana myös luantanäytteen LTAS-käyrästä (kuva 4), mutta n. 3800 Hz:n korkeudelta.



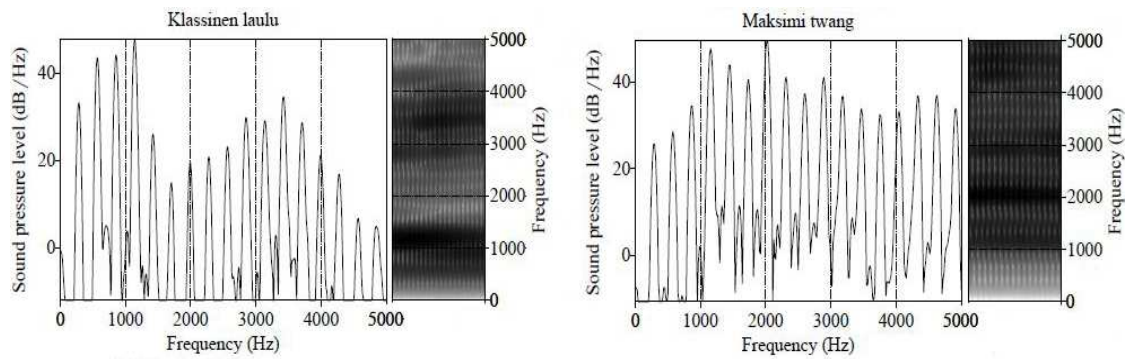
Kuva 3. Puhenäytteen spektri ja spektrogrammi [ɑ:]-vokaalista sekä luantanäytteessä esiintyneen [ɑ:]-vokaalin spektri ja spektrogrammi.



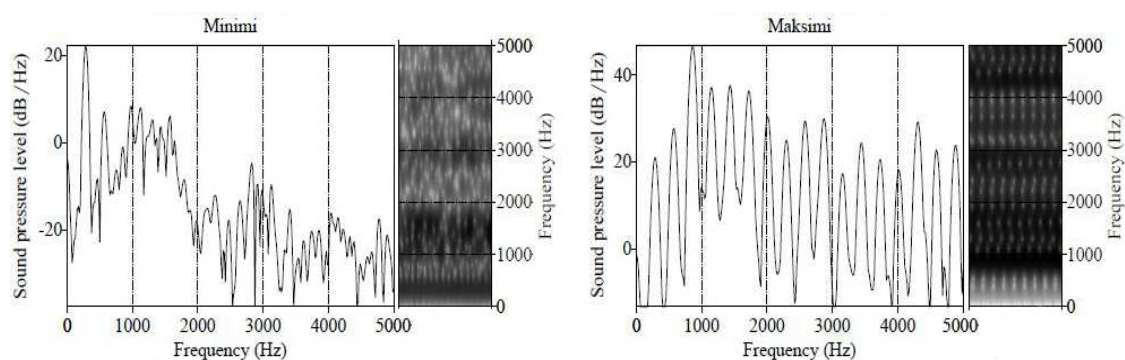
Kuva 4. Luentanäytteen LTAS.

Mahdollisimman vuotoisessa ja neutral-moodissa F0 dominoi spektriä (kuvat 6 ja 7). Mahdollisimman vuotoisessa F1 oli taajuudeltaan keskimääräistä alempana ja n. 1400 Hz:n korkeudella ollut F2 oli voimakas. Spektri laski jyrkästi. Klassisessa laulussa F1 dominoi spektriä, F2 oli taajuudeltaan alempana, ja sekä LTAS-käyrässä että spektrissä oli selkeä huippu n. 3500 Hz:ssä (kuva 7).

Mahdollisimman puristeisen spektri laski loivasti (kuva 7). Mahdollisimman puristeisen F1 oli heikko, jolloin F2 dominoi spektriä ja oli myös noussut taajuusalueella korkeammalle. Maksimi twangissä spektri oli loivempi kuin mahdollisimman puristeisessa äänentuotossa (kuva 6). Maksimi twangin spektri lähti laskuun vasta 5500 Hz:n jälkeen. Maksimi twangissä sekä F1 että F2 olivat taajuudeltaan nousseet ja F3 oli spektrin voimakkain huippu. Sekä maksimi twangissä että mahdollisimman puristeisessa F0 oli amplitudiltaan heikko. Lisäksi maksimi twangissä F4 ja F5 olivat lähellä toisiaan ja F1:n vierestä löytyi huippu n. 1400 Hz:stä. Samanlainen huippu löytyi myös epätaloudellisesti tuotetuista overdrivestä ja edgestä (kuvat 12 ja 13).

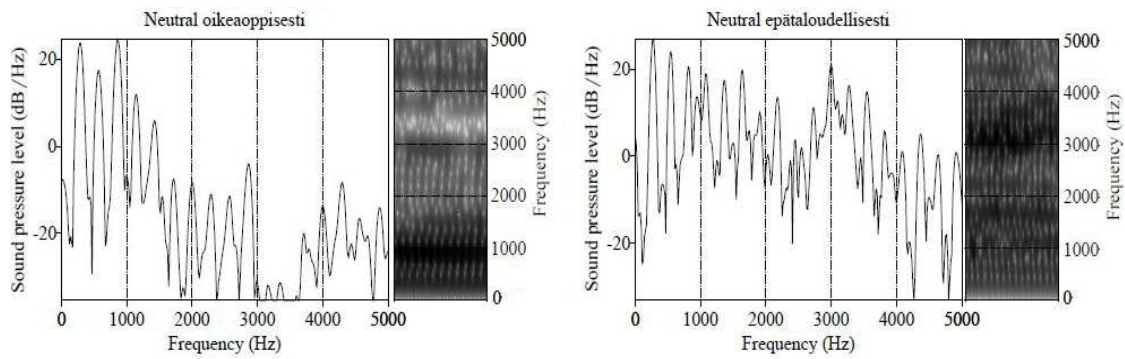


Kuva 5. Klassisen laulunäytteen sekä maksimi twangin spektrit ja spektrogrammit [ɑ:]-vokaalista.

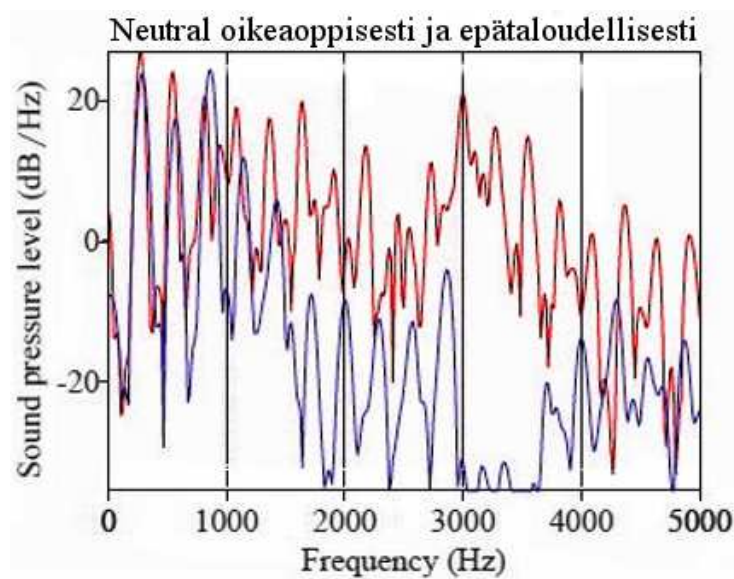


Kuva 6. Mahdollisimman vuotoisen (minimi) sekä mahdollisimman puristeisen (maksimi) spektrit ja spektrogrammit [ɑ:]-vokaalista.

Oikeaoppisessa neutral-moodissa F3–F5 olivat voimakkaat, muutoin spektri laski jyrkästi (kuva 7). Samoin kuin klassisessa laulussa, myös neutralissa F2 oli taajuudeltaan matalammalla kuin muissa äänentuottotavoissa. Epätaloudellisesti tuotetussa neutralissa F2, F3 ja F5 olivat nousseet taajuudeltaan korkeammalle ja F1 ja F4 olivat laskeneet. Sekä oikeaoppisessa että epätaloudellisesti tuotetussa neutralissa huippu 3000 Hz:n korkeudella oli voimakas. Epätaloudellisesti tuotetussa neutralissa huippu oli voimakkaampi ja epätaloudellisesti tuotetun neutralin spektri laski loivemmin (kuva 8).

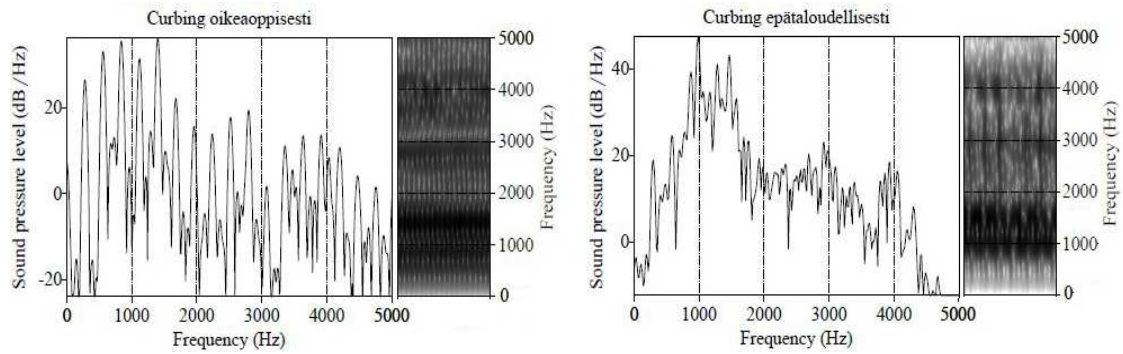


Kuva 7. Oikeaoppisesti sekä epätaloudellisesti tuotetun neutral-moodin spektrit ja spektrogrammit [ɑ:]-vokaalista.

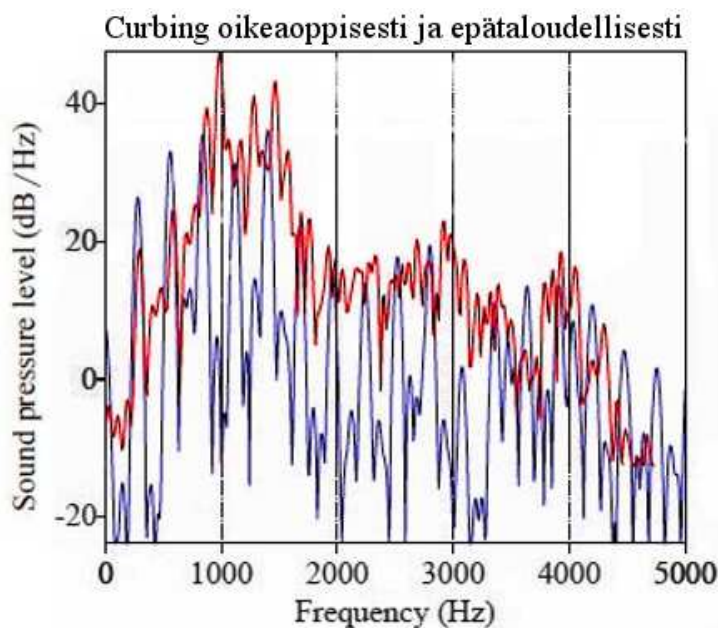


Kuva 8. Oikeaoppisesti (sininen viiva) ja epätaloudellisesti (punainen viiva) tuotettujen neutral-moodien spektrit esitettynä päällekkäin.

Curbingissä F1 ja F2 olivat voimakkaat ja F0 niitä heikompi. F3:n taajuusalue oli voimakas, samoin F4 ja F5 muodostivat voimakkaan huipun n. 4000 Hz:n korkeudelle (kuva 9). Epätaloudellisesti tuotetun curbingin spektrissä oli nähtävissä hälyä, mutta F3–F5:n huiput olivat edelleen selkeät. F0 oli heikko (kuva 9). Epätaloudellisessa curbingissä F1–F4 olivat nousseet taajuudeltaan korkeammalle, F1 ja F2 olivat voimakkaammat sekä F0 oli voimakkuudeltaan heikompi kuin oikeaoppisessa curbingissä. Spektrin muoto pysyi samanlaisena (kuva 10).

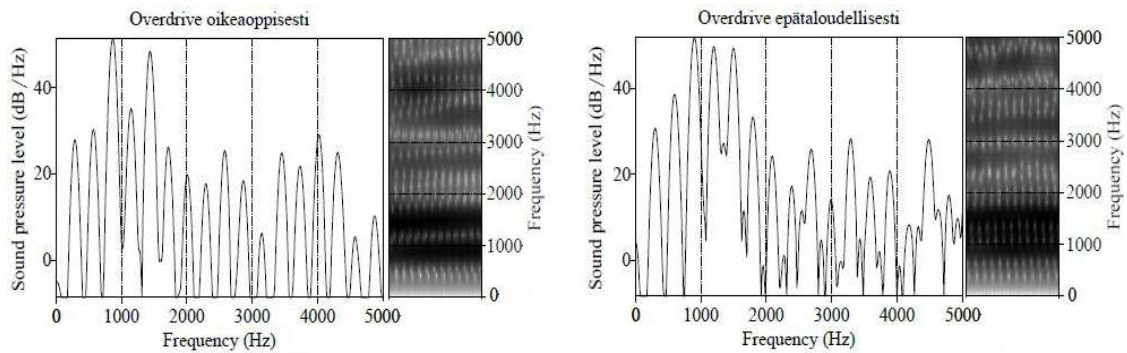


Kuva 9. Oikeaoppisesti sekä epätaloudellisesti tuotetun curbing-moodin spektrit ja spektrogrammit [ɑ:]-vokaalista.

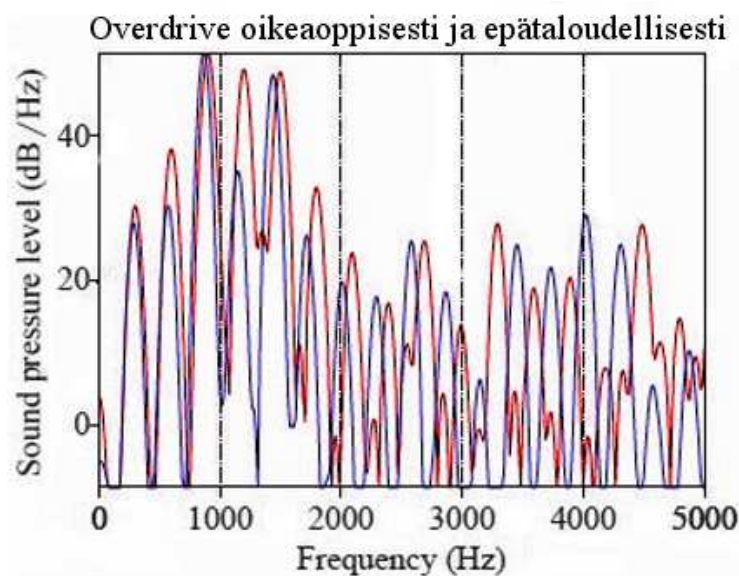


Kuva 10. Oikeaoppisesti (sininen viiva) ja epätaloudellisesti (punainen viiva) tuotettujen curbing-moodien spektrit esitettynä päällekkäin.

