

Formanttien, perustaajuuden ja spektrin kaltevuuden
muutokset imitoinnissa

Puhetekniikan ja vokologian
Pro gradu –tutkielma
Tampereen yliopisto
Heinäkuu 2011
Johanna Leskelä

Tampereen yliopisto

Kasvatustieteiden yksikkö

LESKELÄ, JOHANNA: Formanttien, perustaajuuden ja spektrin muutokset imitoinnissa

Pro gradu -tutkielma, 57 sivua, 20 liitesivua

Puhetekniikka ja vokologia

Heinäkuu 2011

Changes in F0, formant frequencies and spectral slope in imitation

Voice quality, pitch register, prosody and speech style are some of the features that are important in voice imitations (Zetterholm, 2002). Timbre may be seen as a synonym for voice quality and thus to consist of characteristics of the voice source (type of phonation) and the vocal tract filter (formants). Sometimes 'timbre' has been used to refer to filter characteristics only (voice colour). How much an imitator is able to change and control timbre, voice quality and the other factors that make our voices personal?

The purpose of this research was to find out how an imitator changes voice quality, timbre, F0 and articulation in the imitation task and how close he gets to the target voice in terms of fundamental frequency, formant frequencies and the spectral slope that characterizes the type of phonation. The role of these changes for the auditory perception of success of imitation was studied. The relationship between auditory perception and acoustic analysis was also considered.

The research consisted of two sections: 1) acoustic analysis of the imitator's own voice, the original target voices and the imitations of the target voices and 2) auditive comparison of the imitations and the original voices. The testee was a Finnish experienced professional imitator whose repertoire includes over 120 voices, also singing voices, and over 100 technical voices. For this study, he listened to 11 voices of Finnish politicians, opera singers and radio announcers. The samples consisted of 9 text reading samples and two separate short sentences. The imitator imitated the voices, and he also read the texts used in the imitations in his own voice. From all the three sample types (original voice, imitated voice and the imitator's own voice) the mean fundamental frequency (F0) and the spectral slope (in this case alpha ratio, i.e. sound level difference above and below 1 kHz) were calculated for the whole of the text. Additionally, from the text samples one vowel [a:] was extracted. The four lowest formant frequencies of the vowel were measured. A synthesis was

carried out based on the formant frequencies. A song synthesizer MADDE was used. In the auditive tests the listeners (N=10) were first asked to evaluate the similarity between the whole imitation and the original speech samples. The characters rated for similarity (scale from 1 to 3) were voice quality, voice timbre, pitch and articulation. The synthesized vowels were rated for the similarity in voice quality and voice timbre (from 1 to 3).

In most of the imitated samples many formants changed towards the original voice's formants. Spectral slope differed in nearly all cases between the imitation and the imitator's own voice. In 5/11 samples the change was towards the original voice. The average F0 also changed in 5/11 imitations towards the original voice's values. The F0 results in acoustical analysis are in line with Watts and Hall's (2008) discovery, that voice timbre affects the ability to reach the target F0. The mean differences between the imitations and the original voices were 0-39 % for F0, 0-27 % for F1, 0-18 % for F2, 0-45 % for F3, 0-15 % for F4 and 5-85 % for the spectral slope. There was no statistically significant correlation between auditive results and acoustical analysis results. Perceptual evaluation of the synthesized samples showed a correlation between formant frequencies and rated similarity of the timbre.

In general, the imitator is able to a certain extent change the formants in his voice to get them closer to the formants of the target voice. The results are in line with Endres, Bambach and Flösser's (1970) discovery, that imitation is a combination of many different characters. Systematic changes in all the characters are hard to discover since the characters are being used to different extent. There should be more specific synthesis to find out which are the adequate conditions of the similarity between voices.

Key words: voice imitation, formant frequencies, F0, spectral slope, timbre

Asiasanat: imitaatio, formanttitaajuudet, F0, spektrin kaltevuus, äänenväri

SISÄLLYSLUETTELO

1	Johdanto.....	1
2	Ääni, puhujan tunnistus ja imitaatio	2
2.1.	Ääntöväylä ja resonaatio	2
2.2	Artikulaatio	3
2.2.1	Vokaalit.....	4
2.2.2	Konsonantit.....	5
2.2.3	Vokaalien tarkastelu	6
2.3	Äänenlaatu	6
2.4	Spektri ja alfa-suhdeluku.....	7
2.5	Spektrogrammi.....	9
2.6	Puheen perustajuus, puhekorkeuden kontrollointi ja kuulohavainto.....	10
2.7	Ääniala	12
2.8	Puheen havaitseminen ja korvan toiminta	13
2.9	Puhujan tunnistus.....	14
2.10	Aiempiä imitaatiotutkimuksia	15
2.11	Peilisolut.....	17
3	Tavoitteet ja tutkimuskysymykset	18
4	Menetelmät.....	19
4.1	Tutkimushenkilö ja imitoitavat henkilöt	19
4.2	Äänitykset	19
4.3	Akustiset mittaukset	20
4.4	Kuuntelut ja äänisynteesi	22
4.5	Tilastolliset menetelmät	23

5	Tulokset	25
5.1	Akustiset mittaukset	25
5.1.1	Formantit.....	25
5.1.2	Alfa-suhdeluku	30
5.1.3	Vertailua alfa-suhdeluvun ja formanttien välillä.....	31
5.1.4	Perustaajuus	33
5.2.	Kuuntelut.....	37
5.2.1	Vastaajien samanmielisyys.....	37
5.2.2	Pitkät näytteet	37
5.2.3	Synteesiäänet	38
5.3	Vertailua akustisten mittausten ja kuuntelutulosten välillä.....	40
5.3.1	Formantit ja äänenväriarviot.....	40
5.3.2	Alfa-suhdeluku ja äänenlaatuarviot.....	41
6	Pohdintaa	44
6.1	Imitointi.....	44
6.2	Huomioita äänitysvaiheesta	44
6.3	Formantit	45
6.4	Alfa-suhdeluku ja formantit	47
6.5	Perustaajuus	48
6.6	Kuuntelut.....	48
6.7	Formanttien ja kuulohavainnon suhde	50
6.8	Tutkimuksen arviointia	50
6.9	Tutkimuksen yhteenvetoa	52
7	Jatkotutkimukset	53
	LÄHTEET	54
	LIITTEET	58

Ihmisillä on kyky matkia toista puhujaa ainakin jonkin verran (Puro J-P. 2004). Imitoinnin kyky vaikuttaa kuitenkin olevan toisilla parempi ja toisilla heikompi. Aiemmissä tutkimuksissa on todettu, että imitoinnin taito johtuu aivojen Brocan alueella sijaitsevan peilisolujärjestelmän toiminnasta (ks. kappale 2.11.). On myös havaittu, että imitoija pystyy muuttamaan sekä artikulaatiotaan, äänenlaatuaan että puhekorkeuttaan imitoitavan äänen suuntaan. Imitointihahmon vakuuttavuus voi perustua lisäksi puheen prosodiikkaan (esimerkiksi puheen rytmi ja intonaatio) sekä esimerkiksi murteeseen tai muihin henkilön persoonallisiin puheen piirteisiin. Käytettävä puheenaihe voi myös tuoda vakuuttavuutta imitaatioesitykseen. (ks. kappale 2.10.) Äänenväri on yksi tekijä, jonka perusteella erotamme eri ihmiset toisistaan (Suomi 1990). Imitaattori pyrkii usein hallitsemaan äänenväriään esittäessään imitointihahmoa.

Äänentutkimuksen kannalta on mielenkiintoista, miten pitkälle imitoijan on mahdollista hallita puheinstrumenttiaan. Mitkä äänestä akustisesti mitattavat asiat vaikuttavat siihen, että imitointiäänestä tulee imitoitavan kaltainen ja että se tunnistetaan kuulohavainnon perusteella alkuperäiseksi imitoitavaksi ääneksi imitaattorin äänen sijaan?

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan tunnetun imitoinnin ammattilaisen yhtätoista eri imitaatiota erityisesti vokaalien formanttirakenteen suhteen. Näistä näytteistä tutkitaan akustisia ominaisuuksia myös puhekorkeuden ja spektrin osalta. Imitointinäytteitä ja vokaaleista tehtyjä synteesiäänä kuuntelutetaan myös äänialan ammattilaisille ja opiskelijoille. Kaikkia mittaustuloksia verrataan kuulohavaintoon.

Puheäänestä saadaan monenlaisia akustisia vihjeitä. Siitä erotetaan sanoja, äänteitä ja prosodisia ominaisuuksia, puhujan äänensävy, yksilöllisiä ääntämistapoja, ikä, sukupuoli, mielentila ja paljon muuta. Voimme myös erottaa yhden henkilön toisesta puheäänestä perusteella. Jokaisella äänellä on yksilöllinen ja persoonallinen.

2.1. Ääntöväylä ja resonanssi

Äänielimistöön kuuluvat hengityselimet, äänihuulet ja suu- ja nenäontelot. Ääntöväylällä tarkoitetaan kurkunpäästä ja sen yläpuolella olevia alueita äänihuulista suuaukkoon saakka. Ääni syntyy aluksi kurkunpäässä, jossa äänihuulet värähtelevät kompleksisesti vaihtelevalla nopeudella. Tästä syntyy äänen perussävel, mutta myös perustaajuuden kerrannaisia. Yläsävelet heikkenevät sitä mukaa mitä korkeammalla taajuudella ne ovat. Äänilähde-suodatin -teorian mukaan kurkunpäässä muodostuva ääniaalto joutuu ääntöväylässä siirtofunktion alaiseksi. Ääniaallot kulkevat ääntöväylässä molempiin suuntiin, jolloin osa aalloista vahvistuu ja osa kumoutuu, riippuen ääntöväylän pituudesta ja muodosta. Toisin sanoen, ääntöväylä ikään kuin suodattaa vain tietyt äänen taajuudet leviämään suusta ulos. Ne taajuusalueet, joissa syntyy seisovia ääniaaltoja, vahvistuvat, eli resonoituvat. Nämä voidaan havaita äänen spektrissä vahvistuneina amplitudihuippuina, ja niitä kutsutaan *formanteiksi*. (Iivonen & Aulanko 2001; Titze 2000.) Ihmiset voivat havaita yleensä ensimmäiset viisi formanttia. Näitä korkeammalla taajuudella olevia energiakeskittyymiä ihmiskorva ei juuri erota.

Formantit vaikuttavat kuulohavaintoon osana puheen tunnistusta sekä persoonallisen *äänenväri* muokkaajana. Spektrin muoto ja energian suhteellinen jakautuminen taajuusalueelle ovat asiat, joiden ansiosta osaamme erottaa esimerkiksi viulun ja sellon äänet toisistaan, vaikka niiden sävelkorkeus, voimakkuus ja äänen kesto olisivat täysin identtiset. (Suomi 1990.) Äänenväri on erilainen puhujien kesken, riippuen siitä, onko puhuja mies, nainen vai lapsi ja myös yksilöiden välillä. Erot johtuvat osin puhujien ääntöelimistöjen eroista, kuten koosta ja rakenteesta ja osin erilaisista ääntöelimistön käyttötavoista. Tästä seuraa, että eri henkilöiden samalla kielellä tuotetut äännökset ovat akustisesti erilaisia. (Suomi 1990; Sundberg, 1987.)

Yleensä ottaen pidemmässä putkessa tuotetun äänen formantit ovat matalammalla taajuudella kuin lyhyemmässä putkessa tuotetun äänen formantit. Formanttien siirtyessä korkeammalle taajuudelle äänenväri kirkastuu ja vastaavasti matalammalla taajuudella sijaitessaan formantit tekevät äänestä tummemman. Emme kuitenkaan pysty muuttamaan ääntöväylämme pituutta kovinkaan paljoa saadaksemme aikaan tummempaa ääntä. On kuitenkin mahdollista pidentää tai lyhentää ääntöväylää 10 prosenttia laskemalla tai nostamalla kurkunpäättä ja pyöristämällä huulia tai työntämällä niitä eteenpäin tai vetämällä taaksepäin (Iivonen & Aulanko 2001; Titze 2000; Lindblom & Sundberg 1971.)

2.2 Artikulaatio

Puhuaksemme meidän on liikutettava huulia leukaa, kieltä, kurkunpäättä, pehmyttä kitalakea ja muita ääntöelimestön osia samalla kun ilmavirta siirtyy äänihuulten kautta keuhkoista ulos. Nämä *artikulaatioliikkeet* muokkaavat ääntöväylän muotoa ja saavat aikaan erilaisia äänienergiakeskittymiä ääntöväylässä puheen tuoton aikana (siirtofunktio). Artikulaatio määrittää siis formanttitaajuuksia muokkaamalla ääntöväylästä tietynmuotoisen ja vahvistamalla siirtofunktion vaikutuksella tiettyjä äänen taajuuksia. (Minifie, Hixon & Williams 1973; Sundberg 1987.)

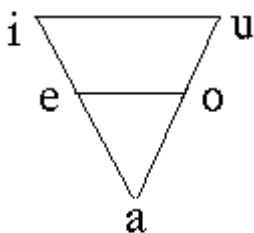
Ensimmäisen formantin taajuus muuttuu pääasiassa leuan liikkeen mukaan, taajuus on sitä pienempi mitä enemmän leuka on auki ja päinvastoin (vaihteluväli n. 300-900 Hz). Leuka ei kuitenkaan ole ainoa ensimmäiseen formanttiin vaikuttava asia, vaan mikäli leuan liike estyy, kompensoimme sitä muilla artikulaattoreilla. F2:n taajuuteen taas vaikuttaa erityisesti kielen liikkeet, kielen etisyys ja takaisuus. Toisen formantin taajuus on sitä pienempi mitä taempana kieli on suussa. Huulten pyöristys alentaa kaikkia formanttitaajuuksia jossain määrin. Sama tapahtuu kurkunpäättä laskettaessa. Neljännen formantin on todettu olevan erittäin tärkeä äänenväriin persoonallisuuden kannalta. Siihen vaikuttaa ääntöväylän pituus ja suunta kurkunpäähän nähden. (Sundberg 1987.)

On kuitenkin mahdotonta liikuttaa vain yhtä artikulaattoria siten, että muut artikulaattorit eivät liikkuisi ollenkaan. Ne ovat kaikki jollain tavalla yhteyksissä toisiinsa, joten ne myös toimivat yhdessä. Emme myöskään ole yleensä kovin tietoisia niiden liikkeistä, vaan artikulaattorien tiettyjen asetusten sijaan ajattelempa artikulaatiota yleensä äänteinä, joita tuotamme. (Sundberg 1987.)

2.2.1 Vokaalit

Kaikkien kielten äänteet voidaan jakaa vokaaleihin ja konsonantteihin. Vokaaleissa ([a], [e], [i], [o], [u], [y], [æ], [ø]) äänihuulet värähtelevät, eli kyseessä on soinnillinen äänne, ja ilma pääsee esteettä virtaamaan ulos ääniväylästä suun kautta ja kielen päältä. (Laukkanen ja Leino 2001.) Vokaalien väliset erot syntyvät siitä, missä kohti kieli on niitä tuottaessa ja onko suuaukko pyöristetty vai ei. Kieli pystyy kaventamaan tai suurentamaan samanaikaisesti kahta tai kolmea suuontelon kapeikkoa. Eri vokaaleilla on erilaiset formanttirakenteensa riippuen siitä, miten ne tuotetaan ääntöväylässä. Kielen liikkeiden ansiosta formantit muuttuvat tai pysyvät paikoillaan. Kahden alimman formantin (F1 ja F2) taajuusarvot riittävät useimmiten vokaalien erottamiseen toisistaan. Akustiselta kannalta äänenväriin avainasemassa oleva ääniväylän solassa tapahtuva liikkahdus tapahtuu aina viimeisimmäksi kielen liikkeistä. (Iivonen & Aulanko 2001; Sovijärvi 1965.)