Oikeaoppisesti tuotetussa overdrivessä F0 oli heikko ja F1 oli voimakkain huippu. F3 oli taajuudeltaan matalammalla sekä oikeaoppisessa että epätaloudellisesti tuotetussa overdrivessä (kuva 11). Epätaloudellisessa overdrivessä F1 oli edelleen voimakas ja sen viereen oli noussut voimakas huippu n. 1200 Hz:n korkeudelle. Lisäksi F1 ja F2 olivat taajuudeltaan korkeammalla epätaloudellisessa overdrivessä ja F4 ja F5 matalammalla (kuva 12).

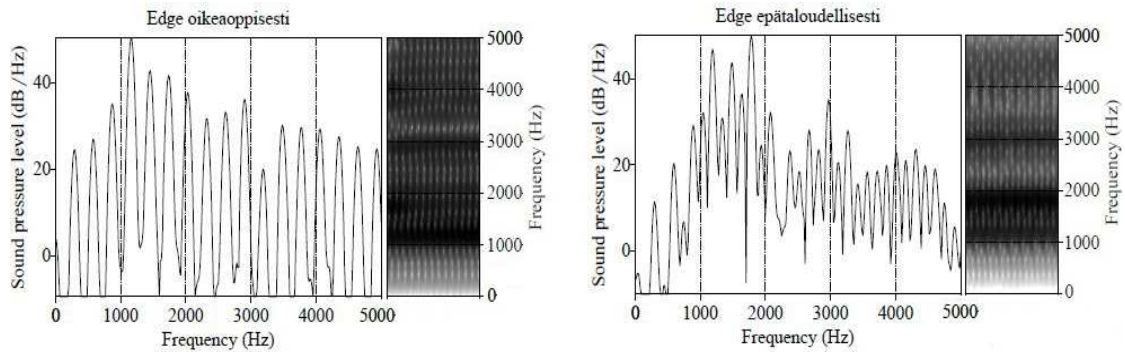


Kuva 11. Oikeaoppisesti sekä epätaloudellisesti tuotetun overdrive-moodin spektrit ja spektrogrammit [a:]-vokaalista.

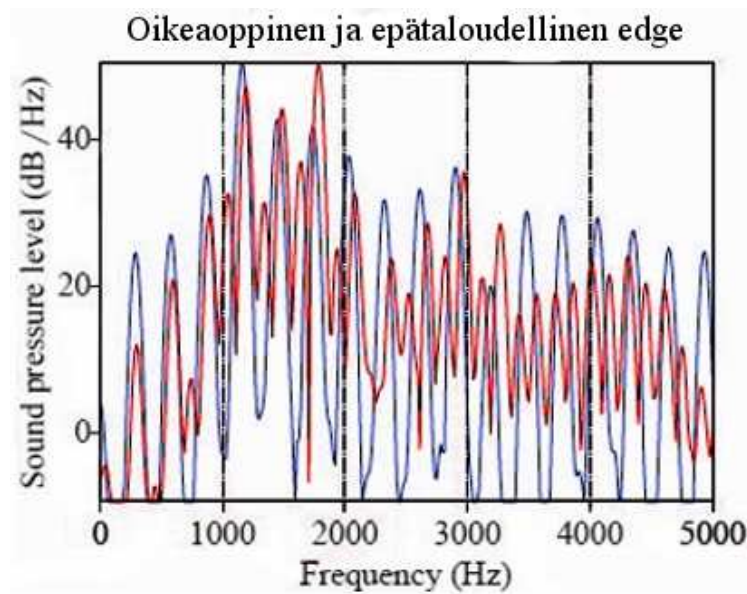


Kuva 12. Oikeaoppisesti (sininen viiva) ja epätaloudellisesti (punainen viiva) tuotettujen overdrive-moodien spektrit esitettynä päällekkäin.

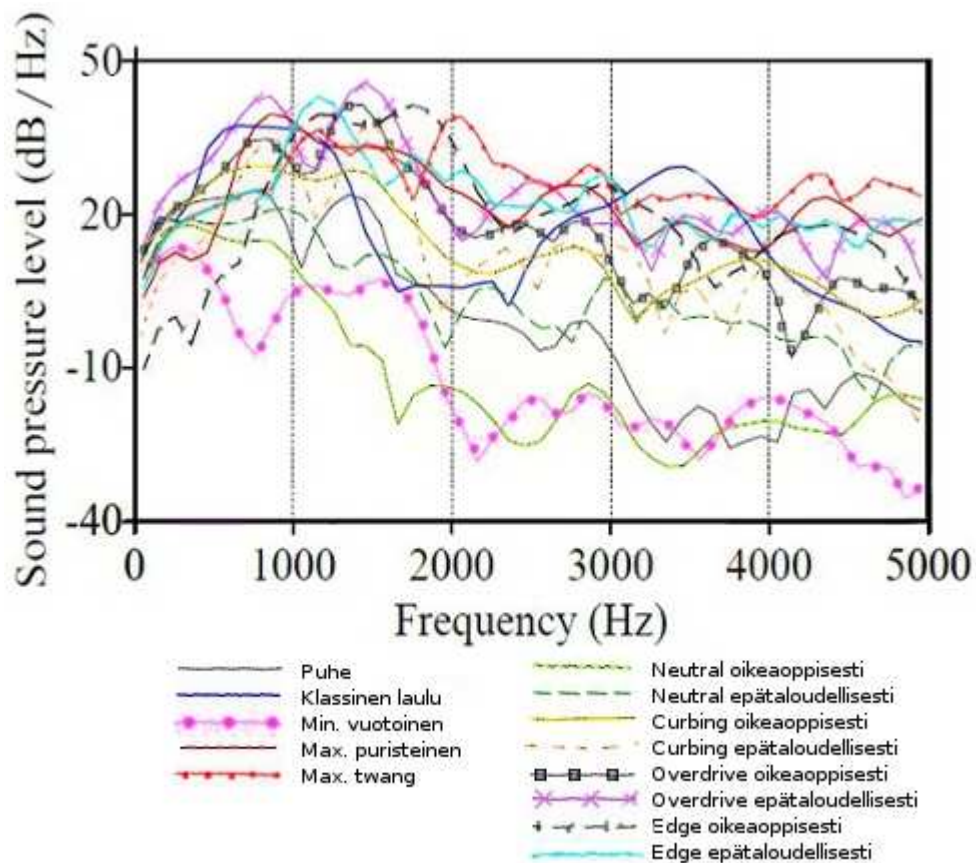
Sekä oikeaoppisesti tuotetussa että epätaloudellisessa edgessä F1 ja F2 olivat taajuudeltaan korkealla. Oikeaoppisessa edgessä F1 oli voimakkain huippu ja F2 heikompi, kun taas epätaloudellisessa F1 ja F2 olivat molemmat voimakkaita ja niiden välistä löytyi huippu n. 1400 Hz:stä (kuva 13). Molempien spektrit olivat loivat ja 3000 Hz:n korkeudelta löytyi molemmista huippu. F4:ää lukuunottamatta kaikki formantit olivat epätaloudellisessa edgessä korkeammalla taajuudella (kuva 14).



Kuva 13. Oikeaoppisesti sekä epätaloudellisesti tuotetun edge-moodin spektrit ja spektrogrammit [ɑ:]-vokaalista.



Kuva 14. Oikeaoppisesti (sininen viiva) ja epätaloudellisesti (punainen viiva) tuotettujen curbing-moodien spektrit esitettynä päällekkäin.



Kuva 15. Eri äänentuottotapojen spektrit esitettynä samassa kuvassa.

F0 oli 'paappa'-sanän toistoissa kaikissa äänentuottotavoissa 288 Hz. Keskimääräinen puhekorkeus luentanäytteessä oli 123 Hz, mutta luentanäytteen [ɑ:]-vokaalissa F0 oli 183 Hz. Keskimäärin F1 oli 800–900 Hz:n taajuudella. Keskiarvosta poikkesivat klassinen laulu matalimmalla F1:llä, joka oli 720 Hz:n korkeudella, luentanäytteen [ɑ:]-vokaali, jossa F1 oli myös matalammalla ja twangiä sisältävät äänentuottotavat sekä mahdollisimman vuotoinen, joissa F1 oli korkealla, noin 1000–1200 Hz:ssä. Myös epätaloudellisesti tuotetussa curbingissa F1 oli korkealla, 963 Hz:ssä.

F2 oli keskimäärin 1300 Hz:ssä. Mahdollisimman vuotoisessa ja voimakkaammissa äänentuottotavoissa F2 oli noin 1400 Hz:ssä. Korkeimmat F2:t olivat oikeaoppisessa ja epätaloudellisessa edgessä 1700–1800 Hz:ssä ja maksimi twangissa 2006 Hz:ssä. Matalin F2 oli klassisessa laulussa, neutralissa ja luentanäytteen [ɑ:]-vokaalissa, joissa F2 oli noin 1100 Hz:ssä.

Keskimääräinen F3 näytteiden välillä oli n. 2800 Hz. Matalin F3 oli epätaloudellisessa neutralissa, mutta myös luentanäytteessä F3 oli matalalla. Myös puheessa ja molemmissa overdriveissa F3 oli alle 2800 Hz:ssä. Korkeimmat F3:t, 2900–3000 Hz, olivat epätaloudellisesti tuotetuissa curbingissä ja edgessä.

F4:n suhteen oli näytteiden välillä hajontaa. Matalimmat F4:t olivat epätaloudellisesti tuotetuissa neutralissa (3151 Hz), overdrivessa (3233 Hz) ja edgessä (3274 Hz). Korkein F4 oli maksimi twangissä (4337 Hz), myös puheessa F4 oli korkealla (4051 Hz:ssä). Korkealla F4 oli myös luennassa ja epätaloudellisessa curbingissä.

Kaikissa äänentuottotavoissa F5 oli 4000–5000 Hz:n välillä. Korkein F5, 4987 Hz:ssä, oli luennan [ɑ:]-vokaalissa. 'Paappa'-sanana toistoissa äänentuottotavoista korkeimmat F5:t olivat oikeaoppisessa ja epätaloudellisessa neutralissa (4378 Hz). Matalin F5 oli oikeaoppisessa overdrivessä (4031 Hz).

Taulukko 1. F0 ja formanttitaajuudet F1–F5 eri äänentuottotavoissa sekä luentanäytteen [ɑ:]-vokaalissa.

	F0	F1	F2	F3	F4	F5
Luennan [ɑ:]	183	741	1105	2390	3818	4987
Puhe	288	820	1393	2783	4051	4194
Klassinen laulu	288	720	1127	2844	3417	4255
Mahdollisimman vuotoinen	288	1004	1474	2844	3744	4132
Mahdollisimman puristeinen	288	861	1433	2865	3417	4271
Maksimi twang	288	1147	2006	2885	4337	4623
Neutral	288	861	1147	2865	3785	4378
Neutral epätaloudellisesti	288	820	1372	2190	3151	4378
Curbing	288	861	1393	2803	3642	4194
Curbing epätaloudellisesti	288	963	1454	2906	3867	4153
Overdrive	288	881	1433	2599	3478	4031
Overdrive epätaloudellisesti	288	881	1413	2578	3233	4398
Edge	288	1127	1720	2885	3764	4051
Edge epätaloudellisesti	288	1188	1781	2967	3274	4296

Vain klassisessa laulussa perustaajuuden ja ensimmäisen formantin etäisyys oli pienempi kuin puheessa. Kaikista suurin etäisyys F1:n ja perustaajuuden välillä oli twangiä sisältävissä äänentuottotavoissa. Vain maksimi twangissä F1:n ja F2:n etäisyys oli voimakkaasti suurempi kuin puheessa, kun taas klassisessa laulussa, oikeaoppisessa neutralissa ja mahdollisimman vuotoisessa F1:n ja F2:n etäisyys oli

voimakkaasti pienempi kuin puheessa. Oikeaoppisessa neutralissa ja klassisessa laulussa toisen ja kolmannen formantin etäisyys oli 24 % suurempi kuin puheessa. Molemmissa overdrivessä ja molemmissa edgeissä tämä etäisyys oli 15–16 % pienempi kuin puheessa. Maksimi twangissä ja epätaloudellisessa neutralissa F2:n ja F3:n etäisyys oli pienin.

Kolmannen ja neljännen formantin etäisyyksissä oli paljon vaihtelua suhteessa puheeseen. Suurimmassa osassa äänentuottotapoja F3 ja F4 olivat lähempänä toisiaan kuin puheessa. Vain maksimi twangissä F3:n ja F4:n etäisyys oli suurempi kuin puheessa.

Puheessa neljäs ja viides formantti olivat lähellä toisiaan. Kaikissa muissa äänentuottotavoissa F5:n ja F4:n ero oli vähintään kaksinkertainen puheeseen verrattuna. Epätaloudellisissa moodeissa curbingiä lukuunottamatta neljännen ja viidennen formantin välinen etäisyys oli oikeaoppisesti tuotettua moodia suurempi.

Taulukko 2. Formanttien etäisyydet eri äänentuottotavoissa verrattuna puhenäytteen formanttien etäisyyksiin.

	F1-F0	F2-F1	F3-F2	F4-F3	F5-F4
Puhe	532 Hz	573 Hz	1390 Hz	1268 Hz	143 Hz
Klassinen laulu	- 19 %	- 29 %	+ 24 %	- 55 %	+ 486 %
Mahdollisimman vuotoinen	+ 35 %	- 18 %	- 1 %	- 29 %	+ 171 %
Mahdollisimman puristeinen	+ 8 %	+/- 0 %	+ 3 %	- 56 %	+ 497 %
Maksimi twang	+ 61 %	+ 50 %	- 37 %	+ 15 %	+ 100 %
Neutral	+ 8 %	- 50 %	+ 24 %	- 27 %	+ 315 %
Neutral epätaloudellisesti	+/- 0 %	- 4 %	- 41 %	- 24 %	+ 758 %
Curbing	+ 8 %	- 7 %	+ 1 %	- 34 %	+ 286 %
Curbing epätaloudellisesti	+ 27 %	- 14 %	+ 4 %	- 24 %	+ 100 %
Overdrive	+ 11 %	- 4 %	- 16 %	- 31 %	+ 287 %
Overdrive epätaloudellisesti	+ 11 %	- 7 %	- 16 %	- 48 %	+ 715 %
Edge	+ 58 %	+ 3 %	- 16 %	- 31 %	+ 101 %
Edge epätaloudellisesti	+ 69 %	+ 3 %	- 15 %	- 76 %	+ 615 %

Luantanäytteen [ɑ:]-vokaalissa sekä koko luantanäytteessä alfa-suhdeluku oli -24,8 dB. 'Paappa'-sanan toistoissa eroa pienimmän ja suurimman alfa-suhdeluvun välillä oli 41 dB:ä. Pienin alfa-suhdeluku 'paappa'-sanan toistoissa oli mahdollisimman vuotoisessa äänentuotossa (-18 dB). Oikeaoppisessa neutralissa alfa-suhdeluku oli

-11,9 dB. Suurin alfa-suhdeluku oli maksimi twangissä (23 dB). Mahdollisimman puristeisessa äänentuotossa alfa-suhdeluku oli 12,1 dB. Luennassa, puheessa, klassisessa laulussa, mahdollisimman vuotoisessa ja neutral-moodissa oli 50–1000 Hz:n välillä enemmän energiaa kuin ylemmillä taajuuksilla.

Oikeaoppisesti tuotettujen moodien alfa-suhdeluku kasvoi moodien metallisuuden lisääntyessä klassisen laulun (-1,6 dB) sijoittuessa neutralin ja puolimetallisen curbing-moodin välille (3,1 dB), kuitenkin lähemmäs curbingiä. Oikeaoppisesti tuotettu overdrive oli alfa-suhdeluvultaan 9,3 dB ja lähes yhtä suuri kuin mahdollisimman puristeinen äänentuotto. Kaikissa muissa moodeissa alfa-suhdeluvut olivat suuremmat epätaloudellisesti tuotettuina, mutta curbing oli epätaloudellisesti tuotettuna alfa-suhdeluvultaan n. 1,4 dB pienempi. Edgessä muutos oikeaoppisen ja epätaloudellisen välillä oli vain n. 0,2 dB:n luokkaa, kun taas neutralissa ero oli jopa 10,8 dB ja overdrivessä n. 2,6 dB.

Taulukko 3. Alfa-suhdeluvut desibeleinä eri äänentuottotavoissa.

	Alfa-suhdeluku (dB)	
Luenta	-24,8	
Luennan [ɑ:]	-24,8	
Puhe	-8,1	
Klassinen laulu	-1,6	
Minimi	-18,0	
Maksimi	12,1	
Maksimi twang	23,0	
	Oikeaoppisesti	Epätaloudellisesti
Neutral	-11,9	-1,1
Curbing	3,1	1,7
Overdrive	9,3	12,0
Edge	21,7	21,9

5.2 Äänenpainetasot äänentuottotavoissa

Voimakkuudeltaan heikoimmat äänentuottotavat olivat luenta, mahdollisimman vuotoinen sekä neutral-moodi oikeaoppisesti ja epätaloudellisesti tuotettuna. Luentanäytteen keskimääräinen SPL oli noin 9 dB puhenäytteen SPL:ää heikompi, luentanäytteen vokaali oli 2,4 dB puhenäytettä voimakkaampi. Mahdollisimman vuotoinen äänentuotto oli voimakkuudeltaan 15,2 dB heikompaa kuin puhe, oikeaoppinen neutral oli puhetta 10,2 dB heikompaa. Voimakkaimmat äänentuottotavat olivat overdrive, joka epätaloudellisesti tuotettuna oli kaikista voimakkain (103,5 dB), edge, maksimi twang, mahdollisimman puristeinen ja klassinen laulu lueteltuna voimakkaimmasta. Myös epätaloudellinen curbing oli SPL:n suhteen voimakasta. Klassinen laulu oli puhetta 9,5 dB voimakkaampaa, neutral oli lähes yhtä paljon puhetta heikompaa ja oikeaoppisesti tuotetut overdrive ja edge olivat n. 15,5 dB puhetta voimakkaampia.

Lähes kaikki CVT-moodit olivat epätaloudellisesti tuotettuina SPL:n suhteen voimakkaampia. Vain edge oli 2,6 dB heikompi epätaloudellisesti kuin oikeaoppisesti tuotettuna. Neutralissa SPL kasvoi 3,3 dB oikeaoppisen ja epätaloudellisen välillä, curbingissä 7,6 dB ja overdrivessa 3,8 dB. Voimakkaimmat SPL:t olivat overdrive- ja edge-moodeissa oikeaoppisesti ja epätaloudellisesti tuotettuina.

Taulukko 4. SPL:t desibeleinä eri äänentuottotavoissa.

	SPL (dB)	
Luenta	75,2	
Luennan [ɑ:]	86,6	
Puhe	84,2	
Klassinen laulu	93,7	
Mahdollisimman vuotoinen	69,0	
Mahdollisimman puristeinen	94,8	
Maksimi twang	98,3	
	Oikeaoppisesti	Epätaloudellisesti
Neutral	74,4	77,6
Curbing	87,7	95,2
Overdrive	99,7	103,5
Edge	99,6	97,0

5.3 EGG-signaalin muoto ja CQ

Puheäänen EGG-signaali oli amplitudiltaan suuri. Puheen signaalissa ääniraon avautumisvaihe oli pidempi ja loivempi kuin ääniraon sulkeutumisasihe. Ääniraon avautumisvaiheessa oli nähtävissä polvi. Klassisessa laulussa EGG-signaali oli amplitudiltaan suuri, mikä tarkoittaa tiivistä adduktiota. Signaalissa ääniraon sulkeutumisasihe oli muodoltaan puheen vastaavaa jyrkempi. Ääniraon avautumisvaiheessa signaali oli muodoltaan kovera. Kuten puheen signaalissa, myös klassisen laulun EGG-signaalissa ääniraon avautumisvaiheessa oli polvi.

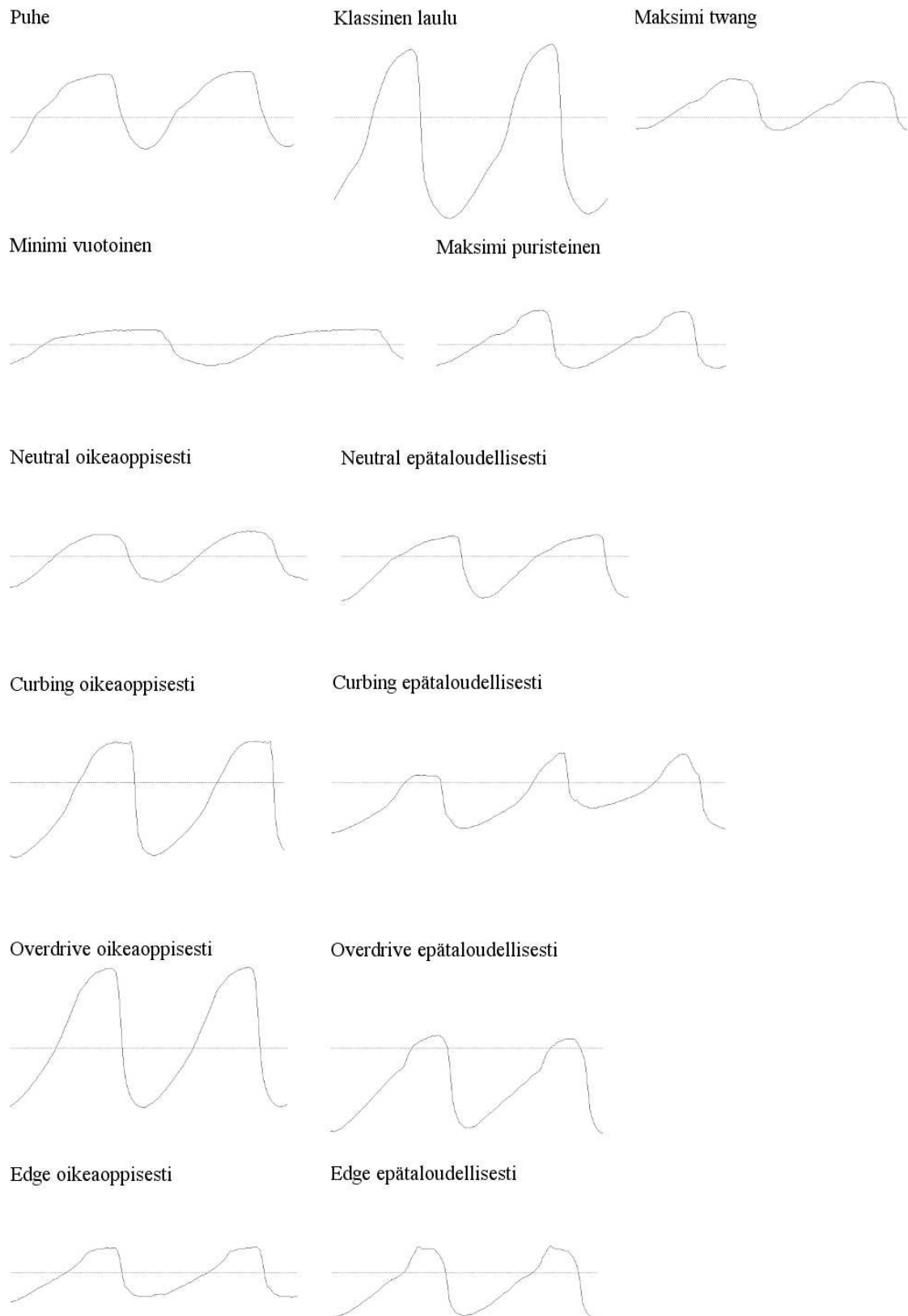
Mahdollisimman vuotoisen äänentuoton EGG-signaali oli loiva ja amplitudiltaan pieni, mikä tarkoittaa vähäistä äänihuuliadduktiota. Ääniraon aukiolovaihe oli sulkeutumisasihetta reilusti pidempi ja neliskulmainen. Mahdollisimman puristeisen äänentuoton EGG-signaalin amplitudi oli suurempi kuin mahdollisimman vuotoisen, mutta pienempi kuin puheen. Mahdollisimman puristeisen EGG-signaalissa ääniraon avautumisvaihe oli loiva ja siinä oli nähtävissä polven sijaan pieni kohouma. Ääniraon sulkeutumisasiheessa signaali mahdollisimman puristeisessa oli jyrkkä. Maksimi twangin signaali oli kauttaaltaan loivempi ja pyöreämpi kuin mahdollisimman puristeisessa. Amplitudiltaan maksimi twangin EGG-signaali oli samaa luokkaa kuin mahdollisimman puristeisessa.

Oikeaoppisesti tuotetun neutral-moodin EGG-signaali oli loiva, pyöreä ja amplitudiltaan yhtä suuri kuin maksimi puristeisen signaali. Ääniraon avautumisvaihe oli neutral-moodin signaalissa lähes yhtä pitkä ja loiva kuin sulkeutumisasihe. Epätaloudellisessa neutralissa ääniraon avautumisvaiheessa signaali oli jyrkempi ja muodoltaan kauttaaltaan kulmikkaampi. Lisäksi epätaloudellisessa neutralissa EGG-signaalin amplitudi oli suurempi kuin oikeaoppisessa neutralissa, mikä tarkoittaa adduktion lisääntyneen.

Oikeaoppisen curbingin EGG-signaali oli amplitudiltaan suurempi kuin puheen EGG-signaali. Curbingin signaalissa oli tasanne ääniraon avautumisvaiheessa. Lisäksi EGG-signaalin sulkeutumisvaihe oli jyrkkä, avautumisvaihe sen sijaan oli loivempi ja kovera. Epätaloudellisessa curbingissä EGG-signaali oli epäsäännöllinen ja siinä toistui kolme erilaista periodia. Signaalin amplitudi oli pienempi kuin oikeaoppisessa curbingissä.

Oikeaoppisen overdriven signaali oli amplitudiltaan suuri ja muistutti melko paljon klassisen laulun signaalin muotoa. Ääniraon avautumisvaihe oli signaalissa muodoltaan kovera, mutta siinä ei ollut polvea. Signaalin huippu ja notko olivat samankaltaiset. Epätaloudellisessa overdrivessä signaali oli amplitudiltaan oikeaoppisen signaalia pienempi. Ääniraon avautumisvaiheeseen oli signaalissa muodostunut polvi.

Oikeaoppisen edgen EGG-signaali oli amplitudiltaan yhtä suuri kuin oikeaoppisen neutralin signaali. Signaalissa ääniraon sulkeutumisvaihe oli jyrkkä ja ääniraon avautumisvaiheessa oli nouseva tasanne. Lisäksi ääniraon avautumisvaiheessa käyrä oli hyvin pyöreä, loiva ja kupera. Epätaloudellisessa edgessä signaalin amplitudi oli suurempi kuin oikeaoppisessa edgessä sekä ääniraon avautumisvaiheeseen oli muodostunut polvi. Ääniraon sulkeutumisvaiheessa signaali oli jyrkempi ja ääniraon avautumisvaiheen tasanne oli laskeva.



Kuva 16. Äänentuottotapojen EGG-käyrät. Alhaalla äänihuulet ovat kiinni, ylhäällä auki. X-akselilla on kuvattu aika, Y-akselilla amplitudi.

EGG-signaalista määritettiin myös kunkin äänentuottotavan CQ. Luentanäytteestä poimitussa [ɑ:]-vokaalissa CQ oli matala (0,43). 'Paappa'-sanaa toistaen tehdyissä näytteissä matalin CQ oli mahdollisimman vuotoisessa äänentuotossa (0,40). Puhenäytteessä ja oikeaoppisesti sekä epätaloudellisesti tuotetuissa neutraleissa CQ:t olivat 0,50–0,55 välillä. Molemmissa overdriveissa sekä oikeaoppisessa curbingissä CQ oli välillä 0,59–0,64. CQ:n mukaan nousevassa järjestyksessä maksimi twang, oikeaoppinen edge, epätaloudellinen curbing ja klassinen laulu sijoittuivat välille 0,66–0,69. CQ-arvoiltaan suurimmat olivat mahdollisimman puristeinen äänentuotto (0,70) sekä epätaloudellisesti tuotettu edge (0,71). Vaihteluväli kaikista pienimmästä CQ:sta suuriimpaan oli 0,71–0,40 eli 0,31.

Oikeaoppisesti tuotetuissa moodeissa CQ-arvot sijoittuivat 0,55:n ja 0,67:n välille, vaihteluväli oli 0,12. Moodit muuttuivat CQ-arvoiltaan pienimmästä suurimpaan järjestyksessä neutral, curbing, overdrive ja edge. Epätaloudellisesti tuotetuissa moodeissa pienin CQ oli edelleen neutralissa (CQ 0,53) ja suurin edgessä (CQ 0,71), mutta epätaloudellisessa curbingissä CQ oli suurempi kuin epätaloudellisessa overdrivessä. Muissa epätaloudellisesti tuotetuissa moodeissa CQ-arvot olivat suuremmat kuin oikeaoppisesti, vain neutralissa CQ pieneni. Vähiten CQ:t muuttuivat neutralissa (-0,02) ja overdrivessä (+0,02), edgessä CQ kasvoi 0,04 yksikköä ja curbingissä 0,09.