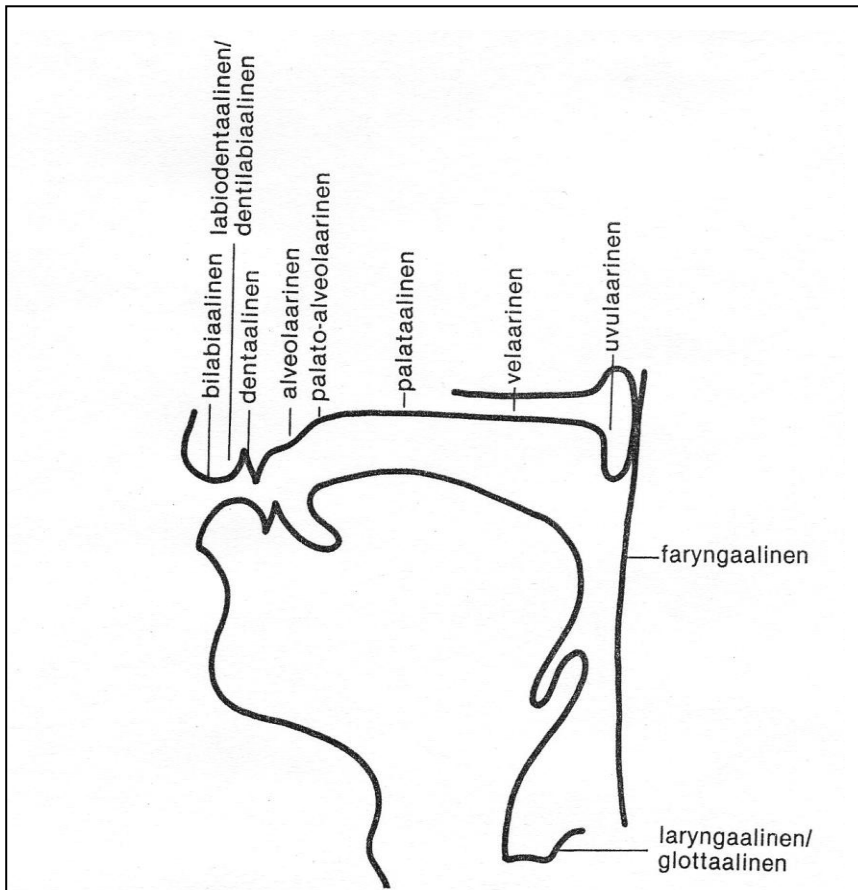
Vokaalit voidaan tuottaa väljästi, kieli suun pohjalla ja leukaa ja suuta mahdollisesti enemmän avaamalla tai suppeasti, jolloin kieli on lähellä kitalakea. Etuvokaaleissa kieli on suun etuosassa, takavokaaleissa lähempänä nielun takaseinämää. Pyöreitä vokaaleja tuottaessa suu on pyöristetty ja huulet ovat eteenpäin työnnettyinä. Vokaalit voidaan jakaa erilaiseen järjestykseen kielen asetuksen mukaan. Vokaalikolmiossa äänteet on jaettu niiden etisyyden ja väljyyden mukaan (kuva 1). Väljyyden karkeat asteet ovat: suppeat vokaalit, väli-vokaalit ja väljät vokaalit. Kulmavokaaleiksi sanotaan [a], [i] ja [u] –vokaaleja, sillä ne sijoittuvat kielen äärisijoituspaikkoihin muodostaen artikulaatiotilan kolmion siten, että [a]:n asetus on matala ja takainen, [i]:n korkea ja etinen ja [u]:n korkea ja takainen. Kulmavokaalit sijoittuvat myös ääripäihin kuviossa, jossa tarkastellaan vokaaleja kahden ensimmäisen formantin suhteen. Matalien vokaalien F1:n taajuus on suuri ja korkeiden vokaalien F1:n taajuus on pieni. Etuvokaalien toisen formantin taajuus on suurempi kuin takavokaalien ja F2 on myös aina matalammalla taajuudella pyöreässä vokaalissa laveaan verrattuna. F2:n taajuus on sitä alhaisempi mitä korkeammasta pyöreästä takavokaalista on kyse. (Laukkanen ja Leino 2001; Suomi 1990; Titze 2000.)



Kuva 1. Vokaalit ryhmiteltyinä etisyyden ja väljyyden mukaan vokaalikolmioksi.

2.2.2 Konsonantit

Konsonanttien tuotossa äänihuulet voivat myös värähdellä (soinnillinen), mutta on mahdollista myös, että ne eivät värähtele (soinniton) (Laukkanen ja Leino 2001). Konsonantteja tuotetaan jonkinasteisen joko pysyvän tai vaihtelevan ääntöväylän ahtauman avulla. Ääntymäpaikaksi kutsutaan sitä paikkaa ääntöväylässä, jossa tarvittava ahtauma tuotetaan. Ääntöväylän osat on jaoteltu ääntymäpaikkojen suhteen kymmeneen osaan (kuva 2.). (Wiik 1981.)



Kuva 2. Konsonanttien ääntymäpaikat (Wiik 1981).

Konsonantit voidaan jakaa ääntymätavan mukaan kolmeen pääluokkaan, obstruenteihin ([k], [p], [t], [g], [b], [d], [s], [f], [v], [h], [ts]), resonantteihin ([j], [w], [l], [r], [m], [n], [ŋ]) ja glottaaleihin ([h] ja glottaaliklusiili). Obstruenteissa nenäportti on kiinni ja ilman virtaus ääntöväylässä on hetkellisesti kokonaan estetty tai ilma virtaa ahtaasta kapeikosta. Resonanteissa ilma virtaa joko nenän kautta tai suun kautta, mutta kielen laitojen kautta kiertäen. Glottaaleissa olennaista on glottiksessa sijaitseva kapeikko ja supraglottaalisen ääntymäpaikan puuttuminen tai sen erittäin suuri vaihtelevuus. (Laukkanen ja Leino 2001; Suomi. 1990.)

Soinnillisissa konsonanteissa äänienergiaa on suhteellisen matalilla taajuuksilla, perussävelen ja sen lähimpien osasävelten kohdalla, kun taas soinnittomissa konsonanteissa energia sijoittuu yleensä vain huomattavasti korkeammille taajuuksille. Obstruentteihin kuuluvat klusiilit, joiden aikana ääniväylässä on täydellinen sulkeuma, voidaan erottaa toisista äänneistä niiden siirtymien avulla. Siirtymät tapahtuvat klusiilia edeltävän ja sitä seuraavan äänneen aikana. Klusiilien tunnistamiseksi on siis otettava huomioon ainakin osa viereisten äänneiden ominaisuuksista. (Suomi 1990; Wiik 1981.)

2.2.3 Vokaalien tarkastelu

Sanan keskellä olevan vokaalin formanttirakennetta tarkasteltaessa on syytä ottaa huomioon ympäröivät äänneet, sillä ne voivat vaikuttaa tarkasteltaviin formantteihin. Konsonanttiympäristö voi saada formantit liukumaan äänneen aikana. Alveolaaristen konsonanttien ([t], [s], [r], [l], [n]) on todettu vaikuttavan vokaalin toiseen formanttiin nostavasti, labiaalisten konsonanttien ([p], [v], [m]) taas laskevasti. (Iivonen ja Laukkanen 1993.)

Diftongista (kaksi vokaalia peräkkäin) on erityisen hankala havaita ensimmäisen äänneen loppu ja toisen äänneen alku, sillä niiden formantit liukuvat äänneen aikana. Formanttien taajuuksiin voi vaikuttaa myös se, onko vokaali pitkä vai lyhyt. Äänneen pituuden on todettu vaikuttavan erityisesti toisen formantin korkeuteen. Monoftongin, eli yhden vokaalin, ajallisella keskikohdalla muutokset ovat yleensä hitaampia. Tätä vaihetta kutsutaan vokaalin tasaiseksi vaiheeksi. (Suomi 1990; Iivonen ja Laukkanen 1993.)

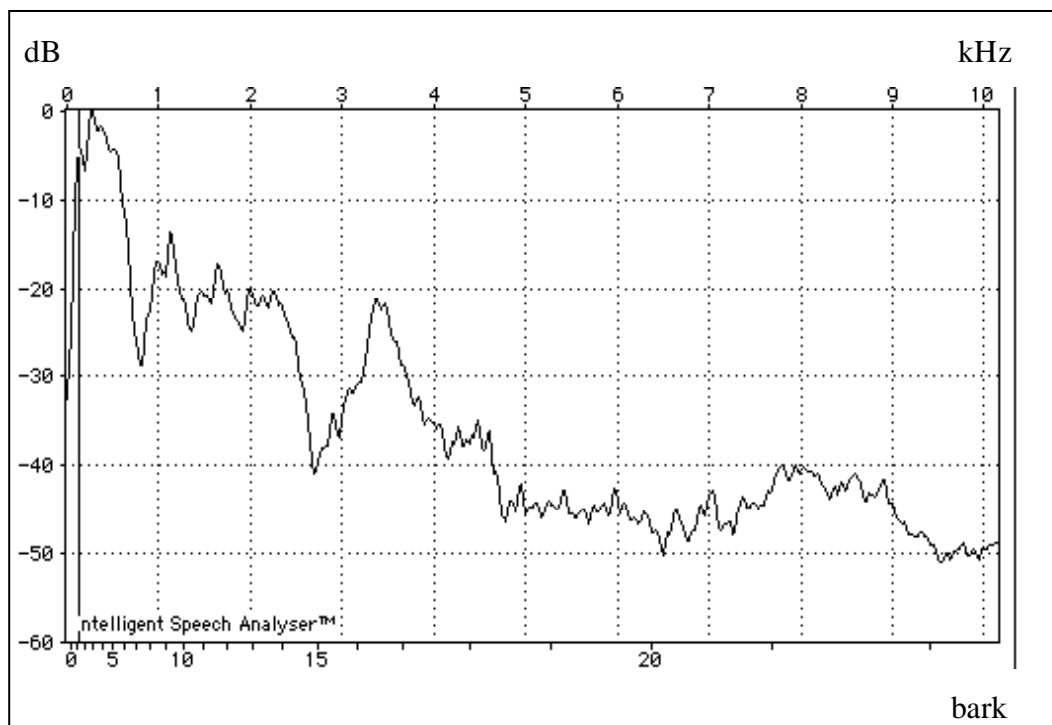
2.3 Äänenlaatu

Äänenlaaduksi voidaan sanoa sitä kuulovaikutelmaa, joka syntyy osasävelten voimakkuussuhteista, jotka vaihtelevat sävelkorkeuden, voimakkuuden ja rekisterin sekä suhteellisen adduktioasteen, eli äänihuulten lähentämisen, mukaan. Suppeimmalla määrittelyllä äänenlaadussa huomioidaan vain adduktioasteen tuottama vaihtelu, mutta joskus mukaan otetaan myös ääniväyläresonanssi. Mikäli adduktiovoima on suuri, äänestä tulee tiukka, eli hyperfunktionaalinen ja mikäli se on pieni, ääni on heikompi ja pehmeämpi, hypofunktionaalisempi. (Laukkanen 2001.) Tässä tutkimuksessa äänenlaatu ja äänenväri on erotettu käsitteinä siten, että äänenlaatu kuvaa ainoastaan kurkunpäässä

tapahtuvaa toimintaa, eli äänihuulten adduktoitumista. Äänenväri vastaa resonanssin aikaansaamaa ilmiötä äänessä.

2.4 Spektri ja alfa-suhdeluku

Ääntä voidaan tarkastella äänen lyhytaikaisspektrin avulla. Nimitys tulee siitä, että ääneen sisältyvien osavärähtelyiden kuvaus taajuuden ja amplitudin asteikolla suoritetaan ottamalla huomioon vain lyhyt ääninäyte. Laskennassa sovelletaan Fast Fourier Transform (FFT) –laskenta-algoritmia. Keskiarvospektrissä (LTAS = Long Time Average Spectrum) lasketaan tietokoneella yksittäisspektrien keskiarvo tietyn ajan kuluessa (kuva 3). Vaaka-akselilta voidaan nähdä taajuus (hertseinä ja barkeina) ja pystyakselilta amplitudi eli voimakkuus. Vokaaleiden periodisuuden vuoksi vokaaliäänteiden spektreistä voidaan erottaa osasävelet ja niiden vahvistuneissa kohdissa formantit amplitudihuippuina. (Iivonen 2001.)



Kuva 3. Formantit voidaan havaita kuvassa amplitudihuippuina

Lähdeäänien intensiteetti laskee spektrissä 12 dB oktaavia kohti, eli korkeampitaajuiset äänet ovat aina matalampia heikompia. Puheen tutkimuksessa tässä on havaittu olevan kuitenkin vaihtelua. (Brüel & Kjaer 1976.) Laukkasen ja Leinon (2001) mukaan hyviksi arvioitujen äänten spektrissä erottuu selkeitä äänienergiahuippuja. Ne lisäävät ääneen kuuluvuutta. Spektrin kaltevuusaste (spectral slope) syntyy siitä, miten nopeasti äänihuulet painautuvat yhteen. Jos liike on hyvin

nopeaa, äänen spektristä tulee hyvin loiva ja korkeamman taajuuden osasävelillä spektrissä on paljon äänienergiaa. Huokoisessa äännessä glottaalinen sulkeutuminen on hitaampaa ja korkean taajuuden osasävelille jää vain vähän äänienergiaa, joten spektrin kaltevuus on jyrkkää. (Baken & Orlikoff 2000; Laukkanen ja Leino 2001.)

LTAS:n arvioimiseen on kehitetty erilaisia kvantitatiivisia mittausten menetelmiä. Frokjaer-Jensen ja Prytz ovat ehdottaneet spektrin kaltevuuden laskukaavaksi 1 kHz ylä- ja alapuolella olevien energioiden suhdetta. (Brüel & Kjaer 1976.) Lasketun luvun itseisarvo on sitä suurempi, mitä hypofunktionaalisempaa ääni on. Nolan (1983) päätti käyttää kaltevuuden kuvaamiseen äänienergian määrän suhdetta 1,5 kHz ylä- ja alapuolella. Myös muita laskukaavoja puhe- ja lauluäänen tutkimiseen LTAS:llä on kehitelty. Kuitenkaan mitään yleisesti hyväksyttyä keinoa spektrin mittaamiseen ei ole olemassa, vaan mittaaminen täytyy sovittaa tiettyyn päämäärään tähtääväksi jokaisessa tutkimuksessa. (Hurme 1996.)

Tässä tutkimuksessa spektrin kaltevuus lasketaan vähentämällä eri taajuuskaistojen keskimääräinen SPL toisistaan. ($SPL(1-10\text{ kHz}) - SPL(0-1\text{ kHz})$) Tällöin tulokseksi saadaan negatiivinen luku, joka kuvaa äänentuottotapaa. Laskukaavasta käytetään nimitystä *alfa-suhdeluku*. Esimerkiksi kuvassa 4. alfa -suhdeluvuksi saadaan -6,74 dB, kun taas kuvassa 5 alfa -suhdeluku on -19,09 dB. Kuten kuvistakin voidaan päätellä, kuvan 5 spektrin kaltevuus on jyrkempi, minkä mukaan äänenlaatu tässä tapauksessa voisi olla hypofunktionaalisempi kuin kuvassa 4, jossa kaltevuus on loivempi. Mitä suurempi alfa-suhdeluku on, sitä hyperfunktionaalisempaa ääntö on ja päinvastoin, mitä pienempi suhdeluku on, sitä hypofunktionaalisempaa on ääntö.