Taulukko 5. CQ:t eri äänentuottotavoissa

	CQ	
Luennan [ɑ:]	0,43	
Puhe	0,51	
Klassinen laulu	0,69	
Mahdollisimman vuotoinen	0,40	
Mahdollisimman puristeinen	0,70	
Maksimi twang	0,66	
	Oikeaoppisesti	Epätaloudellisesti
Neutral	0,55	0,53
Curbing	0,59	0,68
Overdrive	0,62	0,64
Edge	0,67	0,71

5.4 Kuuntelutestien tulokset ja tilastollinen tarkastelu

CVT-menetelmän suhteen kokeneen kuuntelijan kuunteluarvion mukaan tutkitut moodit vastasivat CVT:n moodeja. Oikeaoppinen neutral vastasi CVT:n vuotoista neutralia (*neutral with air*), oikeaoppinen curbing vastasi curbingiä ja oikeaoppinen edge paljon twangiä sisältävää edgeä. Kuuntelija arvioi overdriven edgeksi, joka on lähellä overdriveä.

Epätaloudellinen neutral vastasi kuuntelijan mukaan vuotoista neutral-moodia, mutta oli hänen arvionsa mukaan kontrolloimatonta. Epätaloudellinen curbing vastasi curbingiä säröllä ja rahinalla. Epätaloudellinen overdrive kuulosti oikeaoppisen overdriven tapaan edgeltä, jossa on tavoiteltu overdriveä. Epätaloudellinen edge vastasi twangista curbingiä tai edgeä, jossa on narinaa.

Kolme kuuntelijaa toisti kuuntelutestin kahdesti eri ajankohtana. Spearmanin järjestyskorrelaatiokertoimen mukaan nämä kaksi eri ajankohtina tehtyä arviota korreloivat positiivisesti kaikilla kolmella kuuntelijalla kaikissa arvioiduissa ominaisuuksissa. Kuuntelija A:n arviot työläydestä korreloivat positiivisesti, kuten tekivät myös hänen arvionsa tiiviydestä ja hälyisyydestä. Samoin oli kuuntelija B:n arvioissa työläydestä, tiiviydestä ja hälyisyydestä. Kuuntelija C:n arviot korreloivat myös positiivisesti työläyden sekä tiiviyden ja hälyisyyden suhteen.

Taulukko 7. Saman kuuntelijan kahden kuuntelukerran välinen korrelaatio Spearmanin järjestyskorrelaatiokertoimen mukaan.

Kahden kuuntelukerran välinen korrelaatio					
			Kuuntelija A	Kuuntelija B	Kuuntelija C
Spearmanin rho	Työläys	Correlation Coefficient	0,872	0,747	0,960
		Sig. (2-tailed)	0,000	0,003	0,000
		N	13	13	13
	Tiiviys	Correlation Coefficient	0,927	0,869	0,974
		Sig. (2-tailed)	0,000	0,000	0,000
		N	13	13	13
	Hälyisyys	Correlation Coefficient	0,739	0,757	0,865
		Sig. (2-tailed)	0,004	0,003	0,000
		N	13	13	13

ICC:n mukaan kuuntelijoiden arviot olivat yhdenmukaiset eri kuuntelukerroilla. Kuuntelija C oli myös ICC:n mukaan arvioissaan yhdenmukaisin, hänellä oli kaikissa ominaisuuksissa arvioiden kesken voimakas positiivinen korrelaatio, $r > 0,9$. Muidenkin kuuntelijoiden arviot korreloivat voimakkaasti kaikissa ominaisuuksissa, $r > 0,8$.

Spearmanin järjestyskorrelaatiokertoimella testattiin eri kuuntelijoiden arvioiden keskinäistä korrelaatiota. Kaikkien kuuntelijoiden arviot tiiviystä korreloivat positiivisesti. Tiiviyn suhteen korrelaatio kahden kuuntelijan välillä vaihteli $r_s = ,797\text{--},945$, $n = 13$, $p = ,000\text{--},001$ välillä. Työläyden suhteen kuuntelijoiden arviot korreloivat vähemmän voimakkaasti, korrelaatiokertoimien vaihteluväli oli $r_s = ,470\text{--},869$, $n = 13$, $p = ,000\text{--},105$. Suurin osa korrelaatiokertoimista oli kuitenkin $r_s > ,60$. Hälyisyydessä vaihtelua kuuntelijoiden välillä oli eniten, korrelaatio vaihteli välillä $r_s = ,207\text{--},795$, $n = 13$, $p = ,001\text{--},498$. Puolessa tapauksista korrelaatiot olivat kuitenkin $r_s > ,50$.

Myös Cronbachin alfa -kerrointa käytettiin eri kuuntelijoiden arvioiden reliabiliteetin testaamiseen. Tiiviyn suhteen kuuntelijoiden arviot olivat cronbachin alfan mukaan yhdenmukaiset. Tiiviyn arvioissa cronbachin alfa -kerroin oli 0,977, työläyden arvioissa 0,870 ja hälyisyyden arvioissa 0,883.

Kuuntelutestin mukaan mahdollisimman vuotoinen äänentuotto ja puhe olivat vähiten työläästi tuotetut. Epätaloudellisesti tuotetut curbing, overdrive ja edge sekä mahdollisimman puristeinen äänentuotto arvioitiin työläästi tuotetuiksi. Epätaloudellinen neutral ja maksimi twang arvioitiin myös lähemmäs työlästä kuin helppoa äänentuottoa. Oikeaoppisissa moodeissa työläyden arvioitiin lisääntyneen metallisuuden lisääntymisen myötä. Kaikissa moodeissa epätaloudellisesti tuotetut moodit arvioitiin työläämmiin tuotetuiksi kuin oikeaoppiset moodit.

Kaikista vuotoisimmiksi kuuntelijat arvioivat epätaloudellisen neutralin ja mahdollisimman vuotoisen äänentuoton. Myös oikeaoppinen neutral, puhe ja oikeaoppinen curbing oli arvioitu tiiviiden suhteen enemmän vuotoiseksi kuin puristeiseksi. Puristeiseksi kuuntelijat arvioivat mahdollisimman puristeisen, maksimi twangin, oikeaoppisen edgen ja epätaloudellisesti tuotetut curbingin, overdriven ja edgen. Myös oikeaoppisesti tuotettu overdrive arvioitiin skaalalla lähemmäs puristeista kuin vuotoista päätä. Oikeaoppisissa moodeissa tiiviiden arvioitiin lisääntyneen metallisuuden lisääntymisen myötä. Epätaloudellinen neutral arvioitiin vuotoisemmaksi kuin oikeaoppinen neutral, muuten epätaloudellisesti tuotetut moodit arvioitiin puristeisemmiksi kuin oikeaoppisesti tuotetut moodit.

Vähiten hälyä oli kuuntelijoiden mukaan mahdollisimman puristeisessa, klassisessa laulussa sekä oikeaoppisesti tuotetuissa overdrivessä ja edgessä. Eniten hälyä arvioitiin olleen mahdollisimman vuotoisessa sekä epätaloudellisesti tuotetuissa moodeissa overdriveä lukuunottamatta. Hälyisyyden arvioitiin vähentyneen oikeaoppisissa moodeissa metallisuuden lisääntymisen myötä. Kaikissa epätaloudellisesti tuotetuissa moodeissa hälypitoisuus oli suurempi kuin vastaavissa oikeaoppisissa moodeissa.

Taulukko 8. Kuuntelijoiden arvioiden keskiarvot eri äänentuottotavoissa. Asteikko 0–1000, jossa työläyden kohdalla nolla vastaa helppoa äänentuottoa, tiiviyden kohdalla nolla vastaa vuotoista äänentuottoa ja hälyisyyden kohdalla nolla tarkoittaa, ettei äänessä ole hälyä.

Kuuntelutestin keskiarvoiset tulokset			
	Työläys	Tiiviys	Hälyisyys
Puhe	233	250	332
Klassinen laulu	404	542	139
Mahdollisimman vuotoinen	43	40	719
Mahdollisimman puristeinen	802	845	143
Maksimi twang	586	857	233
Neutral oikeaoppisesti	333	149	447
Curbing oikeaoppisesti	310	354	280
Overdrive oikeaoppisesti	398	604	142
Edge oikeaoppisesti	413	819	112
Neutral epätaloudellisesti	662	35	869
Curbing epätaloudellisesti	990	983	966
Overdrive epätaloudellisesti	751	708	477
Edge epätaloudellisesti	977	953	872

5.5 Tilastollinen vertailu

Spearmanin järjestyskorrelaatiokertoimella testattiin korreloivatko tiiviyden, hälyisyyden ja työläyden kuunteluarvioiden keskiarvot alfa-suhdeluvun, SPL:n ja CQ:n kanssa. Tiiviys korreloi tilastollisesti merkitsevästi positiivisesti alfa-suhdeluvun, SPL:n ja CQ:n kanssa (Taulukko 9). Tilastollisesti merkitsevästi korreloivat positiivisesti myös työläys ja CQ ($r_s = ,707$, $n = 13$, $p = ,007$) sekä alfa-suhdeluku ja SPL ($r_s = ,791$, $n = 13$, $p = ,001$). Työläys ja alfa-suhdeluku samoin kuin alfa-suhdeluku ja CQ korreloivat keskenään positiivisesti keskinkertaisen voimakkaasti.

Taulukko 9. Kuuntelutestin ja mittaustulosten korrelaatioanalyysi.

			Correlations				
			SPL (dB)	CQ	Työläys	Tiiviys	Hälyisyys
Spearman's rho	Alfa-suhdeluku (dB)	Correlation Coefficient	,791**	,580*	,610*	,764**	-,231
		Sig. (2-tailed)	,001	,038	,027	,002	,448
		N	13	13	13	13	13
		<hr/>					
	SPL (dB)	Correlation Coefficient		,539	,516	,714**	-,297
		Sig. (2-tailed)		,057	,071	,006	,325
		N		13	13	13	13
		<hr/>					
	CQ	Correlation Coefficient			,707**	,790**	-,300
		Sig. (2-tailed)			,007	,001	,320
		N			13	13	13
		<hr/>					

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Oikeaoppisesti tuotettuja ja epätaloudellisesti tuotettuja moodeja vertailtiin keskenään kuuntelutestin, alfa-suhdeluvun, CQ:n ja SPL:n suhteen. Tämä analyysi toteutettiin Mann-Whitneyn U-testillä. Mann-Whitney:n mukaan eri tavoin tuotetut moodit erosivat merkitsevästi vain kuullun työläyden ja hälypitoisuuden suhteen. Muutoin erot oikeaoppisesti tuotettujen ja epätaloudellisesti tuotettujen moodien välillä eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. (Taulukko 10.)

Taulukko 10. U-testi oikeaoppisesti ja epätaloudellisesti tuotettujen moodien eroavaisuudesta mitattujen ominaisuuksien suhteen.

Test Statistics ^b						
	Alfa-suhdeluku (dB)	SPL (dB)	CQ	Työläys	Tiiviys	Hälypitoisuus
Mann-Whitney U	7,000	7,000	5,000	,000	5,000	,000
Wilcoxon W	17,000	17,000	15,000	10,000	15,000	10,000
Z	-,289	-,289	-,866	-2,309	-,866	-2,309
Asymp. Sig. (2-tailed)	,773	,773	,386	,021	,386	,021
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,886 ^a	,886 ^a	,486 ^a	,029 ^a	,486 ^a	,029 ^a

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: Tuottotapa

6 POHDINTA

Ihmisiä äänen jaottelu Sadolinin tavalla moodeihin, äänen väreihin ja tehosteisiin eroaa sanastollisesti klassisesta näkemyksestä rekistereistä ja äänenlaadusta. Rekisteri tarkoittaa ”sarja[a] perättäisiä sävelkorkeuksia, joissa äänenväri kuulostaa samanlaiselta ja jotka siis voidaan olettaa tuotetuksi samalla periaatteella” (Laukkanen & Leino 2001, 44). Modaalirekisterissä äänihuulilihaksen sisempi osa supistuu lyhentäen ja paksuntaen äänihuulia, kun taas falsetissa se rentoutuu ja rengaskilpirustolihas jännittyy venyttäen äänihuulia pituussuunnassa. Tästä johtuen rekistereissä äänihuulet värähtelevät eri tavoin; modaalirekisterissä äänihuulivärähtely on vertikaalisesti kaksivaiheista ja äänihuulet sulkeutuvat koko syvyydeltään ja pituudeltaan tiiviisti. (Sundberg 1987.)

Modaalirekisterissä taajuuden säätely tapahtuu rengasrusto-kilpirustolihasen, äänihuulilihaksen sekä rengasrusto-kannurustolihasen aktiviteettia säätelemällä. Kun lihasten aktiviteettia ei voida enää modaalirekisterissä taajuuden noustessa lisätä, lihakset resetoituvat ja ääni siirtyy falsettirekisteriin. (Hirano et al 1970.) Falsettirekisterissä äänihuulten värähdyslaajuus ja törmäysvoima on pieni, eikä äänirako välttämättä sulkeudu lainkaan. Ääni on väritön ja ohut, kun modaalirekisterissä ääni on täyteläinen. Myös hypofunktionaalinen ja hiljainen ääni voidaan luokitella tuotetuksi falsettirekisterissä. (Vilkman, Alku & Laukkanen 1995.)

Modaali- ja falsettirekisterin lisäksi voidaan puhua pää-äänestä ja keskirekisteristä. Pää-ääni on modaali- ja falsettirekisterin yhdistelmä, keskirekisteri sijoittuu modaalirekisterin ja falsetin välille. Beltingissä tuotetaan korkeita ääniä rintarekisterissä. (Titze 2000; Sundberg 1987; Schutte & Miller 1993.) Rekistereistä puhumisen sijaan CVT:ssä erilaiset äänet jaotellaan niiden metallisuuden mukaan. On esitetty, että CVT-moodit voidaan erottaa toisistaan äänihuulivärähtelyn perusteella (McGlashan et al 2010), mikä saattaisi tarkoittaa moodien edustavan eri rekistereitä. Selamtzisin (2011) mukaan neutral tuotetaan falsettirekisterissä ja metalliset moodit modaalirekisterissä.

Sundbergin mukaan falsetti- ja modaalirekisteri voidaan erottaa F0:n amplitudin perusteella, falsetissa F0 on n. 5 dB voimakkaampi kuin modaalirekisterissä (1987). Myös äänihuulten kontaktoitumisvoima on erilainen eri rekistereissä. Falsetissa ääniraon kiinnioloaika on lyhyt, tai äänirako ei sulkeudu lainkaan, mitä kuvaa pieni CQ ja EGG-signaalin aaltomuodon pyöreys tai nelikulmaisuus. (Vilkman, Alku & Laukkanen 1995; Sundberg 1987.) Tässä tutkimuksessa falsettirekisterissä tuotettuja äänentuottotapoja näyttäisivät olleen mahdollisimman vuotoinen sekä neutral tuotettuna oikeaoppisesti ja epätaloudellisesti. Näissä äänentuottotavoissa F0 dominoi spektriä, CQ oli pieni tai keskimääräinen ja EGG-signaalin aaltomuoto oli pyöreä. Muissa äänentuottotavoissa, kuten puhenäytteessä, klassisessa laulussa ja metallisissa CVT-moodeissa F1 dominoi spektriä, CQ:t olivat suuremmat ja ääniraon sulkeutuminen oli selkeämmin nähtävissä EGG-signaaleissa.

Agerkvist (2011) on esittänyt, että overdriven rajoittuneisuus korkeilla sävelkorkeusalueilla johtuu ääniväylän vastuksesta. Myös rekisterillä voi olla vaikutusta overdriven rajoittuneisuuteen. Tämän tutkimuksen sekä Selamtzisin (2011) tutkimuksen mukaan overdrive tuotetaan modaalirekisterissä samoin kuin belttaus (Schutte & Miller 1993). Overdrivessä korkein mahdollinen sävelkorkeus miehellä on n. 523 Hz ja naisella n. 587 Hz, kun sävelkorkeusvaihtelu modaalirekisterissä on miehillä 75–500 Hz ja naisilla 130–750 Hz (Hollien, Gould & Johnson 1976).

CVT:n äänen värien (*sound colour*) vaihtelu vaaleasta tummaan on sanastoeroa lukuunottamatta yhtäläinen perinteisen käsityksen kanssa. Yksilöllinen, ääniväylän koosta ja muodosta riippuvainen äänenväri (*timbre*) vaihtelee, ja sitä voidaan muokata ääntöväylän pituutta ja kokoa muuntelemalla. Ääntöväylän koon muutos muokkaa äänen resonanssitaajuuksia ja niiden amplitudeja, mikä aiheuttaa kuullun muutoksen äänenvärisä. (Fant 1960; Sundberg 1987.)

Päinvastoin kuin äänenväri, on äänenlaatu monikäsitteinen sana. Sundberg käsittää äänenväriin ja äänenlaadun synonyymeinä. Laverin (1980) mukaan äänenlaatua voidaan käsitellä kapeasta näkökulmasta, jolloin huomio kiinnitetään vain kurkunpään toimintaan. Kurkunpään tasolla säädellään äänihuulten värähtelyä ja adduktiota eli äänen rekisteriä sekä vuotoisuutta ja puristeisuutta. Laajemmassa käsityksessä äänenlaatuun vaikuttavat sekä kurkunpään toiminta, että väylän vaikutukset. Väylän

avulla säädellään äänenväriin liittyviä äänen ominaisuuksia, kuten väylän pituutta, muotoa ja nenäportin toimintaa. (Laver 1980.) Titzen (2000) mukaan äänenlaatu on se, mikä jää sävelkorkeuden ja voimakkuuden ulkopuolelle. Lähdeäänien ja väylän yhteisvaikutus aiheuttaa fysikaalisesti äänienergian jakautumisen taajuusalueittain (Fant 1960). Äänenlaadulla voidaan siis tarkoittaa spektrissä nähtävien formanttien sijoittumisen ja voimakkuuden aiheuttamaa perseptuaalista havaintoa äänestä.

CVT:ssä äänenlaatua käsitellään metallisuuden ja tehosteiden kautta. Käytännössä äänenlaadun muokkaus CVT:ssä tapahtuu adduktiota ja ääniväylän muotoa muuttamalla, mikä vastaa yleistä käsitystä äänenlaadun muokkaamisesta (Laver 1980). Metallisuus tuotetaan kurkunpään eteisonteloa kaventamalla ja erilaisille äänenlaaduille, moodeille, on annettu ”ääntämisohteet” sekä tietyt vokaalit, joita on käytettävä etenkin korkeammilla sävelkorkeuksilla. (Sadolin 2008, 51–57.) Tämä kuvastaa sitä, että ohjeilla haetaan oikeanmallista ääntöväylää tietyn äänenlaadun aikaansaamiseksi. Lisäksi CVT:n ääntämisohteilla saatetaan tavoitella ääntöväylän voimistamien osasävelten ja ensimmäisen formantin yhteisvaikutuksen tuomaa äänen voimistumista. Klassisessa laulussa puhutaan formanttien virittämisestä (*formant tuning*), kun väylää muokataan niin, että F1 lähestyy jotakin osasäveltä. Ääni voimistuu voimakkaimman formantin (F1, lukuunottamatta falsettirekisteriä ja hiljaisia ääniä, joissa F0 on voimakkain huippu) vahvistaessa myös sen läheisyydessä olevia osasäveliä. (Miller & Schutte 1990.) Sundbergin mukaan kahden formantin välimatkan puolittuessa molemmat formantit voimistuvat 6 dB ja niiden välinen alue 12 dB (1987). Formanttien viritystä käyttävät etenkin sopraanot, joilla F1 sijaitsee taajuudeltaan yleensä perustaajuutta matalammalla. Formanttien virityksen on todettu muuttavan vokaalin äänenväriä, ja sen aikaansaamiseksi laulussa, jossa F1 on F0:aa korkeammalla taajuudella, on artikulaation oltava erittäin tarkkaa etenkin vokaalien vaihtuessa (Carlsson-Berndtsson & Sundberg 1991).

Vuotoinen (*breathy*) äänenlaatu esiintyy CVT-moodeista lähinnä neutralissa, joka voidaan tuottaa joko ”ilmalla” tai kiinteästi. Toisaalta vuotoinen äänenlaatu on otettu huomioon myös tehosteissa, mikä tarkoittaa, että vuotoinen äänenlaatu voidaan aina lisätä äänen tehosteena. Kuitenkaan huudon kaltaiseen overdriveen ei Sadolinin mukaan voi lisätä vuotoista äänenlaatua äänentuottoelimistöä rasittamatta (Sadolin 2008, 106–111).

CVT:ssä metallisten moodien yhteydessä äänentuottoa tiivistetään metallisen äänen tuottamiseksi (Selamtzis 2011). Kuitenkaan CVT:ssä ei ole tarkoitus tuottaa ääntä epätaloudellisen puristeisesti, sillä kaikki moodit ja erilaiset äänet pyritään tuottamaan aiheuttamatta epämiellyttäviä tuntemuksia (Sadolin 2008, 18). Howardin et alin tutkimusten mukaan CQ:n nousu laulukoulutuksen tai -kokemuksen myötä ei välttämättä tarkoita epätaloudellisen puristeisuuden lisääntymistä, vaan tehokkaan, ei-vuotoisen äänentuoton kehittymistä (1990; 1995). Selamtzisin (2011) tutkimuksessa OQ (*open quotient*) pieneni, eli CQ kasvoi metallisuuden lisääntyessä CVT-moodeissa. Korkein keskimääräinen CQ-arvo (laskettuna OQ-arvon perusteella) oli Selamtzisin tutkimuksessa 0,64 edgessä. Myös tässä tutkimuksessa CQ kasvoi metallisuuden myötä ja suurin CQ-arvo tässä tutkimuksessa oikeaoppisissa CVT-moodeissa oli vain 0,67 (edgessä). Selamtzisin mukaan CVT:ssä metallisissa äänissä käytetään suurempaa adduktiota ja kurkunpään yläpuolisen alueen kavennusta (jota CVT:ssä kutsutaan twangiksi), jolloin myös äänen intensiteetti kasvaa (2011). Selamtzisin mukaan metallisuus voidaan tuottaa vain lisäämällä sekä adduktiota että kurkunpään yläpuolisen alueen kavennusta. CVT:n twangiä voi hänen tutkimuksensa mukaan kuitenkin käyttää ilman adduktion lisäämistä, jolloin äänen intensiteetti kasvaa F2:n ja F3:n lähentyessä toisiaan taajuusalueella. Ääni ei tällöin kuulosta metalliselta. (Selamtzis 2011.)

Kun vuotoisuutta ja puristeisuutta käsitellään jatkumona, voidaan päätellä, että ääntä tiivistettäessä tullaan jossain kohtaa pisteeseen, jossa ääntö muuttuu tiiviin sijaan epätaloudellisen puristeiseksi. Esimerkiksi Baken ja Orlikoff pitävät CQ-arvoa 0,60 rajana normaalille äänentuotolle (2000, 427). Selamtzisin tutkimuksessa kaikissa metallisissa moodeissa CQ (laskettuna OQ:n perusteella) oli suurempi kuin 0,60 (2011). Tässä tutkimuksessa oikeaoppisesti tuotetuista moodeista curbingissä CQ oli 0,59 ja vain overdrivessä ja edgessä CQ nousi yli 0,60:n. Tässä tutkimuksessa CQ:n lisäksi myös alfa-suhdeluku kasvoi metallisuuden lisääntyessä, mutta sekä CQ että alfa-suhdeluku olivat edgeä lukuunottamatta kaikissa moodeissa pienemmät tai yhtä suuret kuin mahdollisimman puristeisessa näytteessä.

Sundbergin (2010) ja Clevelandin et alin (1997) tutkimusten tulosten mukaan puristeisessa äänössä SPL on ollut matalampi äänihuulten värähtelyn heikennyttyä

puristeisuuden myötä. Tässä tutkimuksessa oikeaoppisissa moodeissa SPL kasvoi CQ:n kasvaessa, mikä viittaisi siihen, ettei CQ:n kasvu metallisuuden lisääntymisen myötä aiheuttanut äänihuulivärähtelyn heikkenemistä. CQ:n kasvu CVT-moodien välillä voisi tarkoittaa tehokkaampaa äänentuottotapaa, kuten Howardin et aliin tutkimuksissa (1990, 1995). Näiden tulosten perusteella näyttäisi siltä, että oikeaoppisesti tuotetuissa moodeissa käytettävä tiivis asetus ei välttämättä tarkoita äännön epätaloudellista puristeisuutta.

CVT:n ajatuksena on, että kuka tahansa voi oppia laulamaan ja että oikealla tekniikalla kaikki ihmisäänen variaatiot on mahdollista tuottaa äänielimistöä vahingoittamatta (Sadolin 2008, 9). Laulaminen on taitolaji, mikä tarkoittaa, että laulutekniikkaa voidaan aina parantaa. Yleisesti kuitenkin ajatellaan, että taitolajienkin oppimisella on rajansa: kullakin yksilöllä on omat fyysiset, psyykkiset, ja sosiaaliset rajoitteensa, joita voi olla mahdoton ylittää. Sadolinin mukaan CVT:ssä pyritään parantamaan laulutekniikkaa yksilöllisten tarpeiden mukaan ja, että tekniikka tarjoaa kaikki työkalut siihen, että ”oppi laulamaan”. Hän toteaa, että ammattilaulajan tasolle pääseminen edellyttää harjoittelua, mutta ei täsmennä, millainen on se suurin laulutaito, jonka kukin pystyy CVT:n avulla oppimaan. (Sadolin 2008, 6–9.)

’Paappa’-sanon toistoissa koehenkilön puhenäyte sekä oikeaoppinen neutral sijoittuivat kuuntelutestin, alfa-suhdeluvun ja CQ:n mukaan tiiviyskaalan keskivaiheille, kuitenkin lähemmäs vuotoista kuin puristeista äänentuottoa. Kuunteluanalyysin tulokset ja alfa-suhdeluku viittaisivat puhenäytteen olleen tiiviimmin tuotettu kuin oikeaoppinen neutral. Eroa alfa-suhdeluvussa saattaa kuitenkin selittää 10 dB:n ero puhenäytteen ja neutralin intensiteetissä, sillä CQ oli oikeaoppisessa neutralissa suurempi kuin puhenäytteessä. Toisaalta puhenäyte edustaa tavanomaisen puheen sijaan puheenomaisesti tuotettua laulunäytettä, sillä näytteessä käytetty perustaajuus on miesten keskimääräiseen puhekorkeuteen (110 Hz, Laukkanen & Leino 2001, 149) nähden korkea. Korkeasta perustaajuudesta johtuen on mahdollista, ettei puhenäyte ole täysin modaalirekisterityyppistä, mistä johtuen myös F0 on puhenäytteessä voimakkaampi kuin luennasta poimitun vokaalin spektrissä. Puhenäytteen EGG-signaali muistutti kuitenkin muodoltaan enemmän esimerkiksi Estill et alin tutkimuksen puheen EGG-signaalia kuin falsetin signaalia (1983).

Luantanäytteen alfa-suhdeluku oli -24,8 dB. Lisäksi luantanäytteen LTAS-käyrässä oli puhujanformantti, joka oli n. 30 dB heikompina kuin spektrin voimakkain huippu. Verrattuna Leinon tuloksiin, joissa hyviksi arvioituissa miesäänissä puhujanformantti oli 20–25 dB spektrin voimakkainta huippua heikompina (Leino 1994), nämä tulokset viittaisivat koehenkilön tavallisen puheen olleen myös lähempänä vuotoista kuin puristeista äänentuottotapaa. Luantanäytteen tuloksia ei voida verrata 'paappa'-sanaa toistaen tuotettujen näytteiden tuloksiin erilaisen F0:n vuoksi.

Klassisen laulun spektristä löytyi kaikista voimakkain huippu verrattuna muihin näytteisiin. Huippu oli taajuudeltaan noin 3500 Hz:ssä. Klassisessa laulussa oli muihin näytteisiin verrattuna suuri CQ ja suuri EGG-signaalin amplitudi. Alfa-suhdeluvun mukaan klassinen laulu sijoittui keskivaiheille mahdollisimman vuotoisen ja puristeisen äänentuoton välillä. Myös kuunteluanalyysin keskiarvojen mukaan klassinen laulu sijoittui skaalan keskivaiheille sekä työläyden että tiiviiden osalta. CQ:n ja EGG-signaalin amplitudin tulokset viittaavat suurempaan äänihuulten väliseen kontaktiin, mikä voisi tarkoittaa klassisen laulun olleen tuotettu joko modaalii- tai keskirekisterissä. Modaalirekisterissä äänihuulet ovat paksummat, jolloin äänihuulten kontaktipinta-ala on suurempi. Kontaktipinta-alan kasvu voimistaa EGG-signaalin amplitudia. Myös klassisen laulun EGG-signaalissa nähtävissä oleva polvi viittaisi äänihuulten paksumpaan muotoon eli suurempaan äänihuulilihaksen aktiviteettiin. (Titze 1990.)