Kuva 4. LTAS, josta laskettu alfa-suhdeluku on -6,74 dB.

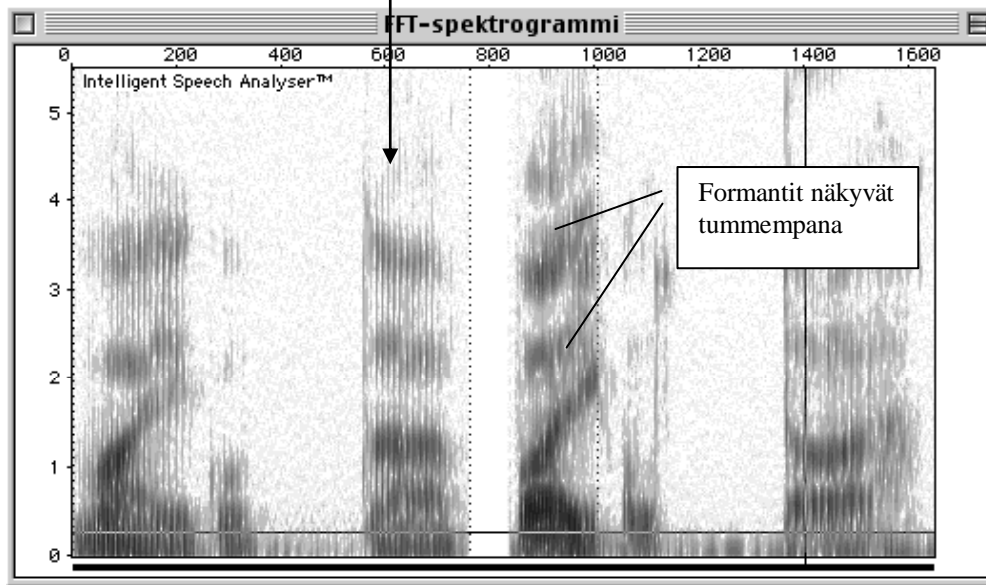


Kuva 5. LTAS, josta laskettu alfa-suhdeluku on -19,09 dB.

2.5 Spektrogrammi

Spektrogrammista voidaan tarkastella spektrin muuttumista ajan suhteen (kuva 6). Pystyasteikolla nähdään taajuus ja vaaka-asteikolla aika. Osasävelten voimakkuusaste havaitaan tummuusvaihteluna, joten tummimmat kohdat kertovat formanttien paikasta. Kuvassa 6 on kaksi kertaa peräkkäin sana ”vaikuttaa”. Soinnillisten äänteiden kohdalla kuvaan ilmestyy tummempaa aluetta, joka kertoo osasävelten energiakeskittymistä. (Titze 2000.)

Raidat kuvaavat äänihuulivärähdyksiä



Kuva 6. Sana ”vaikuttaa” kaksi kertaa peräkkäin FFT-spektrogrammilla kuvattuna.

Kun suodattimen leveys on 300-500 Hz, filtti mittaa energiat kahdesta viiteen osasäveleltä kerrallaan yhdistämällä ne yhteen. Näin saadaan aikaan kuva, jossa äänihuulivärähtelyn periodit voidaan nähdä vertikaalisina raitoina. Tästä on myös mahdollista laskea perustaajuus jakamalla raitojen määrä aikayksiköllä. Jos taas käytetään ohuempaa kaistanleveyttä 45-50 Hz saadaan näkyviin vain yksi osasävel kerrallaan. Tällöin formanttirakennetta ei kuitenkaan ole niin helppo havaita eikä myöskään vertikaalista aikaraidoitusta saada näkyviin. (Titze 2000.)

2.6 Puheen perustaajuus, puhekorkeuden kontrollointi ja kuulohavainto

Puheen *perustaajuus* määrittyy pääasiassa äänihuulten jännityksen (elastisuuden) ja paksuuden (massan) mukaan. Mitä enemmän äänihuulissa on massaa, eli mitä suuremmat äänihuulet ovat, sitä matalampi perustaajuudesta muodostuu. Jännittyneisyyttä voidaan muuttaa venyttämällä äänihuulia, eli lisäämällä niiden pituutta. Tämä auttaa samalla kontrolloimaan äänenkorkeutta. Korkeissa äänissä äänihuulet ovat ohuet ja jännittyneet ja matalissa äänissä rennot, paksut ja lyhyemmät. Äänihuulten pituutta kontrolloi cricotyreoideus-lihas ja paksuutta vocalis-lihas. Kurkunpään lihaksiston refleksiin vaikuttavat mekanoreseptorit, jotka pitävät huolen siitä, että lihakset toimivat balanssissa esimerkiksi subglottaalisen paineen muuttuessa sekä adduktiota tai abduktiota säädellessä. (Sundberg 1987.)

Halutun äänen tuottamiseksi ja korkeuden ja voimakkuuden hallitsemiseksi ihmisen on voitava kontrolloida ainakin sisäisiä kurkunpäänlihaksia, palleaa, kylkiluuvälilihaksia, kurkunpään ulkopoولisia lihaksia ja artikulaatiota. Näihin toimintoihin voimme vaikuttaa harjoittelemalla. Auditiivisella palautteella on suuri merkitys puheen onnistumisessa, tämä on todettu varsinkin tutkittaessa kuurojen lasten puhumaan oppimista. Emme ole yksinomaan riippuvaisia auditiivisesta toiminnasta, mutta sitä tarvitaan puheen omaksumisessa ja äänenlaadun säätelyssä. Laulajilla on todettu kehittyvän koulutuksen yhteydessä äänenkorkeuden lihasmuisti, joka auttaa heitä esimerkiksi tarvittavissa äänenkorkeuden muutoksissa silloin, kun säästys peittää laulajan saaman auditiivisen palautteen. (Sundberg 1987.)

Keskimääräinen puhekorkeus vaihtelee kaikkien puhujien kesken johtuen yksilöllisistä ja kulttuurisista syistä. Esimerkiksi ihmisen ääntöelimistön koko ja tilannekohtaiset tekijät, kuten tunnetilan ilmaiseminen puheessa vaikuttavat puhekorkeuteen. Tunnetiloista ja asenteista saadaan informaatiota ilmauksen sisältämän sävelkorkeusvaihtelun avulla. Tätä kutsutaan intonaatioksi. (Laukkanen ja Leino 2001.)

Puhekorkeuden kuulohavaintoon vaikuttaa moni asia. Kuulovaikutelma voi muuttua, vaikka yleisin puhekorkeus tai keskikorkeus ei muuttuisikaan. Esimerkiksi korkeusvaihtelun laajuus voi vaikuttaa kuulohavaintoon. Myös runsaampi matalan – tai korkean alueen käyttö voi määrätä vaikutelmaa, vaikka sen prosentuaalinen osuus vaihtelun laajuudesta olisikin pienempi kuin vastakkaisen alueen. Vaikka puhekorkeuden keskiarvo tai yleisimmin käytetty korkeus olisi sama, puhe voi kuulostaa erilaiselta jos matalien tai korkeiden taajuuksien prosentuaalinen osuus on eri. Myös äänenväri sekä tiettyjen sävelkorkeuksien painottaminen voivat vaikuttaa sävelkorkeuden kuulohavaintoon. Pienikin muutos perustaajuuksien keskinäisissä määrissä voi vaikuttaa äänenlaatuun ja sävelkorkeuden kuulohavaintoon - puhe voi kuulostaa matalalta, vaikka sinänsä hyvin matalia säveliä ei käytettäisikään, jos korkeat sävelet jätetään käyttämättä. (Leino 1991; Laukkanen ja Leino 2001.)

Puhekorkeutta tutkittaessa onkin havaittu, että pelkästään puhekorkeuden keskiarvo ja keskihajonta eivät riitä kuvaamaan puhekorkeutta, vaan lisäksi tarvitaan tietoa kaikkien korkeuksien esiintymismäärästä. (Leino 1991.) Imitaattorin on todettu pystyvän vaikuttamaan perustaajusjakauman keskiarvoon, moodiin ja vaihteluväliin sekä myös jakauman muotoon. Imitaatioissa päästään useimmin samalle tasolle imitoitavan äänen kanssa perustaajuuden keskiarvon osalta. (Leskelä 2008.)

Moore, Keaton ja Watts (2007) ovat toteuttaneet tutkimuksen, jossa tarkoituksena oli selvittää mitkä asiat vaikuttavat puhekorkeuden kontrollikykyyn. Tuloksista voidaan päätellä, että perustaajuuden erotuskyvyllä ja säveltarkkuudella toistettaessa tiettyä korkeutta on selvä yhteys. Myös muun muassa motorinen kontrolli näyttää vaikuttavan sävelkorkeuden täsmällisyyteen. Äänenkorkeuden muistin on todettu vaikuttavan sekä perustaajuuden erotus- että kontrollikykyyn.

Watts ja Hall (2008) tutkivat äänenvärin ja äänenkorkeuden suhdetta toisiinsa. Tutkimuksissa todettiin, että ihmisen on helpompi päästä samaan puhekorkeuteen samaa sukupuolta olevan ihmisen puheen kanssa kuin jos korkeus olisi täsmättävä esimerkiksi viulun tai klarinetin äänen kanssa. Tulos tukee hypoteesia, että äänenväri ja äänenkorkeus ovat perkeptuaalisesti riippuvaisia toisistaan ja että matkittavan äänen äänenväri voi vaikuttaa matkitun äänentuoton korkeuden täsmällisyyteen.

2.7 Ääniala

Ihmisen puheen ääniala koostuu kaikista niistä sävelkorkeuksista, joita hän kykenee tuottamaan. Ääniluokkajaottelu (basso, baritoni, tenori, altto, mezzosopraano, sopraano) perustuu äänialan sijoittumiseen taajuusasteikolla sekä äänenväriin, jotka riippuvat äänihuulten ja ääntöväylän koosta. Suuremmilla äänihuulilla on mahdollista saada aikaan matalampia sävelkorkeuksia ja pienemmillä korkeampia. Yleensä ottaen basson äänihuulet ovat suuremmat kuin tenorin ja baritonin ja alton äänihuulet suuremmat kuin mezzosopraanon ja sopraanon. Myös ääniväylän koko vaihtelee eri ääniluokissa ja vaikuttaa äänenväriin. Mitä pitempi ääniväylä on, sitä tummempi äänenväri on. (Laukkanen ja Leino 2001.)

Eri ääniluokissa siirrytään modaalirekisteristä falsettiin eri sävelkorkeuksilla, eli basso ja altto esimerkiksi matalammilla korkeuksilla kuin tenori ja sopraano. Voimme myös havaita, että tietyltä sävelkorkeusvaihtelualueelta tuotettu puhe on vaivattominta tiettyyn ääniluokkaan kuuluvalla henkilöllä. Tällöin myös voimakkuuden ja sävelkorkeuden vaihtelu sujuu helposti. Optimaalinen puhekorkeus sijoittuu modaalirekisterialueen keskivaiheille, joten bassojen ja alttojen optimaalinen puhekorkeus on matalammalla kuin tenorien ja sopraanoiden. Voidaan myös olettaa, että puhekorkeus ja äänentuoton fysiologinen tarkoituksenmukaisuus liittyvät toisiinsa. (Laukkanen ja Leino 2001.)

2.8 Puheen havaitseminen ja korvan toiminta

Ääni on ilmanpaineen vaihtelua sellaisella taajuudella, jonka kuuloaisti pystyy tunnistamaan ääneksi. Ihminen kykenee kuulemaan sävelkorkeuksia noin 20-20 000 Hz välillä ja äänenvoimakkuuksia 0-120 dB välillä. Alle 20 hertsin äänet kuullaan perättäisinä poksahduksina, narinana. Korvalla on myös erilainen herkkyys eri taajuisille äänille. Parhaiten ihmiskorva erottaa äänet 1000-5000 Hz alueella. Yli 120 dB äänet voivat aiheuttaa kipuaistimuksia. (Laukkanen ja Leino 2001; Moore 2004.)

Korva arvioi akustisen energian määrää melko laajalla taajuuskaistalla kerrallaan ja jokaisen kriittisen kaistan sisällä oleva energia käsitellään yhtenä kokonaisuutena muun muassa äänenväriin havainnossa. Tieto kriittisen kaistan olemassaolosta perustuu ilmiöön, jossa kahta perustaajuudeltaan riittävän lähellä olevaa ääntä ei kuulla helposti, vaan toinen voi peittää toisen kokonaan. Esimerkiksi musiikki autossa voi peittää auton moottorin äänen. Tällöin peiteäänien olemassaolo nostaa toisen äänen kuulokynnystä. Koko kuuloalueelle mahtuu yhteensä 24 vierekkäistä kriittistä kaistaa ja kaistojen leveys kasvaa niiden keskitajuuden kasvaessa. Suuremmilla taajuuksilla akustisen energian määrän arviointi on siis epätarkempaa. Kaistat kuitenkin käytännössä limittyvät toisiinsa, eikä niitä voida ymmärtää kiinteäksi suodatinpakaksi, joissa olisi tietyt keski- ja rajataajuudet. (Suomi 1990; Moore 2004.)

Kriittisillä kaistoilla on reaaliset vastineensa sisäkorvan anatomiasa ja fysiologiassa basilaarikalvon karvasoluissa. Karvasolut reagoivat niihin sisäkorvan nesteen paineenvaihteluihin, jotka aiheutuvat välillisesti rumpukalvolle saapuvista ilmanpaineen vaihteluista. Kuulemiselle välttämätön analyysi ei siis tapahdu matemaattisesti, kuten Fourier-analyysi, jonka avulla saadaan akustisen spektrin ulottuvuudet, vaan fysiologisesti, mikä on aina riippuvainen kuuloradan aiheuttamista epälinearisista muunnoksista. Taajuuden ja sävelkorkeuden suhde on siis epälineaarinen. (Suomi 1990.)

Puheen havaitsemisessa käytetään apuna akustisten vihjeiden lisäksi myös visuaalisia vihjeitä silloin kun se on mahdollista ja nämä ovat selvästi yhteyksissä toisiinsa. Kaikilla artikulaatioliikkeillä on vaikutusta myös puheen akustiikkaan. Ääntöväylän muotoa muutettaessa kasvojen ja kielen lihasten liikkeet on mahdollista havaita visuaalisesti. Selkeimmin erottuva osa visuaalisuudesta ovat tietysti huulet. 'Huulioluvun' onnistumiseen vaikuttavat kuitenkin myös kasvojen muut osat ja koko keho. (Aulanko 2001.)

2.9 Puhujan tunnistus

Puhepiirteet voivat olla erilaisia eri kulttuureissa ja maantieteellisesti tarkasteltuna. Eroavaisuuksia voidaan havaita eri kansojen tai muiden ihmisryhmien tunnistimiksi. Puhepiirteet toimivat siis persoonaa erottavana, mutta myös sosiaalisena ja kulttuurisena muuttujana. Yksilölliset ja tilannekohtaiset erot myös esimerkiksi tietyn kulttuurin sisällä olevissa puhepiirteissä ovat kuitenkin suuret. (Laukkanen ja Leino 2001.)

Puhujan tunnistukseen vaikuttavat puhujan anatomia (puhe-elimistö), puhemaneerit (murre, puhetyyli jne.) ja puhetilanne, jossa puheeseen vaikuttavat ympäristön äänet, muut puhujat, sekä puhujan tunne- ja terveydentila puhehetkellä. Ääniväylän tuotos vaihtelee myös sen mukaan, mikä on puhujan viestinnällinen tarkoitus milläkin hetkellä. Yksilön puheeseen voi vaikuttaa esimerkiksi asenne, jonka hän haluaa ilmaista, mielikuva, jonka hän pyrkii esittämään tai organisaatio, johon hän on vuorovaikutuksessa. Puhe voi vaihdella prosodiikaltaan kestoon (ajoitukseen), painotukseen, sävelkulkuun ja –korkeuteen sekä rytmiin liittyvien ilmiöiden mukaan. Puhe-elimistön anatomiaan ei voida vaikuttaa, mutta muut vaikuttavat osatekijät ovat muokattavissa. (Iivonen 2001; Niemi-Laitinen 2005; Nolan 1983.)

Forensisessä eli rikosten selvittämiseen liittyvässä puheentutkimuksessa käytetään apuna sekä kuulonvaraista että akustista tutkimusta. Kuulonvaraisessa tutkimuksessa etsitään eroja tai samankaltaisuuksia kahden näytteen äänneiden, äänenlaadun ja puheen prosodiikan suhteen. Myös puheen nopeus, tauotus, rytmi ja erikoiset maneerit tai murrepiirteet huomioidaan. Kuulonvaraisessa menetelmässä hyvänä puolena voidaan pitää sitä, että ihmiskorva pystyy erottamaan puheäänien esimerkiksi taustamelusta, mihin akustinen analyysi taas ei pysty ja mikä onkin erityinen haaste automaattiselle puhujan tunnistukselle. Nykyään voidaan tutkia mitä tahansa puheen osatekijää, kuten äänneitä, prosodisia ominaisuuksia ja äänenlaatua, myös akustisesti. Automaattista puheäänien tunnistusta ei voida kuitenkaan vielä pitää täysin luotettavana tunnistuskeinona. (Niemi-Laitinen 2005; Boë 2000.) Forensisessä tutkimuksessa käytettävässä kuulonvaraisessa puhujan tunnistuksessa täytyy huomioida todistajan erehtymisen mahdollisuus, mikäli näytteessä voidaan epäillä imitointia, ja varsinkin jos imitointi on onnistunut. Perseptuaalisen näytön rajoittuneisuus on otettava huomioon oikeusjärjestelmässä. (Eriksson, Sullivan, Zetterholm, Czigler, Green, Skagerstrand, & van Doorn 2010.)

Imitointi on siis täysin mahdollinen keino saada aikaan ääni, joka muistuttaa niin paljon alkuperäistä, että kuuliija tai myös puhujantunnistus-ohjelma voi erehtyä luulemaan sitä imitoitavan henkilön ääneksi (Niemi-Laitinen 2005). Farrúsin tutkimuksessa selvitettiin, voidaanko automaattista puhujan tunnistusta hämätä imitaation avulla. Ensiksi tunnistettavana oleva henkilö muutti aksenttiaan ja murretaan ja tultiin tulokseen, että tämä voi hämmentää sekä auditiivista että automaattista puhujan tunnistusta. Tietokoneella muutetuissa näytteissä ohjelma tunnisti äänen useimmiten alkuperäiseksi. Vain muutamissa kokeissa ohjelma ei tunnistanut ääntä muutoksen takia. Tutkimuksessa todettiin, että joitakin ääniä on vaikeampi muuttaa kuin toisia ja että puhujan tunnistus heikkenee sitä mukaa kun muutoksia lisätään ääneen. (Farrús 2008.)

2.10 Aiempia imitaatiotutkimuksia

Puhujan persoonalliset piirteet, kuten äänenlaatu, puhekorkeus ja intonaatio ovat tärkeitä imitaation onnistumisessa. Zetterholmin (2002) tutkimuksen mukaan imitaattorin on mahdollista päästä lähelle alkuperäisen puhujan ääntä erityisesti intonaation suhteen. Lisäksi imitaattori muuttaa omassa äänessään äänenlaatua, puhekorkeutta, murretta ja tiettyjen äänneiden lausumistapaa. Imitaatiossa haetaan Zetterholmin mukaan imitoitavan äänen stereotypiaa, eikä imitaation olekaan tarkoitus olla täydellinen kopio imitoitavan äänestä. Imitaattori voi liioitella joitakin piirteitä ja jättää jotkin piirteet vähemmälle huomiolle, mutta yleisö voi silti tunnistaa imitoitavan henkilön ja pitää imitaatiota onnistuneena.

Eräässä tutkimuksessa tarkasteltiin sitä, miten imitointipuheen aihe vaikuttaa imitoinnin uskottavuuteen. Tutkimuksessa selvitettiin myös sitä, vaikuttavatko kuulijoiden ikä, murrealue tai sukupuoli imitaation hyväksymiseen. Vastaajien ikä vaikutti imitoitavan hahmon tunnistettavuuteen siten, että yli 60-vuotiaat vastaajat uskoivat hahmon olevan poliitikko harvemmin kuin tätä nuoremmat, mikäli puheenaihe ei ollut hahmolle tunnusomainen, eli poliittinen. Puheenaihe vaikutti myös muiden taustamuuttujien tapauksissa imitaation hyväksymiseen. Murrealueen ja sukupuolen ei havaittu vaikuttavan imitaation hyväksymiseen. (Eriksson, Sullivan, Zetterholm, Czigler, Green, Skagerstrand & van Doorn 2010.)

Nolan on tullut tutkimuksessaan siihen tulokseen, että vaikka puhuja muuttaa puheensa aksenttia tai murretta, hänet on tästä huolimatta suhteellisen helppo tunnistaa itsekseen. Äänenlaadun piirteitä

muutettaessa taas on vaikeampaa tunnistaa puhujan henkilöllisyyttä kuulohavainnon perusteella. (Nolan 1983.)

Lavnerin, Gathin ja Rosenhousen (1999) tutkimuksessa on perehdytty äänen tunnistamiseen yksittäisestä vokaalista. Siinä, tunnistetaanko yksilö formanttien vai perustaaajuuden perusteella, löytyy suuria eroavaisuuksia. Voidaankin olettaa, että jos tietyllä puhujalla muutetaan piirrettä, joka on hyvin ominainen hänelle, äänen tunnistaminen vaikeutuu ja kun taas muutetaan vähemmän yksilöllistä ominaisuutta, se ei vaikuta niin paljoa tunnistamiseen. Puhujien välillä on suuria yksilöllisiä eroja siinä, mitkä piirteet tekevät heidän äänestään persoonallisen. Jokaisella puhujalla voi toisin sanoen olla erilainen persoonallinen yhdistelmä akustisia piirteitä, joista identiteetti tunnistetaan.

Eräässä tutkimuksessa tarkasteltiin, onko imitoinnilla mahdollista muuttaa formanttirakennetta imitoitavan puheen formanttirakenteen mukaiseksi. Näytteestä selvitettiin äänenkorkeus sekä formantit tietyn äänteen kohdalla. Tutkimuksessa todettiin, että puheen formanttirakennetta ja perustaaajuutta on mahdollista muuttaa ääntä tarkoituksellisesti muuttamalla. Onnistuminen tässä riippuu tosin yksilöstä. Tutkimuksessa imitaattorit eivät pystyneet saamaan aikaan täysin samaa puhekorkeutta imitoitavan kanssa. Kuitenkin erityisesti kolme ensimmäistä formanttia voitiin saada lähelle imitoitavan äänen formanttitaajuuksia. Tutkijoiden mukaan äänenväriin ja –korkeuden lisäksi myös intonaation vaihtelu lauseessa, äänen voimakkuus, puheen dynamiikka, tyypilliset fraasit ja lauseen muodostus sekä murre vaikuttavat imitoinnin onnistumiseen. (Endres, Bambach & Flösser 1970.)

Ihmisen musikaalisuus voi mahdollisesti olla yksi tekijä, joka vaikuttaa ainakin puhekorkeuden imitoimiskykyyn (Salminen 2006). Waylandin, Herreran ja Kaanin tutkimuksessa oli koehenkilöinä 15 ei-muusikkoa ja 15 muusikkoa. Tutkimuksessa tarkasteltiin sitä, miten nämä eri koehenkilöt havaitsevat äänenkorkeuden. Molemmille ryhmille annettiin samanlaista opetusta ennen koetilannetta. Muusikoiden kyky erottaa korkeus havaittiin paremmaksi ei-muusikkoihin verrattuna. Molemmat ryhmät hyötyivät harjoittelusta. Muusikoiden kyky erottaa korkeusvaihtelut erilaisista ilmauksista ei kuitenkaan ollut merkittävästi parempi verrattuna ei-muusikkoihin. (Wayland, Herrera, & Kaan 2010.) On kuitenkin muistettava, että äänentuotto on eri asia kuin sen havaitseminen. Esimerkiksi kapellimestari tai rumpali voi olla hyvin musikaalinen, mutta ei välttämättä osaa laulaa.

2.11 Peilisolut

Apinan otsalohkoalueella on havaittu olevan peilisoluja, jotka reagoivat toisen yksilön liikkeisiin. Kun apina esimerkiksi ottaa tarjottimelta rusinan, tietyt peilisolut reagoivat, mutta ne reagoivat myös silloin, kun eläin vain katsoo toisen apinan tai kokeenjohtajan tekemän samanlaisia liikkeitä. Vastaavanlainen peilisolujärjestelmä on löydetty myös ihmisaivoista. Tähän verkostoon kuuluvat ainakin primaari liikeaivokuori sekä puheentuottoalueena pidetty Brocan alue otsalohkon alaosassa. Muita aktivaatioalueita on ohimolohkossa ja pääläen lohkon alaosissa. Myös tuntoaivokuorien toiminta muuttuu katsottaessa toisen ihmisen tekemiä liikkeitä. Brocan alue ja liikeaivokuori aktivoituvat huomattavasti enemmän matkimisessa kuin katsomisen tai tekemisen aikana. Tämä viittaa alueiden tärkeyteen matkimisessa. Matkimisen katsotaan kuitenkin edellyttävän myös liikkeen ymmärtämistä. (Hari 2003.) Myös lintujen aivoissa on neuroneja, jotka aktivoituvat sekä linnun kuullessa laulun että silloin kun se vastaa lauluun samanlaisella laululla. (Tchernichovski ja Wallman 2008; Heiser, Lacoboni, Maeda, Marcus ja Mazziotta 2003.)

Ihmisäänen imitaatiossa on luultavasti käytössä tuo sama peilisolujärjestelmä. Tämä sama peilisoluilmiö voi tutkijoiden mielestä olla kyseessä vauvan opettellessa puhumaan, kielen oppimisessa tai esimerkiksi matkittaessa kasvoniilmeitä (Tchernichovski ja Wallman 2008; Heiser, Lacoboni, Maeda, Marcus ja Mazziotta 2003). Imitaation avulla vauvat ja pienet lapset oppivat tietoa ja taitoa ja myös sosiaalista käyttäytymistä. Sen kautta jo vauvatkin ovat sosiaalisessa ja emotionaalisessa vuorovaikutuksessa muiden kanssa. Tässä yhteydessä on tutkittu autistisia lapsia ja todettu heillä olevan ongelmia erityisesti sosiaalisen imitoinnin käytössä. (Ingersoll 2007.) Joissakin tutkimuksissa on arvioitu peilisolujen olevan ikään kuin tiedon eteenpäin välittäjiä ja välttämättömiä imitaatiolle, mutta ei yksinään riittäviä imitoinnin toteuttamiseen. Niiden vaikutusta imitaatioon ja imitoinnin toimintamekanismiin on kuitenkin selvitettävä vielä lisää tulevilla tutkimuksilla. (McEwen 2007.)

Tässä tutkimuksessa on tarkoituksena selvittää, 1) kuinka imitaattori muuttaa formanttien taajuuksia imitoidessaan ja 2) kuinka lähelle imitoitavaa alkuperäistä ääntä imitaattorin on mahdollista päästä formanttien, puhekorkeuden ja alfa-suhdeluvun osalta. 3) Tarkastellaan myös mikä on imitoinnin kuulohavainnon ja akustisten mittausten suhde toisiinsa.

Tutkimukseen kuului kaksi osiota: 1) akustisten ominaisuuksien analysointi tietokoneella sekä 2) auditiivinen havainnointi. Tutkimuksessa käytettiin osittain jo aikaisemmin äänitettyjä imitoitinäytteitä (Leskelä, 2008) ja näytteitä täydennettiin uusien imitoitihahmojen äänityksillä sekä imitaattorin omalla äänellään lukemilla osuuksilla.

4.1 Tutkimushenkilö ja imitoitavat henkilöt

Tutkimushenkilö oli tunnettu suomalainen imitaattori, Reijo Salminen, joka on työskennellyt ammatti-imitaattorina jo yli neljäkymmenen vuoden ajan. Hän hallitsee 120 henkilöääntä tehden sekä laulu- että puheimitaatioita ja yli sata teknistä ääntä. (Salminen 2006.) Imitaattorille annettiin tehtäväksi imitoida useita eri henkilöitä, joista osa kuului jo hänen olemassa olevaan repertoaariinsa. Imitoitavat henkilöt olivat Suomessa julkisuuden henkilöitä. Kuusi tutkimuksessa käytettävistä imitaatioista on äänitetty aikaisemmin, ja aineisto on esitelty Johanna Leskelän (2008) kandidaatintutkielmassa Onnistunut imitaatio. Tässä tutkimuksessa käytettävät imitoitavat henkilöt ovat poliitikko Raimo Ilaskivi, oopperalaulaja Matti Salminen, radiokuuluttaja Pentti Fagerholm, presidentti Martti Ahtisaari, radiokuuluttaja Lauri Paavola, radiokuuluttaja Kaj Wessman, eräs matalaääninen radioesitelmän pitäjä, poliitikko Sauli Niinistö, pääministeri Matti Vanhanen sekä kaksi tunnettua suomalaista oopperalaulajaa (baritoni ja tenori).

4.2 Äänitykset

Näytteet äänitettiin suoraan tietokoneelle käyttäen Sound Forge 7.0 - ohjelmaa. Äänitys tehtiin 16 bittisenä 48 kHz:n sisäänottonopeudella. Näytteiden tallentamisessa käytettiin Brüel et Kjaer 4165 –mikrofonia ja äänitysetäisyys oli 40 cm puhujan huulista.