EGG-signaalin amplitudi kasvoi oikeaoppisesti tuotetuissa CVT-moodeissa järjestyksessä edge, curbing ja overdrive. Edgessä EGG-signaalin amplitudi oli metallisista moodeista pienin ja overdrivessä suurin. Klassisessa laulussa signaalin amplitudi oli kaikista näytteistä suurin. Kontaktipinta-alan kasvun lisäksi EGG-signaalin suuri amplitudi voi kertoa suuremmasta liikkuvuudesta äänihuulissa (Titze 1990). Laukkanen, Titze, Hoffman ja Finnegan (2008) ovat todenneet äänihuulilihaksen aktiviteetin kasvavan suhteessa rengasrusto-kilpirustolihaksen aktiviteettiin semiokklusioharjoitusten aikana ja jälkeen. Tämä tarkoittaisi äänihuulen paksuuden ja liikkuvuuden lisääntymistä ääniväylän vastuksen muuttuessa, mikä voisi selittää myös EGG-signaalin amplitudin kasvamisen tässä tutkimuksessa. Laaja äänihuulten liike on Gauffinin ja Sundbergin mukaan taloudellisen

äänihuulivärähtelyn osatekijä. Taloudellisessa äänihuulivärähtelyssä äänihuulet lisäksi kontaktoituvat lyhyesti ja suhteellisen tiiviisti. (Gauffin & Sundberg 1989).

Mahdollisimman vuotoinen näyte vastasi vuotoista äänentuottoa, sillä kyseisessä näytteessä CQ, alfa-ratio ja SPL olivat 'paappa'-sanaa toistaen tehdyistä näytteistä pienimmät. CQ oli näytteessä 0,40, mikä kuvaa vuotoista ääntä. Bakenin ja Orlikoffin mukaan normaalissa äännössä CQ vaihtelee välillä 0,40–0,60 ja äännössä, jossa on pieni intensiteetti ja perustajuus 275 Hz, CQ vaihtelee välillä 0,00–0,53 (2000, 411; 427). Kuunteluanalyyseissä mahdollisimman vuotoinen arvioitiin näytteistä vuotoisimmaksi ja hälypitoisimmaksi sekä vähiten työläästi tuotetuksi. Mahdollisimman vuotoisen äänentuoton EGG-signaali oli amplitudiltaan heikko, kuten vuotoisessa äänessä yleensä (Baken & Orlikoff 2000, 421). Lisäksi EGG-signaali oli kauttaaltaan loiva ja avautumisvaihe sekä sulkeutumisvaihe olivat pitkät.

Mahdollisimman puristeisessa äänentuotossa oli korkea alfa-suhdeluku, SPL ja CQ (0,70), joten mahdollisimman puristeinen vastasi mitatuilta ominaisuuksiltaan puristeista äänentuottotapaa (Sundberg 1987; Baken & Orlikoff 2000; Thalén & Sundberg 2001). Myös kuuntelutestissä mahdollisimman puristeinen äänentuotto oli arvioitu äänentuottotavoista puristeisimmaksi ja työläämmän kuuloiseksi. Vaikka formantit olivat hieman nousseet johtuen kenties nousseesta kurkunpäästä, eivät ne olleet niin korkealla, ettei alfa-suhdeluku kertoisi aidosti puristeisuudesta. EGG-signaalin kolmikulmaisen muodon perusteella mahdollisimman puristeisessa äänentuotossa äänihuulten värähtelyssä oli vertikaalista vaihe-eroa. Lisäksi ääniraon sulkeutuminen oli signaalin jyrkkyyden perusteella nopeaa. Signaali oli amplitudiltaan heikompi kuin esimerkiksi klassisessa laulussa, mikä saattaisi kertoa äänihuulivärähtelyn laajuuden olleen mahdollisimman puristeisessa äänentuotossa pienempi. (Titze 1990; Baken & Orlikoff 2000, 422–423.)

Maksimi twangissä CQ oli 0,08 yksikköä pienempi kuin mahdollisimman puristeisessa äänentuotossa. Alfa-suhdeluku sekä SPL olivat maksimi twangissä korkeat. Myös F1–F2 olivat korkealla, mikä viittaisi Selamtzisin tutkielman (2011) tuloksiin, joissa kurkunpään yläpuolisen alueen kaventuma nosti F1:tä ja F2:ta. Maksimi twangistä löytyi ns. nasaaliformantti 1400 Hz:n korkeudelta ja lisäksi voimakkain huippu oli 2006 Hz:ssä, mikä vastaa Yanagisawan (1989) tutkimuksen

tuloksia, jossa kurkunkannen alueen kaventumaan liittyi voimakkain huippu 2000 Hz:ssä spektrissä. Toisaalta F1:n sijainti melko korkealla saattaisi myös johtua siitä, että vokaali on ollut lähempänä [æ]:tä kuin [ɑ]:ta. Formanttitaajuuksien siirtyminen korkeammalle selittää korkean alfa-suhdeluvun ja SPL:n, joten näyttäisi siltä, että maksimi twang on tuotettu melko taloudellisesti avaamalla suuta, tuomalla kieltä eteenpäin ja kaventamalla kurkunpään eteisonteloa. Nämä tulokset vastaavat aikaisempia tutkimustuloksia twangista (mm. Sundberg & Thalén 2010).

Oikeaoppinen neutral sijoittui mahdollisimman vuotoisen ja puhenäytteen välimaastoon. CQ oli neutralissa suurempi kuin puheessa sekä F1 ja F2 olivat neutralissa taajuudeltaan matalammalla kuin mahdollisimman vuotoisessa äänentuotossa. Neutral oli tulosten mukaan lähempänä laulunomaista puhenäytettä kuin vuotoista äänentuottotapaa. Aikaisemmissa tutkimuksissa mm. popin, soulin ja jazzin on todettu vastaavan neutraalia ääntöä (Zangger Borch & Sundberg 2011). F1:n suhteen oikeaoppinen curbing, neutral ja overdrive vastasivat mahdollisimman puristeisen F1:tä. Epätaloudellisessa neutralissa F1 oli yhtä matalalla kuin puheessa. Nämä tulokset vastaavat osin Zangger Borchin ja Sundbergin tutkimuksen tuloksia, joiden mukaan mieskoehenkilön neutraalissa äännössä F1 oli matala ja rockissa, popissa ja puristeisessa äännössä korkea.

Oikeaoppisessa curbingissä ja overdrivessa CQ:t olivat pienemmät kuin mahdollisimman puristeisessa äänentuotossa. EGG-signaaliltaan ne muistuttivat klassisen laulun signaalia, jonka todettiin viittaavan laajaan äänihuulivärähtelyyn modaalirekisterissä. Klassisen laulun tapaan kuunteluanalyyseissä sekä curbing että overdrive arvioitiin tiiviyden ja työläyden suhteen skaalan keskialueelle. Aikaisempien tutkimusten mukaan blues, rock ja country-laulutyylit on todettu vastaavan puristeista äänentuottotapaa (Sundberg et al. 1999; Zangger Borch & Sundberg 2011; Thalén & Sundberg 2001), mutta tässä tutkimuksessa huodonkaltaisen overdrive-moodin tulokset eivät viitanneet puristeiseen äänentuottotapaan. Korkea CQ klassisessa laulussa, curbingissä ja overdrivessä voisi viitata äänikoulutuksen ja -kokemuksen myötä kehittyneeseen tehokkaaseen äänentuottotapaan, kuten Howardin et alin tutkimuksissa (1990; 1995). Näyttäisi siltä, että metallikkuuden lisääntyminen curbingin ja overdriven välillä adduktion lisääntymisen sekä kurkunpään yläpuolisen

kaventumisen myötä heikentää ensimmäistä ja toista osasäveltä. Curbingissä toinen osasävel oli hyvin voimakas, kuten eri belting-tyyleissä (Sundberg et al. 2010).

CVT-menetelmässä hyvin kokeneen kuuntelijan arvion mukaan tässä tutkimuksessa käytetty oikeaoppisen overdriven näyte ei edustanut puhdasta overdrive-moodia. Kuuntelijan arvion mukaan sekä oikeaoppinen overdrive että epätaloudellinen overdrive vastasivat overdriveen taipuvaa edgeä, sillä overdriveä ei korkeammilla taajuuksilla voida ylläpitää [ɑ]-vokaalilla (Sadolin 2008, 106–111). Tämän tutkimuksen tuloksissa overdrive ja edge kuitenkin erosivat toisistaan huomattavasti, mikä tarkoittaa overdriven joko pysyneen oikeassa moodissa tai edustaneen todella paljon overdriven suuntaan kallistunutta edgeä. Tästä syystä overdriven tuloksiin tulee kuitenkin suhtautua varauksella ja tulokset saattavat erota muiden tutkimusten tuloksista.

Overdrive ja belting ovat laulutyyleinä samankaltaisia, sillä molemmissa ääntä käytetään huodonkaltaisesti. Myös tämän tutkimuksen tulosten perusteella näyttäisi siltä, että overdrive vastaa melko hyvin beltingiä. Overdrivessä F1 oli voimakkaampi kuin klassisessa laulussa, mikä vastaa Sundbergin et alin (2010) tutkimuksen tuloksia, joiden mukaan klassisessa laulussa F1 oli heikompi kuin eri belting-tyyleissä. Overdrivessä kolmas formantti oli matalammalla kuin muissa oikeaoppisissa moodeissa sekä puheessa, aivan kuten Selamtzisin tutkielmassa (2011). F1 ja F2 olivat overdrivessä korkealla, mikä viittaisi overdriven tuottotavan liittyvän kurkunpään yläpuolisen väylän asetuksiin. Suun avaaminen nostaa F1:n sijaintia taajuusalueella ja kielen siirtäminen suussa eteenpäin nostaa F2:n taajuutta. Myös kurkunpään nostaminen nostaa formanttitaajuuksia. (Fant 1960; Sundberg 1987.)

Edgen SPL ja alfa-suhdeluku vastasivat maksimi twangiä. CQ oli edgessä kuitenkin suurempi (+0,05), kuten mahdollisimman puristeisessa. EGG-signaalin muoto edgessä erosi muista näytteistä. Signaali oli amplitudiltaan melko heikko ja sen avautumis- ja sulkeutumisvaihe olivat pitkät ja tasaiset. Korkea alfa-suhdeluku edgessä voidaan selittää F1:n ja F2:n sijoittumisella taajuudeltaan korkealle, mikä viittaisi myös kurkunpään yläpuolisen alueen kaventumiseen. Yhtäläisesti aiempien tutkimusten (Selamtzis 2011; Sundbergin ja Thalén 2010) kanssa tämän tutkimuksen tulokset viittaisivat siihen, että edgessä ja twangissä suuri SPL saadaan aikaan kaventamalla

kurkunpään yläpuolista aluetta, mikä aiheuttaa formanttitaajuuksien muutoksen. Toisaalta F1:n sijainti hyvin korkealla sekä oikeaoppisessa että epätauloudellisessa edgessä saattaisi johtua vokaalin muuttumisesta lähemmäksi [æ]:tä kuin [ɑ]:ta. CVT:ssä twang tuotetaan huulet hymyasetuksessa sekä asettamalla kieli leveäksi ja koveraksi, mikä edesauttaa vokaalin muuttumista. Lisäksi Sadolinin mukaan edgessä on mahdollista käyttää vain voimakkaasti twangiä sisältäviä vokaaleja (kuten [æ]). (Sadolin 2008, 116–122.)

EKG-signaalien perusteella CVT-moodeista curbing ja overdrive olivat melko samankaltaisia, mistä edge ja neutral poikkesivat melko voimakkaasti. Tämä vastaa osin Agerkvistin (2011) tuloksia, joiden mukaan vain neutral erosi merkittävästi muista moodeista EKG-signaalien perusteella. Eroavaisuudet tämän tutkimuksen ja Agerkvistin tutkimuksen EKG-signaaleissa saattavat johtua erosta tutkitussa perustaajuudessa.

Selamtzisin tutkielmassa metallisissa moodeissa SPL:t olivat korkeat (2011). Myös tässä tutkimuksessa overdriven ja edgen SPL:t olivat korkeat. Kaikissa oikeaoppisesti tuotetuissa moodeissa F3 oli melko voimakas tai voimakas, mikä vastaa Sundberg et aliin löytämiä 3000 Hz:n huippuja eri belting-tyyleissä naiskoehenkilöllä (2010). Edgessä voimakas huippu 3000 Hz:n taajuusalueella vastaa aikaisempien twang-tutkimusten tuloksia (esim. Sundberg & Thalén 2010). Curbingissä sekä F3:n huippu että 4000 Hz:n taajuusalue olivat voimakkaat. F3:n voimakkuus CVT-moodeissa voi selittyä lähteen ja väylän interaktioteorian avulla. On todettu, että keuhkojen ilmanpaineen pysyessä samana ja väylän vastuksen muuttuessa lähteen ja väylän akustinen interaktio voi voimistaa F3:n taajuusalueen energiatasoa 5–10 dB (Fant, 1982; Rothenberg, 1981.) Toisaalta F3:n voimakkuus oikeaoppisissa moodeissa voi selittyä myös F3:n ja F4:n etäisyyden pienentymisellä puheeseen verrattuna. Formanttien välimatkan pienentyessä on formanttien ja niiden väliin jäävien taajuuksien amplitudien todettu voimistuvan (Fant 1960; Sundberg 1987). Kaikissa moodeissa F3:n ja F4:n etäisyys oli 27–34 % pienempi kuin puhenäytteessä. Overdrivessä ja edgessä myös F2:n ja F3:n etäisyys oli 16 % pienempi kuin puhenäytteessä.

Epätaloudellisesta overdrivestä ja epätaloudellisesta edgestä löydettiin nasaaliformantit 1200–1400 Hz:n korkeudelta. Koska vastaavissa oikeaoppisissa moodeissa nasaaliformanttia ei ollut, voidaan olettaa, ettei CVT:n mukaista twangiä tai metallisuutta tuoteta suurella nasaalisuudella. Sundberg et aliiin (2010) tutkimuksessa nasaalisessa beltingissä nasaaliformantti oli 1600 Hz:n korkeudella, mikä on hivenen korkeammalla kuin epätaloudellisen overdriven nasaaliformantti.

EKG-signaalien tulokset vastasivat muodoltaan osin Estillin et aliiin (1989) tutkimuksessa esitettyjä. Puheäänien signaali oli hyvin samankaltainen kuin heidän tutkimuksessaan 294 Hz:n taajuudelta tuotetun puheen EKG-signaali. Puheäänien signaalia muistutti myös oikeaoppinen curbing, mutta oikeaoppisen neutralin EKG-signaalille ei löytynyt vastinetta Estillin et aliiin tutkimuksesta. Neutral on EKG-signaalin mukaan tuotettu pehmeämmin kuin puheääni, mutta tiiviimmin kuin koehenkilön mahdollisimman vuotoinen. Oikeaoppisen overdriven ja klassisen laulun signaaleille ei löytynyt vastinetta Estillin et aliiin tutkimuksesta. Oikeaoppisen edgen signaali vastasi melko hyvin sekä beltingin että twangin EKG-signaalia Estillin et aliiin tutkimuksessa.