Aluksi imitaattori luki kaikki käytettävät tekstit omalla äänellään, omalla luontaisella puhenopeudellaan ja rytmillään. Sitten hän kuunteli ensin imitoitavan henkilön puhetta ja sen jälkeen imitoi tätä lukien litteroidun tekstin nauhalle. Näin saatiin vertailtavaksi imitoitavan henkilön alkuperäinen ääni, imitoitua ääntä sekä imitaattorin omaa ääntä. Imitoitavia hahmoja oli useita ja niistä kaikista valittiin yhdeksän parhaiten tutkimukseen soveltuvaa lähempään tarkasteluun. Kriteereinä pidettiin sitä, että imitoitava ääni oli sen tyylinen, millaisena kyseisen

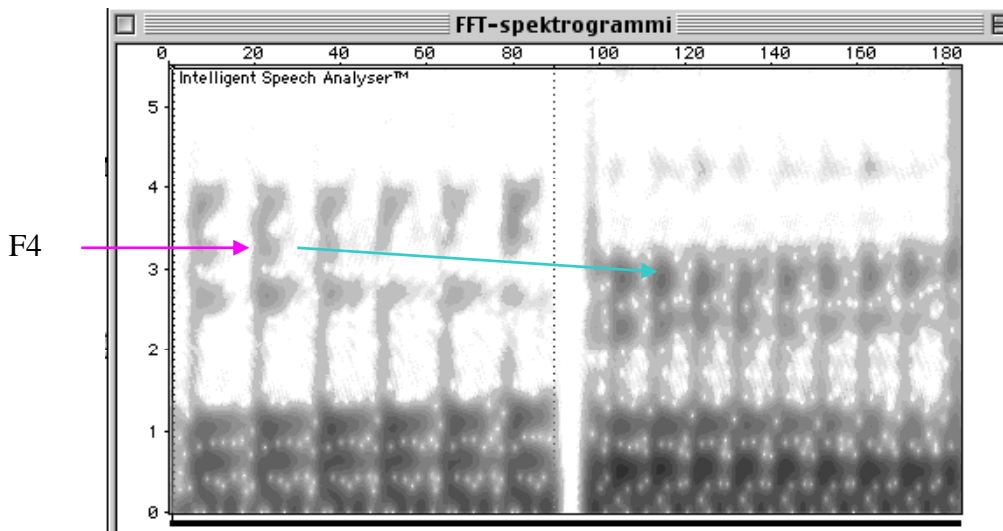
henkilön ääni yleensä julkisuudessa kuullaan ja että näytteet olivat laadultaan hyviä. Näytteiksi valitut tekstit ja eri teksteistä poimitut sanat ovat liitteenä tämän työn lopussa (liite 1).

Äänityksessä toisena osiona oli vokaalien imitoiminen. Imitaattorille annettiin kuunneltavaksi kahden tunnetun suomalaisen oopperalaulajan ääntämät vokaalit lauseessa ”Tämä on a, tämä on e, tämä on i...” sekä vain pelkästään vokaaleina peräkkäin. Kuuntelun jälkeen hän pyrki imitoimaan lauseen ja vokaaliluettelon kyseisen henkilön äänellä. Imitaattorille ei kerrottu etukäteen, keitä nämä kyseiset henkilöt olivat, eivätkä ne kuuluneet hänen esitysrepertoaariinsa. Imitaattori kuunteli myös toisen laulajan puhuman minuutin pituisen tekstin ennen vokaalilauseiden äänittämistä, mutta toiselta hän kuuli vain vokaalilauseet. Myös vokaalit äänitettiin imitaattorin omalla äänellä ja saatiin vertailtavaksi kaikki kolme versiota kuten edellä.

4.3 Akustiset mittaukset

Puhenäytteet analysoitiin Intelligent Speech Analyser (ISA) –signaalianalyysiohjelmistolla, jonka on kehittänyt diplomi-insinööri Raimo Toivonen. Näytteistä poimittiin ohjelmalla sana, joka vaihteli imitaatiohahmojen mukaan, sillä jokaisella hahmolla käytettiin eri tekstiä. Sanasta valittiin pitkä [a:] -vokaali. Vokaalia ympäröivinä äänteinä oli aina jokin konsonantti riippuen kyseessä olevasta sanasta (Liite 1). Tutkimuksessa käytettiin aina samaa äännettä, jotta formanttitaajuudet pysyivät mahdollisimman samanlaisina. Mikäli näytteessä oli monia sanoja, joissa oli pitkä [a:] –vokaali, tutkimukseen valittiin se sana, joka tutkijan kuulohavainnon mukaan vastasi äänenväritään paremmin imitoitavan alkuperäisen äänen vastaavan sanan äänenväriä. Joissakin teksteissä mahdollisia käytettäviä pitkän [a:] -vokaalin sisältäviä sanoja oli vain yksi.

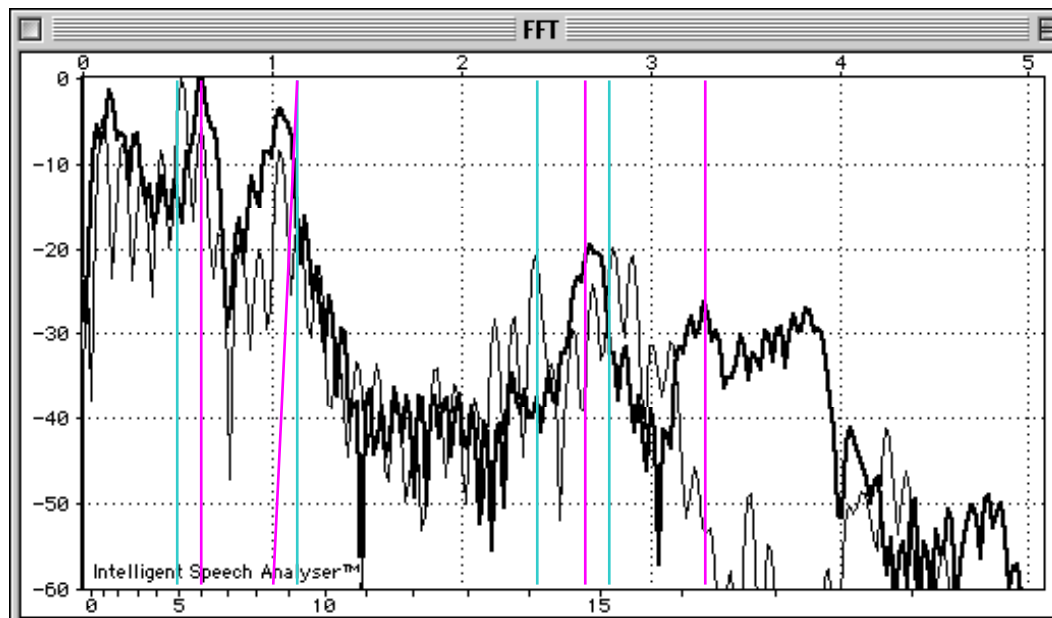
Äänneiden siirtovaikutusten eliminoimiseksi mittaukset tehtiin pitkästä vokaalista, jolloin voitiin poimia formantit tarkasteluun varmemmin juuri äänteen keskikohdalta, tasaisesta vaiheesta. Kuvassa 7 on kaksi a-vokaalia. Aikaisemmin esitetystä kuvassa 6 on hyvin näkyvissä siirtovaikutus esimerkiksi heti [va] –tavun kohdalla, jossa formantit lähtevät selvästi eri suuntiin. Tämän vaikutuksen eliminoimiseksi formantit mitattiin mahdollisimman keskeltä näitä pitkiä ääniteitä. Spektrogrammin lisäksi poimittua vokaalia tarkasteltiin samaan aikaan spektrin avulla (kuva 8.). Tarkat mittaustulokset on poimittu taulukkoon 1.



Kuva 7. Ensin imitoitava ja sitten imitoitu [a:] poimittuna sanasta ”vaatimattoman”. Kuvaan on merkitty nuolella esimerkkinä neljännen formantin taajuus (F4). Punainen nuoli kuvaa imitoitavan äänen ja turkoosi imitoidun äänen vokaalin neljättä formanttia.

Formantti	imitoitava [a:] Hz	imitoitu [a:] Hz
F1	646	560
F2	1034	1077
F3	2670	2412
F4	3273	2842

Taulukko 1. Radioesitelmöijän alkuperäisen äänen ja imitoinnin [a:] -vokaaleiden neljän ensimmäisen formantin taajuudet spektrogrammista ja spektristä laskettuna.



Kuva 8. Radioesitelmöijän imitoitavan äänen (paksummalla) ja imitoidun äänen (ohuemmalla) spektrit. Turkoosilla pystyviivalla on merkitty imitoidun äänen ja punaisella imitoitavan äänen formanttien amplitudihuiput, joita on tarkasteltu yhdessä spektrogrammin kanssa selvitetäessä formanttitaajuuksia.

Imitoiduista alkuperäisistä näytteistä, imitoiduista näytteistä ja imitaattorin oman puheen näytteistä tutkittiin FFT-spektrogrammien ja FFT-spektrien avulla ISA-ohjelmalla poimittujen vokaalien neljän ensimmäisen formantin taajuuudet. Koko luennasta tutkittiin spektrin alfa-suhdeluku ja puheen perustaajuuden keskiarvo.

Tutkimuksessa käytettävä puhekorkeus- eli perustaajuusjakauma tehtiin tietokoneanalyysillä luentanäytteessä käytetyistä perustaajuuksista ja niiden määrällisistä suhteista. Jakauma kertoo, mitä sävelkorkeuksia näytteessä esiintyy ja kuinka paljon kutakin taajuutta käytetään. Tuloksista nähdään myös käytettyjen taajuuksien keskiarvo, moodi, hajonta ja vaihteluväli. (Laukkanen ja Leino 2001.) Perustaajuuden tutkimiseksi valittiin vertailtavaksi näytteiden perustaajuuden keskiarvo, joka on aikaisemman tutkimuksen mukaan (Leskelä 2008) ollut useimmin imitaatiossa lähellä imitoidun alkuperäisen äänen perustaajuuden keskiarvoa.

4.4 Kuuntelut ja äänisynteesi

Kuuntelutestissä oli kolme osiota. Kyselylomake on tämän työn lopusta liitteenä (liite 2). Ensiksi kuunneltiin yksitoista pidempää puhenäytettä siten, että imitoidun henkilön alkuperäinen näyte ja imitointinäyte olivat aina peräkkäin. Kuuntelijat vastasivat asteikolla 1-3, kuinka samanlaisia tai erilaisia näytteet ovat äänenlaadun, äänenväriin, puhekorkeuden ja artikulaation suhteen (1=samanlainen, 2=jossain määrin samanlainen ja 3=erilainen). Tämän jälkeen oli mahdollisuus kertoa muista mahdollisista huomioista avoimena vastauksena. Koska näytteet olivat melko pitkiä, kuuntelijoita kehoitettiin kirjoittamaan ylös ensimmäisenä kuultavan imitoidun äänen mahdollisia persoonallisia piirteitä. Tämän arveltiin helpottavan äänten vertaamista toisiinsa.

Toisena osiona kuuntelussa arvioitiin synteesiäänät (11 paria), joiden perustaajuus vaihteli näytteittäin (korkeusvariaatiosynteesit). Ennen varsinaista arviointia kuuntelijoille soitettiin esimerkinäyte, jonka perusteella he saivat käsityksen tulevien näytteiden tyylistä. Näytteistä kuunneltiin ensiksi imitoidun alkuperäisen äänen synteesi ja sen jälkeen imitoinnin synteesi. Kuuntelijat arvioivat synteesinäytteitä äänenlaadun ja äänenväriin samankaltaisuuden osalta asteikolla 1-3 (1=samanlainen, 2=jossain määrin samanlainen ja 3=erilainen). Jokainen näytepari soitettiin kaksi kertaa.

Kolmannessa, eli viimeisessä, osiossa kuunneltiin jälleen yksitoista vokaalisynteesiparia (vakiokorkeussynteesit). Perustaajuuden vaikutusten neutralisoimiseksi kaikki sekä imitoitavan alkuperäisen äänen että imitoinnin näytteet soitettiin nyt 103,8 Hertsin taajuudelta. Äänissä muutuivat näin ollen toisiinsa verrattuna ainoastaan formantit. Näytteistä arvioitiin jälleen äänenlaadun ja äänenväriin samankaltaisuutta asteikolla 1-3.

Synteesiäänten tekoon päädyttiin, koska näytteistä poimittujen tarkasteltavien [a:] -äänteiden todettiin olevan liian lyhyitä kuuntelutehtävään. Niitä ei myöskään saatu keinotekoisesti pidennettyä niin, että näytteeseen ei olisi tullut häiriötekijöitä. Tämän vuoksi tehtiin näytteiden mitattujen ominaisuuksien perusteella syntetisoituja ääniä. Yhdestätoista imitoitavan äänen [a:] -näytteestä sekä näiden imitoinneista poimittiin tutkittavana olevan äänten formantit. Korkeusvariaatiosynteesiin otettiin lisäksi perustaajuudeksi aina näytetekstissä esiintyvien perustaajuuksien keskiarvo. Vakiokorkeussynteesin perustaajuus pidettiin kaikissa näytteissä samana. Vokaalit syntetisoitiin pitkiksi ääniksi reaaliaikaisen Madde -laulusyntetisaattorin avulla (kehittänyt Svante Granqvist, Royal Institute of Technology, Kungliga Tekniska Högskolan).

Kymmenen kuuntelijaa olivat vokologian opiskelijoita sekä alan ammattilaisia. Näytteet kuunneltiin Tampereen yliopiston puheopin laitoksen hyvin vaimennetussa kuunteluhuoneessa tietokoneelta. Pidemmät näytteet kopioitiin tietokoneelle wav-muotoon SoundForge-ohjelmalla dat-nauhalta sekä miniDisciltä. Myös synteesit muutettiin wav-muotoon SoundForge-ohjelmalla ja tallennettiin tietokoneelle noin 2,5 sekunnin mittaisiksi näytteiksi. Kaiuttimena käytettiin Genelec Biamp-kaiutinta. Tausta oli ääneton.

4.5 Tilastolliset menetelmät

Näytteiden neljän ensimmäisen formantin taajuuksia tutkittiin SPSS13 ja SPSS18 (Statistical Package for the Social Sciences) – analysointiohjelmien One Way Anovan Bonferroni-menetelmän avulla. Tällä selvitettiin, eroavatko imitoitavan alkuperäisen äänen, imitoidun äänen ja imitaattorin oman äänen formanttitaajuudet toisistaan merkitsevästi. Myös formanttien etäisyyttä toisistaan verrattiin näiden ryhmien kesken. Lisäksi eroja tarkasteltiin samalla menetelmällä ryhmittäin alfa-suhdelukujen ja F0-keskiarvojen suhteen.

Vastaajien samanmielisyyttä tarkasteltiin puhekorkeuden, artikulaation, äänenväriin ja äänenlaadun osalta pitkistä näytteistä ja äänenväriin ja äänenlaadun osalta molemmista synteessinäytteistä. Tähän käytettiin Cronbachin alfa-kerrointa. Akustisista mittaustuloksista ja kuulohavainnoista tarkasteltiin mahdollista korrelaatiota pitkien näytteiden sekä molempien synteessinäytteiden äänenlaadun arvioiden ja mitattujen alfa-suhdelukujen välillä. Laskennassa käytettiin Spearmanin rho korrelaatiokerrointa. Kuuntelunäytteiden äänenväriarvioita verrattiin samalla menetelmällä imitoitavan äänen ja imitoinnin formanteista laskettuihin erotukseen sekä prosentuaaliseen muutokseen.

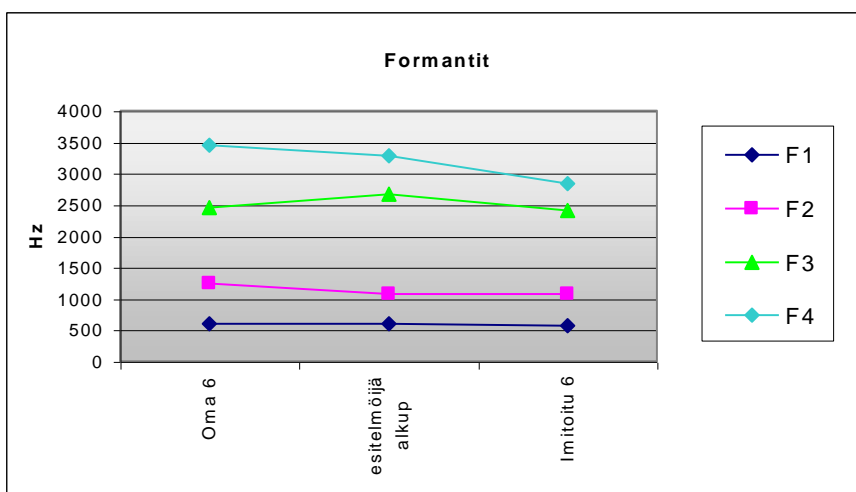
Keskiarvojen, erotusten, prosentti- ja muiden lukujen laskemiseen käytettiin apuna Microsoft Excel 2007- ja Microsoft Excel 2003 -taulukkolaskentaa.