Twangiä sisältävien äänentuottotapojen EKG-signaalit vastasivat melko lailla Estillin et aliiin tutkimuksessa esitettyä 294 Hz:n korkeudelta tuotetun twangin EKG-signaalia. Maksimi twangin ja molempien edgien EKG-signaalit olivat muodoltaan hivenen pyöreämmät kuin Estillin et aliiin tutkimuksessa, mutta yhtäläistä olivat muodostuneet tasanteet sekä auki- että kiinniolo vaiheissa etenkin oikeaoppisissa edgessä. Maksimi twangissa ja epätaloudellisessa edgessä kiinniolo vaiheissa ei ollut tasannetta ja aukeamisvaiheissa oli molemmissa polvi. Näiden tulosten perusteella näyttäisi siltä, että CVT:n mukaan oikeaoppisesti tuotettu twang on tuotettu samalla tavalla kuin Estillin et aliiin tutkimuksessa. Twangin tulokset vastasivat myös CQ:n ja SPL:n osalta Sundberg ja Thalénin (2010) tuloksia, joiden mukaan twangissa CQ ja SPL olivat suuremmat kuin neutraalissa äännessä.

Alfa-suhdeluku näytti systemaattisesti kasvavan äänen intensiteetin ja metallisuuden määrän kasvaessa. Alfa-suhdeluku ja SPL korreloivat tilastollisesti merkitsevästi positiivisesti keskenään. CQ kasvoi yhtä lailla oikeaoppisissa moodeissa metallisuuden lisääntyessä. Tämä kuvastaisi sitä, että metallisuus tuotetaan

tiivimmällä äänihuuliadduktiolla. Tämä antaisi ymmärtää metallisuuden toimivan päinvastoin kuin resonoivan äänen, sillä Verdolini et aliiin (1998) mukaan resonoiva ääni tuotetaan pehmeällä äänihuuliadduktiolla tai -abduktiolla. Oikeaoppisissa moodeissa CQ:t eivät kuitenkaan nousseet puristeisen äänentuoton lukemiin saakka. Oikeaoppisissa edgessä CQ oli lähinnä mahdollisimman puristeista äänentuottoa. Kuuntelutestin mukaan sekä oikeaoppinen overdrive että oikeaoppinen edge arvioitiin lähemmäs puristeista kuin vuotoista ääripäätä. Työläyden suhteen molemmat moodit sijoittuivat skaalan keskivaiheille lähemmäs vuotoista kuin purista ääripäätä, mikä viittaisi tiiviiseen, muttei epätaloudellisen puristeiseen äänentuottotapaan. Suuret alfa-suhdeluvut metallisissa moodeissa selittyvät formanttitaajuuksien siirtymisellä ylemmäs taajuusalueella. Tämä vastaa Sundbergin ja Thalénin (2010) tuloksia, joiden mukaan äänen kantavuus twangissä saavutetaan formanttitaajuuksien muutoksella ilman muutoksia äänilähteessä. Myös Selamtzisin (2011) mukaan twang voidaan tuottaa lisäämättä äänihuuliadduktiota pelkästään kaventamalla kurkunpään yläpuolista aluetta.

Oikeaoppisissa moodeissa F1 ja F2 olivat taajuudeltaan matalammalla kuin vastaavissa oikeaoppisissa moodeissa. Vain overdrivessä F1 ja F2 olivat taajuudeltaan oikeaoppisesti tuotetussa moodissa korkeammalla ja neutralissa F1 oli korkeammalla kuin epätaloudellisesti tuotetussa neutralissa. Epätaloudellisissa curbingissä ja edgessä F3 oli korkeammalla kuin vastaavissa oikeaoppisissa moodeissa. Curbingissä myös F4 oli korkeammalla epätaloudellisesti tuotettuna, muissa epätaloudellisesti tuotetuissa moodeissa F4 oli matalammalla oikeaoppisesti tuotettuihin nähden. Overdrivessä ja edgessä F5 oli noussut, curbingissä F5 oli hieman laskenut. F1–F2:n muutokset saattaisivat johtua artikulaation muutoksesta, kuten leuan ja huulten jännittämisestä, suun avaamisesta ja kurkunpään nostamisesta (Fant 1960; Sundberg 1987). Korkeampi F1 oikeaoppisessa neutralissa voisi selittyä sillä, että oikeaoppisesti tuotetussa neutralissa koehenkilö on mahdollisesti avannut suutaan enemmän kuin epätaloudellisessa neutralissa. Koehenkilö on luultavasti myös tuottanut epätaloudelliset moodit pienemmällä tuella, sillä tuen vähentäminen nostaa kurkunpäätä tracheal pullin vähentyessä (Zenker 1964). Zenkerin mukaan tuen vähenemisen pitäisi myös lisätä äänihuuliadduktiota ja CQ:ta, joka oli tässä tutkimuksessa neutralia lukuunottamatta suurempi epätaloudellisesti tuotetuissa moodeissa. F1:n ja F3:n on todettu nousevan taajuusalueella korkeammalle

nasalisoituneissa vokaaleissa. Nasalisoituminen saattaisi selittää korkeampaa F1:tä ja F3:a epätaloudellisessa edgessä verrattuna oikeaoppiseen edgeen, sillä epätaloudellisesta edgestä löytyi nasaaliformantti. (Mrayati 1975; Hawkins & Stevens 1985.)

Epätaloudellisesti tuotetuissa moodeissa oli neutralia lukuunottamatta suurempi CQ kuin vastaavissa oikeaoppisissa moodeissa. Curbingiä lukuunottamatta kaikissa epätaloudellisissa moodeissa myös alfa-suhdeluku oli suurempi kuin vastaavissa oikeaoppisissa moodeissa. Kuuntelutestin tulosten mukaan tiiviys, työläys ja hälyisyys olivat suuremmat epätaloudellisesti tuotetuissa moodeissa. Epätaloudellisissa curbingissä ja edgessä kuultu työläys lisääntyi eniten. Vain epätaloudellinen neutral arvioitiin vuotoisemmaksi kuin oikeaoppinen neutral, joten kuuntelutestin tulokset olivat yhtäläiset CQ:n tulosten kanssa. Myös kaikkien epätaloudellisesti tuotettujen moodien spektrikuviissa häly näkyy osasävelten väliin muodostuneina piikkeinä. Epätaloudellisesti tuotetuissa curbingissä ja edgessä F0 oli suhteelliselta amplitudiltaan heikompi, mikä viittaa puristeisuuden lisääntymiseen (Sundberg 1987). Epätaloudellisissa moodeissa EGG-signaalien avautumisvaiheisiin oli muodostunut polvia ja signaalien aaltomuodot olivat kolmikulmaistuneet, mikä viittaisi suurempaan äänihuulilihaksen aktiivisuuteen ja lisääntyneeseen vertikaaliseen vaihe-eroon äänihuulivärähtelyssä. (Titze 1990; Baken & Orlikoff 2000, 422–423.) Näiden tulosten mukaan sekä työläys että häly lisääntyivät kaikissa epätaloudellisissa moodeissa oikeaoppisesti tuotettuihin moodeihin nähden. Neutralia lukuunottamatta myös puristeisuus oli suurempaa epätaloudellisissa moodeissa.

Curbingissä alfa-suhdeluku pieneni oikeaoppisen ja epätaloudellisen välillä, mutta CQ ja kuultu työläys, tiiviys ja hälyisyys lisääntyivät. Tämä saattaisi johtua siitä, että epätaloudellinen curbing on tuotettu erityisen puristeisesti ja hälyisesti verrattuna muihin moodeihin. Tätä tukee myös periodien epäsäännöllisyys epätaloudellisen curbingin EGG-signaalissa. Yleensä epäsäännöllisyys EGG-signaalissa liittyy narinaääntöön tai patologiseen ääneen (Baken & Orlikoff 2000, 421; 424–425).

Neutralissa CQ ja kuultu tiiviysaste olivat pienemmät epätaloudellisesti tuotettuna kuin oikeaoppisesti. Lisäksi epätaloudellisessa neutralissa EGG-signaalin amplitudi oli suurempi, signaalin amplitudi oli kolmikulmaistunut ja signaaliin oli muodostunut

polvi. Nämä tulokset viittaisivat suurempaan äänihuulilihaksen aktiivisuuteen ja lisääntyneeseen vertikaaliseen vaihe-eroon epätaloudellisen neutralin äänihuulivärähtelyssä, mikä viittaisi modaalirekisterityypiseen ääntöön. (Titze 1990; Baken & Orlikoff 2000, 422–423.)

Kuuntelijoiden arvioita voidaan pitää hyvin luotettavina, sillä kolmen kuuntelijan molempien kuuntelukertojen arviot korreloivat positiivisesti. Korrelaatiokertoimet vaihtelivat 0,739:stä 0,974:ään, mikä tarkoittaa vaihtelua melko voimakkaasta lineaarisesta yhteydestä voimakkaaseen lineaariseen yhteyteen arvioiden välillä (Metsämuuronen 2006). Kaikista yhdenmukaisimpina kuuntelijoiden omat arviot pysyivät tiiviydessä, hälyisyydessä vaihtelua kahden kuuntelukerran välillä oli eniten. Tiiviyden arvioiden muuttumattomuus tarkoittaisi tiiviyden arvioinnin olleen helpompaa kuin muiden arvioitujen ominaisuuksien. ICC:n mukaan kuuntelijoiden arviot olivat myös hyvin yhdenmukaiset. Kaikilla kuuntelijoilla kaikissa kuunnelluissa ominaisuuksissa r oli $> 0,80$, mikä tarkoittaa voimakasta yhdenmukaisuutta (Metsämuuronen 2006).

Eri kuuntelijoiden arviot olivat melko yhdenmukaisia kaikissa arvioiduissa ominaisuuksissa. Tiiviyden suhteen kuuntelijat olivat hyvin yhdenmukaisia, mikä antaisi edelleen ymmärtää tiiviyden olleen helpoin arvioiduista ominaisuuksista. Työläyden arvioissa oli hivenen enemmän vaihtelua, mutta vain yksi korrelaatiokertoimista jäi hivenen alle 0,5:n, jota voidaan pitää voimakkaan lineaarisen suhteen raja-arvona (Metsämuuronen 2006). Arvioiden yhdenmukaisuutta tukee lisäksi se, että kaikissa muissa tapauksissa r_s oli $> 0,6$. Myös cronbachin alfa työläyden arvioissa oli suurempi kuin 0,8, mikä kertoo hyvästä reliabiliteetista arvioiden välillä (Metsämuuronen 2006). Hälyisyyden suhteen kuuntelijoiden arviot erosivat eniten. Vain puolet korrelaatiokertoimista oli suurempia kuin 0,5, mikä tarkoittaa kuuntelijoiden arvioiden vaihdelleen toisten kuuntelijoiden välillä melko paljon, kun taas toisten kuuntelijoiden arviot hälyisyydestä olivat melko samankaltaisia. Cronbachin alfa hälyisyyden arvioissa oli kuitenkin korkea; 0,883. Kuunteluarviot olivat siis kaikkien ominaisuuksien suhteen hyvin luotettavia. Ominaisuuksista hälyisyys osoittautui kuunteluarvioinnin kannalta vaikeimmaksi.

Spearmanin järjestyskorrelaatiokertoimella testattiin, korreloivatko tiiviiden, hälyisyyden ja työläyden kuunteluarvioiden keskiarvot alfa-suhdeluvun, SPL:n ja CQ:n kanssa. Kuullun tiiviiden todettiin korreloivan positiivisesti alfa-suhdeluvun, SPL:n ja CQ:n kanssa. CQ ja kuultu työläys korreloivat myös keskenään tilastollisesti merkitsevästi. Myös työläys ja alfa-suhdeluku samoin kuin alfa-suhdeluku ja CQ olivat keskinäisen voimakkaassa lineaarisessa suhteessa toisiinsa. Näiden tulosten perusteella korkea alfa-suhdeluku, SPL ja CQ kuvaavat kuultua korkeaa tiiviydestä. Korkea CQ ja alfa-suhdeluku voivat myös kuvata kuultua äänen työläyttä. Tilastollisessa analyysissä todettiin lisäksi alfa-suhdeluvun kasvaneen CQ:n kasvaessa.

Mann-Whitneyn U-testin perusteella oikeoppiset ja epätaloudelliset moodit erosivat vain kuullun hälypitoisuuden ja työläyden suhteen. Puristeisuudessa ei ollut tilastollisesti merkitsevää muutosta, mikä saattaisi johtua siitä, että muista moodeista poiketen epätaloudellinen neutral arvioitiin vuotoisemmaksi kuin oikeaoppinen neutral.

Epätaloudellisessa curbingissä CQ-arvon määrittämistä vaikeutti EGG-signaalin huojunta pystysuunnassa (ks. kuva 16). Tämän vaikutusta pyrittiin kuitenkin minimoimaan mittaamalla CQ sellaisesta periodista, jossa EGG-käyrä pysyi tasaisena.

Epätaloudellisten moodien kohdalla on mahdollista, ettei koehenkilö aivan tavoittanut epätaloudellisinta mahdollistaan, sillä menetelmää paljon harjoittaneen lihaksisto on rutinoitunut tuottamaan moodit taloudellisesti. Kuuntelutestin tulosten perusteella koehenkilö näyttäisi kuitenkin onnistuneen tuottamaan moodit työläästi. CVT-moodit voidaan tuottaa eri tavoin epätaloudellisesti, kuten tässäkin tutkimuksessa esimerkiksi epätaloudellinen neutral oli muihin moodeihin verrattuna epätaloudellisesti tuotettuna vuotoisempi kuin oikeaoppisesti. Moodien tuottaminen saattaa myös olla hyvinkin yksilöllistä, joten yhden koehenkilön perusteella ei tutkimustuloksia voida yleistää. Toisaalta saman koehenkilön tekemät näytteet ovat erittäin vertailukelpoisia keskenään etenkin F0:n ollessa ennalta määritetty luentanäytettä lukuunottamatta.

Olisi mielenkiintoista, jos CVT-moodien tuottotapaa tutkittaisi kattavammin suuremmalla koehenkilöjoukolla, jotta saataisiin objektiivista ja yleistettävää tutkimustietoa moodien tuottotavoista ja ominaisuuksista. Lisäksi olisi

mielenkiintoista tutkia CVT-moodien tuottotapojen kehitystä saadun CVT-koulutuksen lisääntymisen myötä. Myös rekisterien vaikutuksia eri moodeissa voitaisi tutkia edelleen.

7 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen tulosten perusteella SPL, CQ ja alfa-suhdeluku kasvoivat metallisuuden lisääntyessä CVT-moodeissa. Lisäksi metallisuuden lisääntyessä kuultu tiiviys ja työläys lisääntyivät ja hälypitoisuus väheni. Akustisen analyysin perusteella F3:n taajuusalue oli etenkin metallisissa CVT-moodeissa voimakas.