5 TULOKSET

5.1 Akustiset mittaukset

5.1.1 Formantit

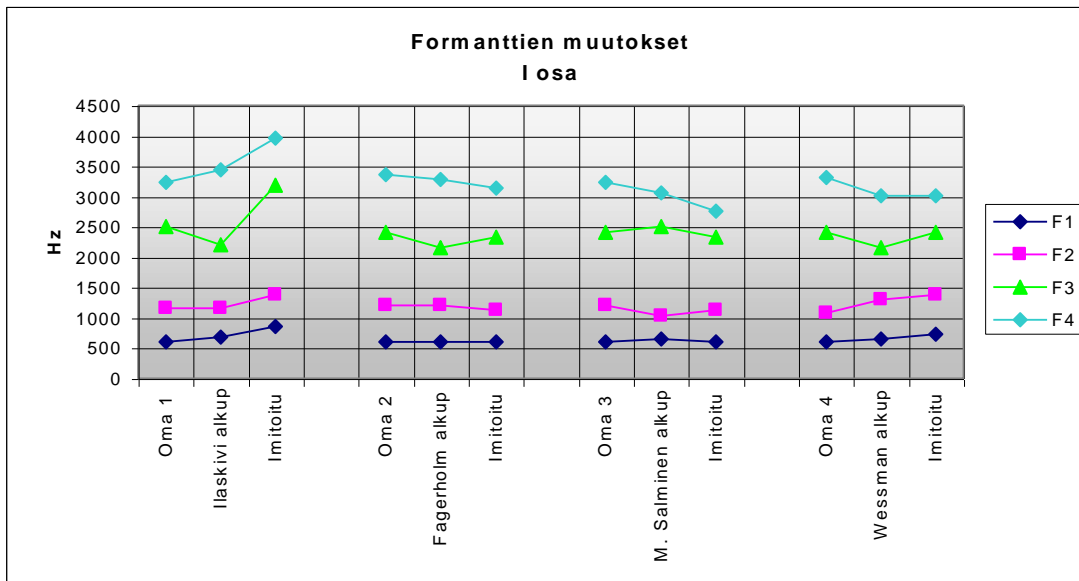
Ensiksi selvitettiin, kuinka lähelle imitaattorin imitoimat formantit tulevat imitoitavan alkuperäisen äänen formantteja. Bonferroni-menetelmällä tutkittaessa tilastollisesti merkitsevää eroavaisuutta löytyi ainoastaan ensimmäisen formantin osalta verrattaessa imitaattorin omaa ja imitoitua ääntä. (liite 3). Vertailutilanteissa eri näytteiden formantit voivat olla korkeammalla tai matalammalla toisiinsa verrattuna riippuen siitä, mistä imitaatiosta kulloinkin on kyse. Tästä syystä tilastollisella testillä ei saada helposti tietoa siitä, kuinka lähelle imitaattori pääsee formanttien suhteen imitoitavaa alkuperäistä ääntä. Joissakin tapauksissa imitaattori myös ylikompensoi joitakin formantteja ja näin ollen formanttien taajuus voi kasvaa jonkin verran vastakkaiseen suuntaan. Tämä ilmiö on nähtävissä esimerkiksi kuvassa 9. Imitoinnissa F4 on matalammalla taajuudella kuin imitoitavassa äänessä ja selvästi matalammalla taajuudella kuin imitaattorin omassa äänessä.



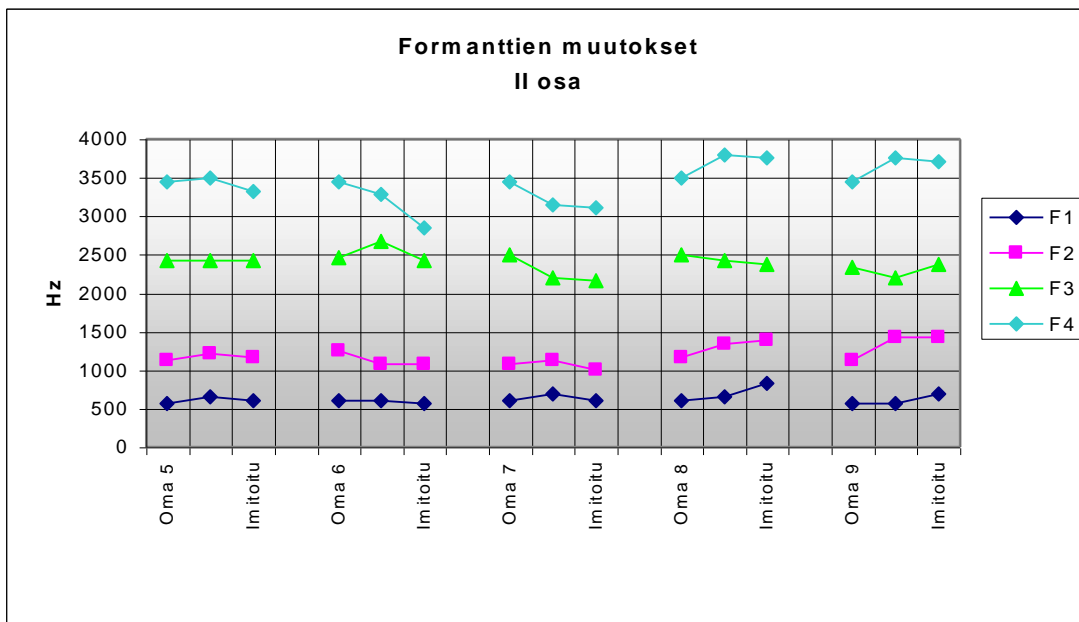
Kuva 9. Formantit imitaattorin omassa äänessä, radioesitelmöijän alkuperäisessä äänessä sekä radioesitelmöijän imitoidussa äänessä.

Kuvissa 10. ja 11. nähdään kaikkien näytteiden osalta imitaattorin oman äänen formantit, imitoitavan alkuperäisen äänen formantit sekä imitoidun äänen formantit. Ensimmäinen formantti ei eroa välttämättä usein suurestikaan imitoitavassa puheessa imitaattorin omaan puheeseen verrattuna ja imitoinnissa ensimmäinen formantti on melkein aina lähes samalla tasolla imitoitavan

alkuperäisen puheen ensimmäisen formantin kanssa. Neljässä näytteessä imitoinnin F1 on jonkin verran korkeammalla kuin imitoitavan alkuperäisen näytteen F1.



Kuva 10. Neljän ensimmäisen pitkän näytteen formantit imitaattorin omassa puheessa, imitoitavassa puheessa ja imitoinnissa.



Kuva 11. Viiden viimeisen pitkän näytteen formantit imitaattorin omassa puheessa, imitoitavassa puheessa ja imitoinnissa.

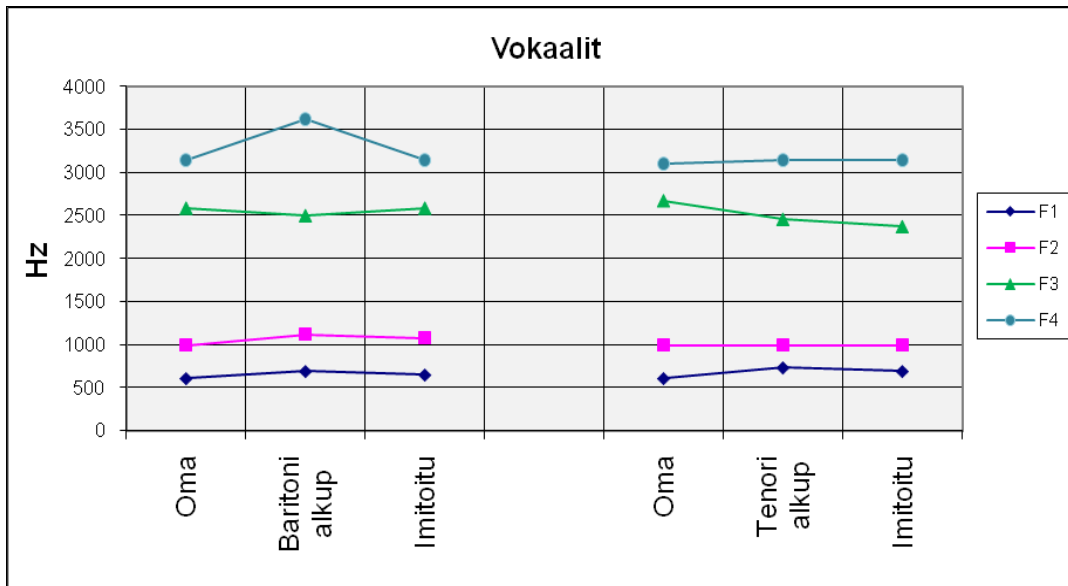
Yhdeksästä näytteestä kuudessa imitoinnin toiset formantit siirtyvät selvästi imitoitavan alkuperäisen äänen toisen formantin taajuutta kohti. Kolmessa näytteessä imitoinnin F2 asettuu hieman korkeammalle tai matalammalle taajuudelle kuin imitoitavassa alkuperäisessä näytteessä.

Neljässä yhdeksästä imitoinnista imitoijan kolmas formantti siirtyy imitoitavan äänen F3:n suuntaan. Muissa näytteissä kolmas formantti on joko hieman tai selvästi eri taajuuksilla imitoinnissa kuin imitoitavassa alkuperäisessä äänessä. Kolmannen formantin kohdalla eroavaisuudet vaikuttavat olevan jossain määrin suurempia kuin kahdessa matalammassa formantissa.

Neljännän formantin kohdalla jopa kahdeksassa yhdeksästä imitoinnista taajuus siirtyy imitoitavan alkuperäisen äänen neljännen formantin taajuuden suuntaan. Imitoinnissa tosin siirtymä on usein ylikompensoitua ja myös eroavaisuudet imitaattorin oman F4 ja imitoidun F4 välillä saattavat olla verrattain suuret.

Vokaali-imitoinneista (kuva 12.) voidaan havaita, että imitaattori muuttaa imitoinnissa formanttien taajuutta lähelle imitoitavan alkuperäisen puheen formanttien taajuuksia. F1 ja F2 nousevat hieman baritonin imitoinnissa imitoitavan alkuperäisen äänen formanttien taajuuksia kohti. F3 taas on imitoitavassa alkuperäisessä äänessä lähes samalla tasolla kuin imitaattorin omassa äänessä ja imitoinnissa se pysyykin lähes muuttumattomana. Korkeimman tarkasteltavana olevan formantin taajuus ei muutu imitoitavan äänen neljännen formantin suuntaan. Tenorin imitoinnissa kaikki neljä formanttia siirtyvät lähes samalle tasolle imitoitavan äänen formanttien kanssa.

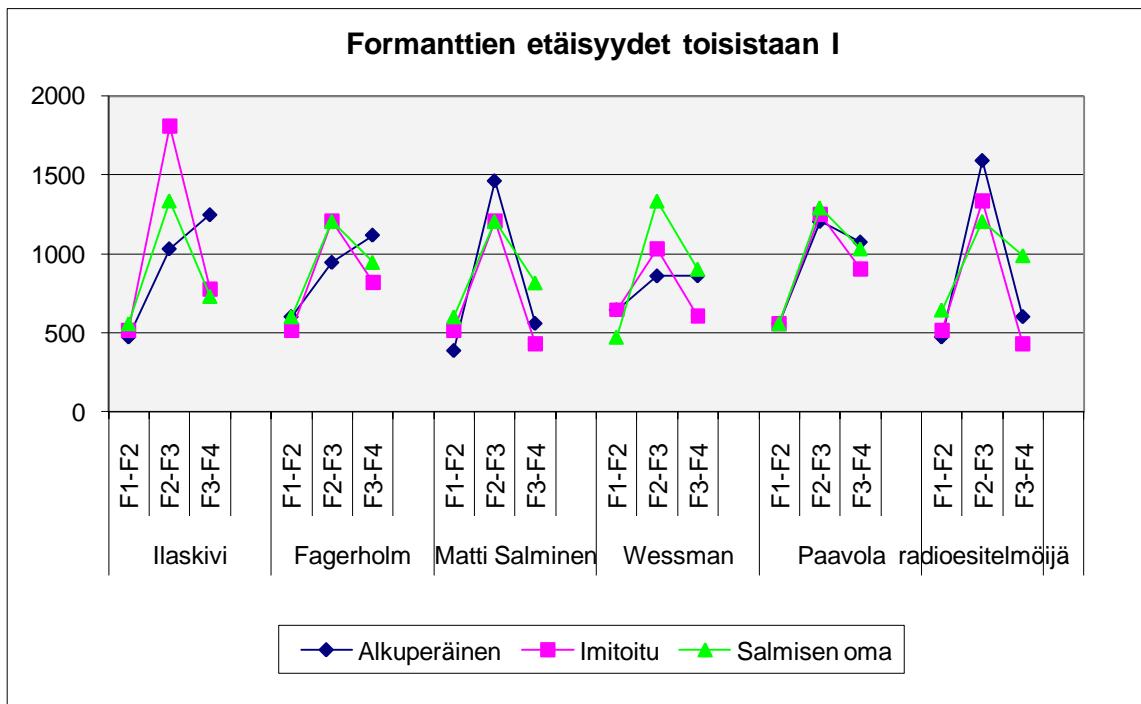
Kaiken kaikkiaan ero imitaation ja imitoitavan alkuperäisen äänen välillä oli kaikkien näytteiden ensimmäisissä formanteissa 0-27 %. Toisen formantin kohdalla erot olivat hieman pienemmät, 0-18 %. F3 erosi enimmillään 45 % ja vähimmillään ei lainkaan ja F4 enimmillään 15 % ja joissain tapauksissa eroa ei ollut.



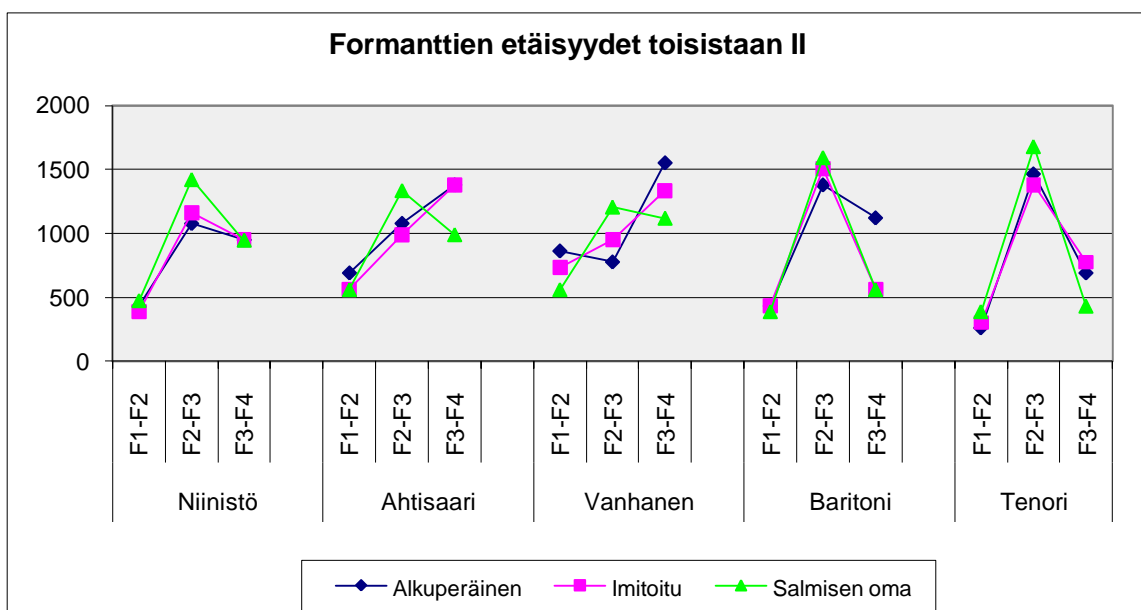
Kuva 12. Baritonin ja tenorin imitoitujen [a:]-äänteiden formantit imitaattorin omassa, imitoitavassa ja imitoidussa puheessa.

Näytteiden formanttien välimatkoja toisistaan verrattiin myös tilastollisesti keskenään. F1-F2 -, F2-F3 - ja F3-F4 -formanttitaajuuksien eroja imitoiduissa äänissä verrattiin sekä imitoitavan alkuperäisen äänen että imitaattorin oman äänen vastaaviin eroihin. Erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä (Liite 4).

Kun tarkastellaan formanttitaajuuksien eroja (kuvat 13. ja 14.), voidaan huomata, että myös näissä tapahtuu muutoksia imitaattorin oman äänen ja imitoinnin välillä. Muutamissa tapauksissa imitoinnissa formanttien taajuuserot ovat lähempänä imitoitavan äänen formanttien taajuuseroja kuin imitaattorin oman äänen formanteissa. Muutamissa taas vaikuttaa siltä, että formanttitaajuuksien erot ovat lähes yhtä suuret imitaattorin oman puheen formanttitaajuuksien eroihin verrattuna. Kuitenkin esimerkiksi Ahtisaaren hahmon kohdalla välimatkat vaihtuvat imitaattorin oman puheen formantteihin verrattuna erittäin lähelle imitoitavan äänen formanttien välimatkoja. Myös Niinistön hahmossa välimatkat ovat selvästi lähempänä toisiaan imitoitavassa ja imitoidussa äänessä.



Kuva 13. Formanttien etäisyydet toisistaan ensimmäisten kuuden hahmon osalta.



Kuva 14. Formanttien etäisyydet toisistaan viiden hahmon osalta.

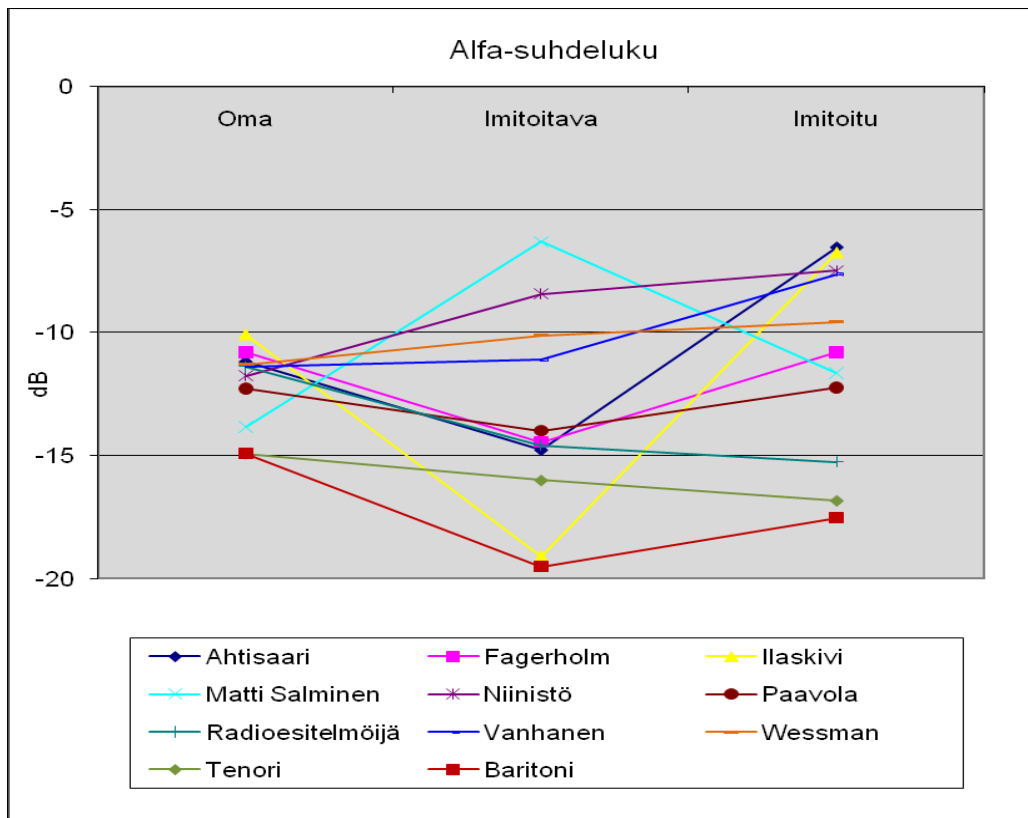
5.1.2 Alfa-suhdeluku

Tutkimuksessa mitattiin Alfa -suhdeluvut imitoitavan äänen, imitaation ja imitaattorin oman äänen spektreistä. Alfa-suhdelukujen välillä ei löytynyt tilastollisesti merkitsevää eroa verrattaessa näiden ryhmien näytteitä toisiinsa Bonferroni-menetelmällä (liite 5).

Kuvasta 15 voidaan havaita, että imitaattorin äänessä on itsessään jonkin verran vaihtelua sen mukaan, mikä näyte on ollut milloinkin kyseessä. Oman äänen alfa-suhdeluku vaihtelee eri näytteissä 4,85 dB (Taulukko 2.). Imitoinneissa alfa-suhdelukujen vaihteluväliksi tulee 10,99 dB. Tutkimuksessa mukana olleiden imitoitavien äänten alfa-suhdeluvuissa eroa on enimmillään 13,2 dB.

Alfa-suhdeluku	Imitaattorin oma ääni	Imitointi	Imitoitava ääni
Pienin dB	-14,92	-17,53	-19,51
Suurin dB	-10,07	-6,54	-6,31
Vaihteluväli dB	4,85	10,99	13,20

Taulukko 2. Oman äänen, imitoinnin ja imitoitavan äänen alfa-lukujen vaihtelut

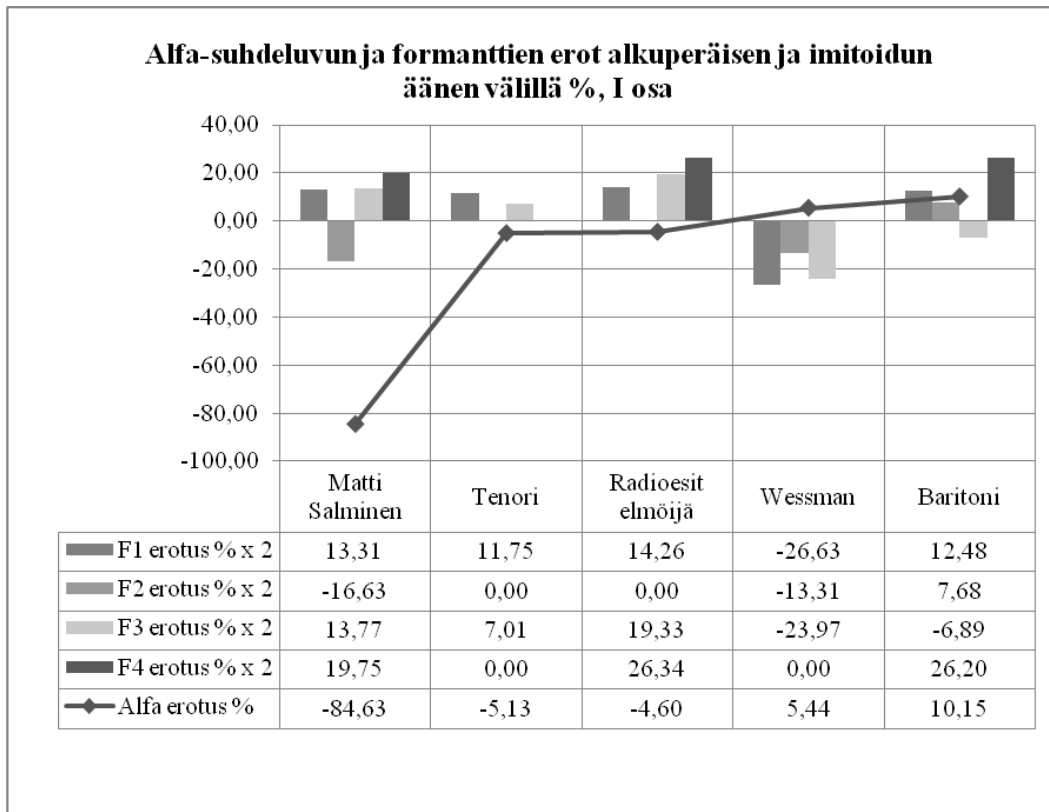


Kuva 15. Alfa-suhdelukuvertailua (vasemmalla imitaattorin oma ääni, keskellä imitoitava alkuperäinen - ja oikealla imitoitu ääni)

Imitaattori vaihtelee selvästi spektrin kaltevuutta riippuen imitoitavasta hahmosta. Aina muutos ei kuitenkaan tapahdu imitoitavan äänen alfa-luvun suuntaan. Viidessä imitoinnissa yhdestätoista luku muuttuu selvästi imitoitavan äänen alfa-suhdeluvun suuntaan (Wessman, radioesitelmöijä, Niinistö, tenori, baritoni). Ilaskiven, Ahtisaaren ja Vanhasen imitoinneissa imitaattorin alfa on suurempi kuin oman äänen alfa sekä myös selvästi suurempi kuin imitoitavien äänten näytteitten alfat. Alfa-suhdeluku menee Ilaskiven ja Ahtisaaren hahmoissa lähes päinvastaiseen suuntaan imitoitavaan ääneen verrattuna ja myös Vanhasen imitaation alfa on huomattavasti suurempi imitoitavaan alkuperäiseen ääneen verrattuna. Fagerholmin ja Paavolan imitoinneissa alfa-suhdeluku pysyy lähes samana kuin imitaattorin omassa äänessä, eikä suurta eroa imitoitavan äänen lukuun näissä tapauksissa ole. Erot imitaation ja imitoitavan äänen alfa-suhdeluvuissa olivat pienimmillään 5 % ja suurimmillaan 85 %.

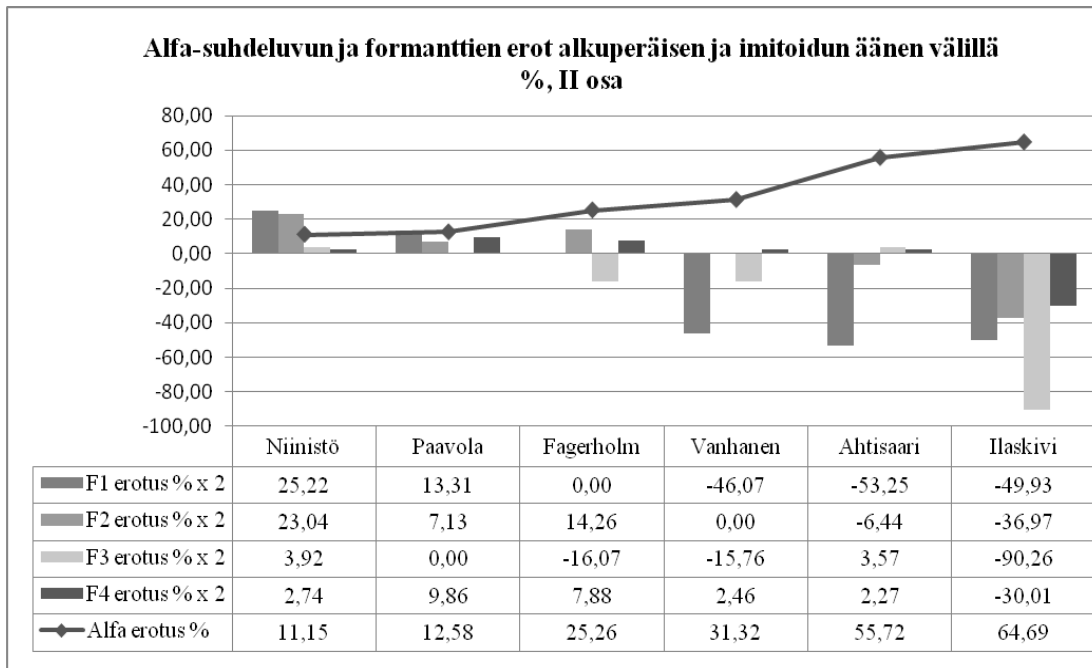
5.1.3 Vertailua alfa-suhdeluvun ja formanttien välillä

Kuvassa 16 on verrattu sitä, kuinka paljon imitoitavan ja imitoidun äänen välillä on eroa prosentteina alfa-suhdeluvun sekä formanttien suhteen (imitoitavan äänen alfa - imitoidun alfa). Tässä kuvassa on viiden alfa-suhdeluvultaan ensimmäisenä suuruusjärjestyksessä olevan hahmon arvot. Näytteissä useimmiten alfa-suhdeluku on lähes samalla tasolla imitoitavassa ja imitoidussa äänessä. Matti Salmisen imitoinnissa kuitenkin suhdeluku on selvästi pienempi imitoidussa äänessä eli äänen spektri laskee voimakkaasti ja äänenlaadun pitäisi tällöin olla huokoisempi kuin imitoitavan äänen äänenlaadun. Imitoidussa äänessä toinen formantti on jonkin verran korkeammalla taajuudella (1120 Hz) kuin imitoitavassa äänessä (1034 Hz). Muut formantit taas ovat imitoinnissa matalammalla taajuudella kuin imitoitavassa alkuperäisessä äänessä. Imitoitavan äänen [a:]-äänteessä F1 ja F2 ovat lisäksi lähempänä toisiaan kuin imitoidussa äänneessä.



Kuva 16. Ensimmäiset viisi imitoitavaa hahmoa alfa-suhdeluvun eron mukaisessa järjestyksessä. Formanttien erot [a:]-vokaaleissa on kerrottu kuvan havainnollistamisen vuoksi kahdella.

Toisessa alfa-suhdelukujen ja formanttien eroja yhdistävässä kuvassa 17 nähdään loppujen kuuden hahmon arvot alfa-luvun mukaisessa järjestyksessä. Tässä kuvassa voidaan havaita jonkinasteista systemaattisuutta siinä, että alfa-luvun kasvaessa joidenkin formanttien arvot ovat useimmiten imitoidussa äänessä selvästi korkeammalla taajuudella. Alfa-suhdelukujen ero vaikuttaa kasvavan erityisesti silloin, kun ero imitoidun ja imitoitavan äänen ensimmäisen formantin välillä kasvaa. Ilaskiven hahmon kohdalla imitaatiossa tosin myös muut kuin ensimmäinen formantti ovat selvästi korkeammalla taajuudella, mikä tarkoittaa sitä, että äänen spektrin energia on jakautunut kaikkien formanttien osalta korkeammille taajuuksille kuin imitoitavassa alkuperäisessä äänessä. Tässä kannattaa huomioida kuitenkin myös se, että Ilaskiven alkuperäisen äänen F0-keskiarvo on selvästi matalammalla taajuudella kuin imitoitu F0-keskiarvo. Sekä kuvassa 16 että 17 voidaan myös havaita, että useimmiten, kun alfa-suhdeluku pysyy suhteellisen samoissa arvoissa imitaatiossa ja imitoitavassa äänessä, myös formanttien erot pysyvät pieninä.