Mahdollisimman vuotoinen äänentuotto oli näytteistä vuotoisinta. Puheääni ja oikeaoppinen neutral asettuivat tiiviysskaalan keskivaiheille lähemmäs vuotoista kuin puristeista ääripäätä. Klassisen laulun spektristä löytyi muihin näytteisiin verrattuna voimakas huippu 3500 Hz:n taajuudelta. Klassisessa laulussa oli muihin näytteisiin verrattuna suuri CQ ja suuri EGG-signaalin amplitudi. Alfa-suhdeluvun mukaan klassinen laulu sijoittui keskivaiheille mahdollisimman vuotoisen ja puristeisen äänentuoton välillä. Myös kuunteluanalyysin keskiarvon mukaan klassinen laulu sijoittui skaalan keskivaiheille työläyden ja tiiviyden osalta. Oikeaoppisessa curbingissä ja overdrivessa CQ:t olivat pienemmät kuin mahdollisimman puristeisessa ja klassisessa laulussa. Klassisen laulun tapaan kuunteluanalyysissä sekä curbing että overdrive arvioitiin tiiviyden ja työläyden suhteen skaalan keskialueelle. Maksimi twangissä CQ oli 0,08 yksikköä pienempi kuin mahdollisimman puristeisessa äänentuotossa. Edgen SPL ja alfa-suhdeluku vastasivat maksimi twangiä. CQ oli edgessä kuitenkin suurempi (+0,05), mutta pienempi (-0,03) kuin mahdollisimman puristeisessa äänentuotossa. EGG-signaalin muoto edgessä erosi muista näytteistä.

Lähes kaikissa epätaloudellisesti tuotetuissa moodeissa alfa-suhdeluku ja CQ olivat korkeammat. Vain neutralissa CQ oli matalampi epätaloudellisesti tuotettuna ja epätaloudellisessa curbingissä alfa-suhdeluku oli matalampi kuin oikeaoppisessa curbingissä. Kaikissa epätaloudellisissa moodeissa kuultu hälypitoisuus ja työläys olivat lisääntyneet oikeaoppisesti tuotettuihin moodeihin nähden. Kuuntelutestissä epätaloudellinen neutral arvioitiin vuotoisemmaksi kuin oikeaoppinen neutral, muuten epätaloudellisesti tuotetut moodit arvioitiin puristeisemmiksi kuin oikeaoppisesti tuotetut moodit.

Tilastollisen analyysin mukaan kuuntelijoiden arviot olivat luotettavia ja keskenään yhteneväisiä. Kuullun tiiviyden todettiin korreloivan positiivisesti alfa-suhdeluvun, SPL:n ja CQ:n kanssa. CQ ja kuultu työläys korreloivat myös keskenään tilastollisesti merkitsevästi. Oikeaoppiset ja epätaloudelliset moodit erosivat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi hälyisyyden ja työläyden suhteen.

Tulosten mukaan metallisuus tuotetaan CVT:ssä ääniväylän muutoksella ja pidemmällä äänihuulisululla. Epätaloudellisissa moodeissa häly, työläys ja puristeisuus olivat lisääntyneet.

LÄHTEET

- Agerkvist, F. 2011. The effect of vocal tract impedance on the vocal folds. Presented in the PEVOC9, Marseille, France 2011. Saatavissa: http://dl.dropbox.com/u/12328356/book_of_abstracts.pdf
12.11.2011
- Baken, R.J. 1992. Electroglottography. *Journal of Voice*. 6(2):98–110.
- Baken, R.J. & Orlikoff, R.F. 2000. *Clinical measurement of speech and voice*. USA: Delmar Learning.
- Barrichelo, V., Heuer, R., Dean, C., Sataloff, R. 2001. Comparison of Singer's Formant, Speaker's Ring, and LTA Spectrum Among Classical Singers and Untrained Normal Speakers. *Journal of Voice*. 15(3):344–350.
- Bele, I. V. 2006. The Speaker's Formant. *Journal of Voice*. 20(4):555–578.
- Carlsson-Berndtsson, G. & Sundberg, J. 1991. Formant frequency tuning in singing. *STL-QPSR*. 32(1):29–35.
- Cleveland, T., Stone, R.E., Sundberg, J. & Iwarsson, J. 1997. Estimated Subglottal Pressure in Six Professional Country Singers. *Journal of Voice*. 11(4):403–409.
- Cleveland, T., Sundberg, J., Stone, R.E. 2001. Long-Term Average Spectrum Characteristics of Country Singers During Speaking and Singing. *Journal of Voice*. 15(1):54–60.
- Estill, J., Baer, T., Honda, K., Harris, K.S. 1983. Supralaryngeal activity in a study of six voice qualities. *Proceedings of the Stockholm Music Acoustics Conference*. Askenfelt, A., Felicetti, S., Jansson E., Sundberg, J. (eds.). Royal Swedish Academy of Music. No. 461, 1985.
- Fant, G. 1960. *Acoustic theory of speech production*. The Hague: Mouton.
- Frokjaer-Jensen, B. & Prytz, S. 1976. *Registration of Voice Quality*. Brüel & Kjaer. Technical Review. Nro.3.
- Fujimura, O. 1961. Analysis of nasalized vowels. *Quarterly Progress Report-MIT* 62. 191–192.
- Gauffin, J. & Sundberg, J. 1989. Spectral Correlates of Glottal Voice Source Waveform Characteristics. *Journal of Speech and Hearing Research*. 32:556–565.

- Hanayama, E.M., Camargo, Z.A., Tsuji, D.H., & Pinho, S.M. 2009. Metallic Voice: Physiological and Acoustic Features. *Journal of Voice*. 23(1):62–70.
- Hawkins, S. & Stevens, K. N. 1985. Acoustic and perceptual correlates of the non-nasal nasal distinction for vowels. *Journal of the Acoustical Society of America*. 77:1560–1575.
- Henrich, N., d'Alessandro, C., Castellengo, M. & Doval, B. 2004. On the use of the derivative of electroglottographic signals for characterization of nonpathological voice phonation. *Journal of the Acoustical Society of America*. 115(3):1321–1332.
- Hess, M. H. & Ludwigs, M. 2000. Strobophotoglottographic transillumination as a method for the analysis of vocal fold vibration patterns. *Journal of Voice*. 14:255–271.
- Hirano, M., Vennard, W. & Ohala, J. 1970. Regulation of register, pitch and intensity of voice. *Folia foniiatrica*. 22:1–20.
- Hollien, H., Gould, J.W. & Johnson, B. 1976. A two-level concept of vocal registers. XVIth Int. Congr. Logopedics and Phoniatrics, Interlaken 1974, ed. E. Loebell. Karger, Basel 1976. 188–194.
- Howard, D.M., Lindsey, G.A., Allen, B. 1990. Toward the quantification of vocal efficiency. *Journal of Voice*. 4(3):205–12.
- Howard, D.M. 1995. Variation of electrolaryngographically derived closed quotient for trained and untrained adult female singers. *Journal of Voice*. 9(2):163–72.
- Iwarsson, J., Thomasson, M. & Sundberg, J. 1995. Lung volume and phonation: a methodological study. KTH, *STL-QPSR*, 36(2–3):71–82.
- Iwarsson, J. & Sundberg, J. 1998. Effects of lung volume on vertical larynx position during phonation. KTH, *STL-QPSR*, 12(2):159–65.
- Iwarsson, J. 2001. Effects of inhalatory abdominal wall movement on vertical laryngeal position during phonation. *Journal of Voice*, 15(3):384–394.
- Kania, R.E., Hans, S., Hartl, D.M., Clement, P., Crevier-Buchman, L. & Brasnu, D.F. 2004. Variability of Electroglottographic Glottal Closed Quotients: Necessity of Standardization to Obtain Normative Values. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*. 130:349–352.
- Krakow, R. A., Beddor, P. S., & Goldstein, L. M. 1988. Coarticulatory influences on the perceived height of nasal vowels. *Journal of the Acoustical Society of America*. 83(3):1146–1158.

- Laukkanen, A.-M. & Leino, T. 2001. *Ihmeellinen Ihmisääni*. Helsinki: Gaudeamus.
- Laukkanen, A.-M., Titze, I.R., Hoffman, H. & Finnegan, E. 2008. Effects of a semiocluded vocal tract on laryngeal muscle activity and glottal adduction in a single female subject. *Folio Phoniatica et Logopaedica*. 60(6):298–311.
- Laukkanen, A.-M. Radolf, V., Horáček, J., Leino, T. 2009. Estimation of the origin of a speaker's and singer's formant cluster using an optimization of 1D vocal tract model. In: Juan Ignacio Godino Llorente, Pedro Gomez Vilda, Ruben Fraile (eds.) *Workshop AVFA '09: 3rd Advanced Voice Function Assessment International Workshop*, 18th–20th May 2009, Madrid (Spain). Madrid: Cost 2103, Universidad Politecnica de Madrid, 2009;pp. 14.
- Miller, D.G. & Schutte, H.K. 1990. Formant tuning in a professional baritone. *Journal of Voice*. 4(3):231–237.
- Laver, J. 1980. *The phonetic description of voice quality*. Great Britain: Cambridge University Press.
- Leino, T. 1994. Long-Term Average Spectrum Study on Speaking Voice Quality in Male Actors. In: Friberg, A., Iwarsson, J., Janson, E., Sundberg, J., eds. *SMAC93 (Proceedings of the Stockholm Music Acoustics Conference)*. Stockholm: Royal Swedish Academy of Music. 206–210. Stockholm, Sweden.
- Leino, T. 2009. Long-Term Average Spectrum in Screening of Voice Quality in Speech: Untrained Male University Students. *Journal of Voice*. 23(6):671–676.
- McGlashan, J., Sadolin, C. & Kjelin, H. 2010. Laryngeal gestures and Laryngograph data associated with the four vocal modes as described in the Complete Vocal Technique method of singing teaching. Presented by Cathrine Sadolin and Julian McGlashan at BVA 'Choice for voice' conference in London, England, 2010.
- Metsämuuronen, J. 2006. *Tutkimuksen tekemisen perusteet ihmistieteissä*. Jyväskylä: Gummeruksen kirjapaino Oy.
- Munir, N., McGlashan, J., Sadolin, C. & Kjelin, H. 2007. Is it possible for professionals with very little training in CVT to hear the modes? Test performed in Nottingham in 2007. Presented by Nazia Munir at pevoc7 in Groningen, Holland.
- Nordenberg, M. & Sundberg, J. 2004. Effect on LTAS of vocal loudness variation. *Logoped Phoniatr Vocol*. 29(4):183–91.

Pruthi, T., Espy-Wilson, C. & Story, B. 2007. Analyzing vowel nasalization using MRI data. *J. Acoust. Soc. Am.* 121(6): 3858–3873.

Rothenberg, M. 1973. A new inverse-filtering technique for deriving the glottal air flow waveform during voicing. *J. Acoust. Soc. Am.* 53:1632–1645.

Rothenberg, M. 1984. Source-tract acoustic interaction and voice quality. *Transcripts of the Twelfth Symposium on Care of the Professional Voice.* 25–31. New York: The Voice Foundation.

Sadolin, C. 2008. *Complete vocal technique.* Copenhagen: Cathrine Sadolin: Shout, cop.

Schutte, H.K. & Miller, D.G. 1993. Belting and pop, nonclassical approaches to the female middle voice: some preliminary considerations. *Journal of Voice* 7(2):142–50.

Selamtzis, A. 2011. Acoustics of the Singing Voice. Master's Thesis. Department of Electrical Engineering. Technical University of Denmark.

Sonninen, A., Laukkanen, A.-M., Karma, K., & Hurme, P. 2005. Evaluation of Support in Singing. *Journal of Voice.* 19(2):223–237.

Stone, R.E., Cleveland, T., Sundberg, J. 1999. Formant Frequencies in Country Singers' Speech and Singing. *Journal of Voice.* 13(2):161–167.

Stone, R.E., Cleveland, T., Sundberg, J. & Prokop, J. 2003. Aerodynamic and Acoustical Measures of Speech, Operatic, and Broadway Vocal Styles in a Professional Female Singer. *Journal of Voice.* 17(3): 283–297.

Sundberg, J. 1974. Articulatory interpretation of the 'singing formant'. *J Acoust Soc Amer.* 55:838–844.

Sundberg, J. 1987. *The science of the singing voice.* Dekalb, Illinois: Northern Illinois University Press.

Sundberg, J., Cleveland, T., Stone, R.E., & Iwarsson, J. 1999. Voice source characteristics in six premier country singers. *Journal of Voice.* 13:168–183.

Sundberg, J. 2001. Level and center frequency of the singer's formant. *Journal of Voice.* 15(2):176–186.

Sundberg, J. & Thalén, M. 2010. What Is “Twang”? *Journal of Voice.* 24(6):654–60.

- Sundberg, J., Thalén, M. & Popeil, L. 2010. Substyles of belting: phonatory and resonatory characteristics. *Journal of Voice*. 2011 Mar 24. [Epub ahead of print]
- Sundberg, J. & Granqvist, S. 2011. Dependence of long term average spectrum curves of voices as function of equivalent sound level. *J. Acoust. Soc. Am.* 129(4):2528–2528.
- Ternström, T. 1992. *Sound Swell Signal Workstation*, software manual.
- Thalén, M. & Sundberg, J. 2001. Describing different styles of singing. A comparison of a female singer's voice source in "Classical", "Pop", "Jazz" and "Blues". *Log. Phon. Vocol.* 26:82–93.
- Titze, I. R. 1990. Interpretation of the electroglottographic signal. *Journal of Voice*. 4(1):1–9.
- Titze, I. R. & Sundberg, J. 1992. Vocal intensity in speakers and singers. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 91:2936–2946.
- Titze, I. R. 2000. *Principles of Voice Production*. Iowa, USA: National Center for Voice and Speech.
- Verdolini, K., Druker, D.G., Palmer, P.M., Samawi, H. 1998. Laryngeal adduction in resonant voice. *Journal of Voice*. 12:315–327.
- Vilkman, E., Alku, P. & Laukkanen, A-M. 1995. Vocal-fold collision mass as a differentiator between registers in the low-pitch range. *Journal of Voice*. 9(1):66–73.
- Wiik, K. 1965. Finnish and English Vowels. *Turun yliopiston julkaisu B: 94*. Turun yliopisto.
- Yanagisawa, E., Estill, J., Kmucha, T. & Leder, S.B. 1989. The contribution of aryepiglottic constriction to "ringing" voice quality. A videolaryngoscopic study with acoustic analysis. *Journal of Voice*. 3(4):342–350.
- Zangger Borch, D. & Sundberg, J. 2002. Spectral distribution of solo voice and accompaniment in pop music. *TMH-QPSR*, Stockholm, Sweden. 43(1):31–35.
- Zangger Borch, D. & Sundberg, J. 2011. Some phonatory and resonatory characteristics of the rock, pop, soul and swedish dance band styles of singing. *Journal of Voice*. 25(5):532–537.
- Zenker, W. 1964. Questions regarding the function of external laryngeal muscles. In: Brewer D, ed. *Research Potentials in Voice Physiology*. Syracuse, NY: State University of New York, 20–40.