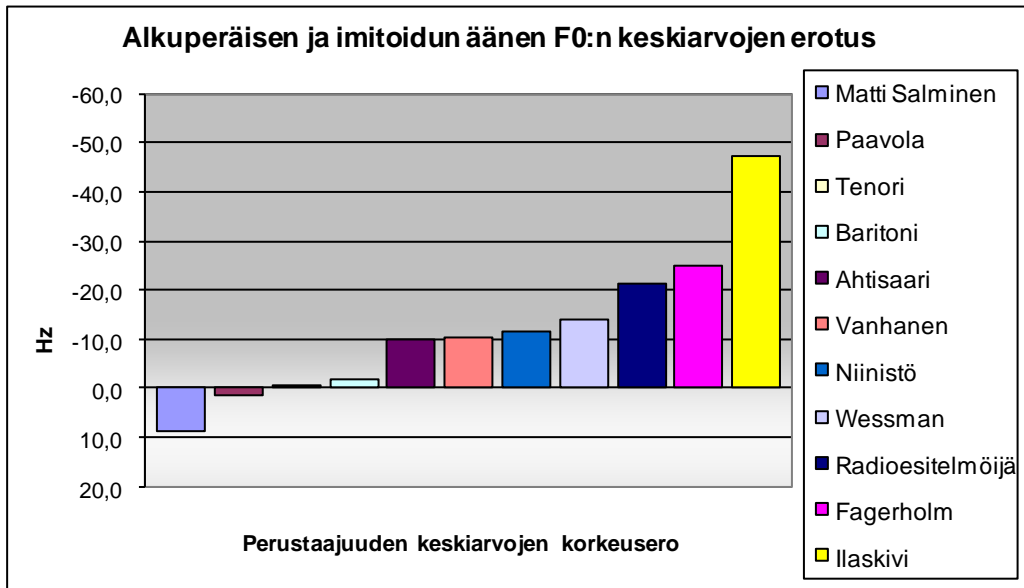


Kuva 17. Loput kuusi imitoitavaa hahmoa alfa-suhdelukujen eron mukaisessa järjestyksessä. Formanttien erot [a:]-vokaaleissa on kerrottu kuvan havainnollistamisen vuoksi kahdella.

5.1.4 Perustaajuus

Myös perustaajuuden keskiarvot mitattiin kaikista näytteistä. F0-keskiarvoja verrattaessa tilastollisesti merkitsevää eroa imitaattorin oman äänen, imitoitavan alkuperäisen äänen ja imitoidun äänen välillä ei löytynyt (liite 6).

Kuvassa 18 tarkastellaan imitoitavien ja imitoitujen äänten näytteiden F0-keskiarvojen erotuksia. Voidaan havaita, että lähimmäksi imitoitavan äänen F0-keskiarvoa imitaattori pääsee tenoria imitoidessaan. Matti Salmisen hahmossa imitointi on perustaajuuden keskiarvon suhteen hieman matalammalla taajuudella, kun taas Ahtisaaren hahmossa hieman korkeammalla taajuudella. Yleensä ottaen imitoinnit ovat useimmiten perustaajuuksien keskiarvon suhteen korkeammalla taajuudella kuin imitoitavat äänet. Viimeisimmäksi F0:n keskiarvoissa yhteneväisyyden suhteen tulevat Fagerholmin ja Ilaskiven imitaatiot, joiden perustaajuuden keskiarvo on imitoinnissa selvästi korkeammalla taajuudella kuin imitoitavassa alkuperäisessä äänessä. Enimmillään eroa imitoinnin ja imitoitavan äänen välillä perustaajuuden keskiarvossa on 39 % ja vähimmillään ei lainkaan. Tarkemmat mittaustulokset imitoitavien alkuperäisten äänten sekä imitoitujen äänten perustaajuuksista näkyvät taulukossa 3.

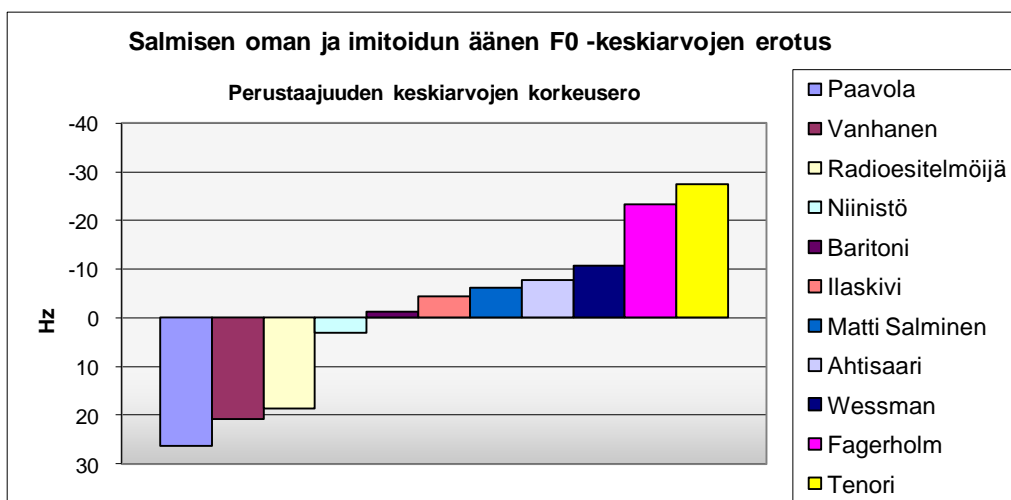


Kuva 18. Imitointihahmot imitoitavan ja imitoidun äänen perustaajuuden keskiarvojen erotuksen mukaisessa järjestyksessä.

IMITOITAVA ALKUP.	moodi (Hz)	ka (Hz)	vaihteluväli	vväli (psa)
Niinistö	82	93,57	25-38	13
Vanhanen	72	78,32	23-37	14
Ahtisaari	110	110,32	28-40	12
Ilaskivi	61	74,06	21-38	17
Matti Salminen	118	121,28	26-44	18
Fagerholm	110	112,31	23-40	17
Paavola	98	93,41	21-39	18
Radioesitelmäjä	70	75,74	19-39	20
Wessman	115	107,67	25-41	16
Tenori	137	131,87	29-40	11
Baritoni	105	104,31	31-35	4
IMITOITU				
Niinistö	98	105,15	23-44	21
Vanhanen	92	88,58	24-35	11
Ahtisaari	118	120,09	26-45	19
Ilaskivi	130	121,28	26-43	17
Matti Salminen	115	112,31	27-45	18
Fagerholm	130	137,4	27-44	17
Paavola	85	92,02	25-44	19
Radioesitelmäjä	98	97,15	23-43	20
Wessman	130	121,49	26-42	16
Tenori	139	132,26	29-38	9
Baritoni	110	106,01	30-34	4

Taulukko 3. Perustaajuuden moodi, keskiarvo ja vaihteluväli kaikista mitatuista imitoitavista ja imitoiduista näytteistä

Kuvassa 19 imitaatiot ovat imitaattorin oman äänen ja imitoinnin keskimääräisen F0:n erotuksen mukaisessa järjestyksessä. Kuva havainnollistaa sitä, kuinka paljon imitaattori muuttaa omaa perustaajuuttaan imitoidessaan eri hahmoja. Omassa puheessaan imitaattorin keskimääräinen perustaajuus vaihtelee 12 Hz verran näytteiden välillä. Kaikkien imitaattorin oman äänen näytteiden keskimääräinen perustaajuus on 112 Hertsiä (sävelasteikolla A) (Taulukko 4.). Imitaattori muuttaa puheensa keskimääräistä perustaajuutta imitoinneissa enimmillään noin neljä puolisävelaskelta matalammalle tai kolme puolisävelaskelta korkeammalle taajuudelle. Tutkimuksessa olevia hahmoja imitoidessaan imitaattori nostaa F0-keskiarvoaan eniten tenorin imitoinnissa. Matalimmalle F0-keskiarvo laskee Paavolan imitoinnissa.

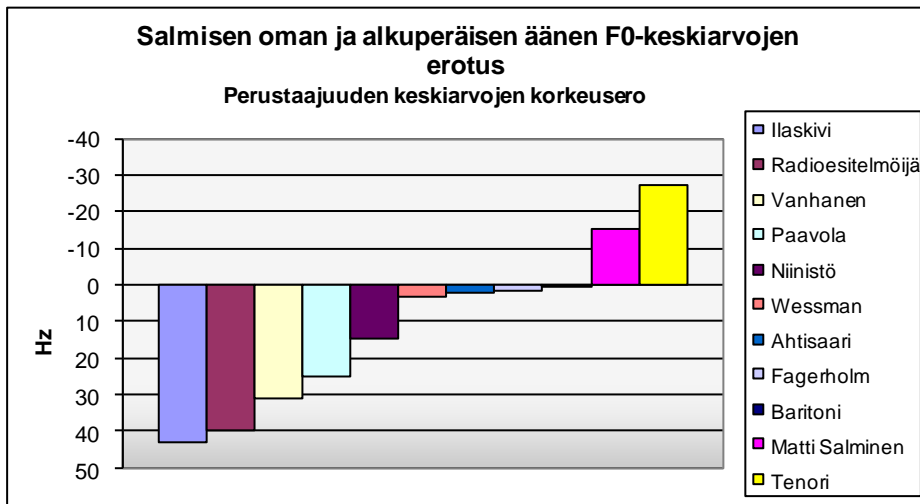


Kuva 19. Imitointihahmot imitaattorin oman (=nollalinja) ja imitoidun äänen perustaajuuden keskiarvojen erotuksen mukaisessa järjestyksessä.

Perustaajuus	Imitaattorin oma ääni	Imitointi	Imitoitava ääni
Pienin Hz	106	92,02	74,06
Suurin Hz	118	132,26	131,87
Keskiarvo Hz	112	112,14	102,965
Vaihteluväli	12 Hz, ~1 puolisävelaskelta	40,24 Hz, ~7 puolisävelaskelta	57,81 Hz, ~5 puolisävelaskelta

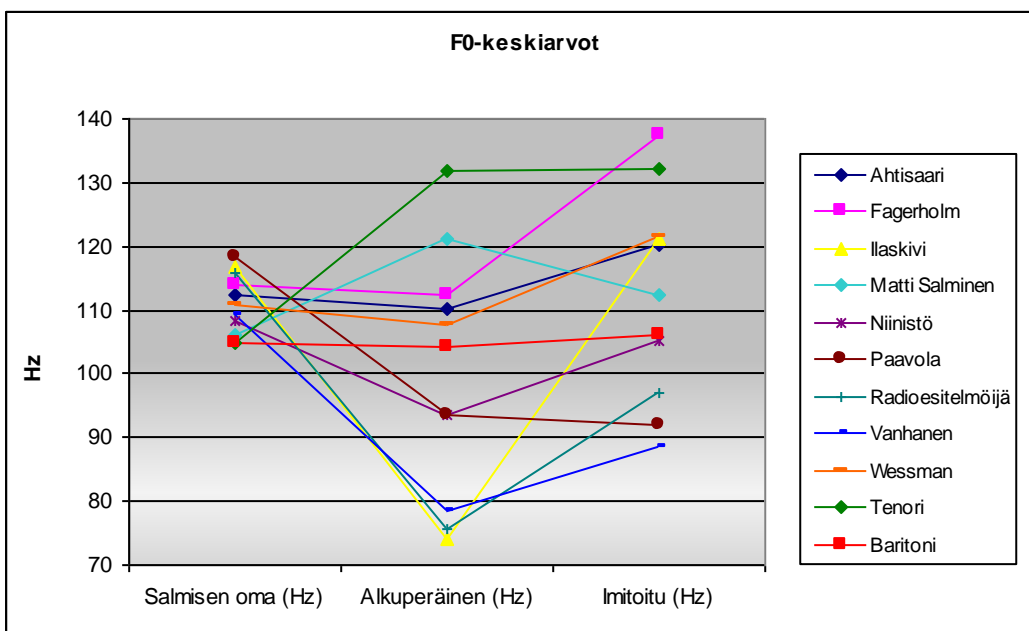
Taulukko 4. Perustaajuuksien lukuja

Kuvassa 20 imitointihahmot ovat imitaattorin oman äänen ja imitoitavan alkuperäisen äänen F0-keskiarvojen erotuksen mukaisessa järjestyksessä. Lähimpänä imitaattorin keskimääräistä puhekorkeutta ovat Fagerholmin, Ahtisaaren ja baritonin puhekorkeudet. Suurin ero keskimääräisessä puhekorkeudessa on Ilaskiven ja imitaattorin äänen välillä. Imitoitavan äänen puhekorkeus on selvästi matalammalla taajuudella kuin imitaattorin puhekorkeus. Korkeimmalla keskimääräisellä perustaajuudella tästä joukosta puhuu tenori.



Kuva 20. Imitointihahmot imitaattorin oman ja imitoitavan äänen perustaajuuden keskiarvojen erotuksen (imitoitava – imitoitu) mukaisessa järjestyksessä.

Kuvassa 21 on havainnollistettu F0-keskiarvojen eroja imitaattorin oman, imitoitavan ja imitoidun näytteen välillä. Voidaan huomata, että imitaattorin F0 -keskiarvo muuttuu imitoitavan äänen F0 -keskiarvon suuntaan Matti Salmisen, Paavolan, Radioesitelmäjä, Vanhasen ja tenorin imitoinneissa. Jonkin verran eri suuntaan imitoitavan äänen F0-keskiarvoon verrattuna menevät Ahtisaaren, Fagerholmin, Ilaskiven ja Wessmanin imitoinnit. Baritonin ja Niinistön hahmoissa imitaattorin oman ja imitoidun äänen F0-keskiarvojen välillä ei ole juurikaan eroa. Baritonin alkuperäisen äänen F0-keskiarvo onkin lähes samalla korkeudella imitaattorin oman F0 -keskiarvon kanssa.



Kuva 21. Perustaajuuksien keskiarvot imitaattorin omasta, imitoitavasta ja imitoidusta näytteestä.

5.2. Kuuntelut

5.2.1 Vastaajien samanmielisyys

Vastaajien samanmielisyyttä näytteiden eri ominaisuuksien suhteen tarkasteltiin tilastollisesti Cronbachin alpha -kertoimen avulla (taulukko 5). Äänenväriin osalta kaikkia kuuntelunäytteitä tarkasteltaessa vastaajat olivat jokseenkin samanmielisiä. Kun taas tarkasteltiin äänenväriin arvioita erikseen pitkien näytteiden (eli koko tekstin ja vokaalilauseiden) sekä kahdella tavalla tehtyjen synteisien osalta, eroa oli hiukan. Eniten eroavuuksia vastauksissa oli pitkissä näytteissä. Synteesiäänissä vastaukset olivat hyvin samanmielisiä, varsinkin korkeusvariaatiosynteisien osalta. Äänenlaadun vastauksissa voitiin huomata sama ilmiö kuin äänenväriin. Pitkien näytteiden vastauksissa oli useammin eroa kuin synteesiäänien arvioinneissa. Pitkien näytteiden artikulaation samanlaisuusasteesta vastaajat olivat jokseenkin erimielisiä. Puhekorkeuden osalta vastauksissa oltiin melko samansuuntaisia. Kaikista ominaisuuksista samanmielisimpiä vastauksia annettiin äänenväriä koskevissa kysymyksissä erityisesti synteesinäytteissä.

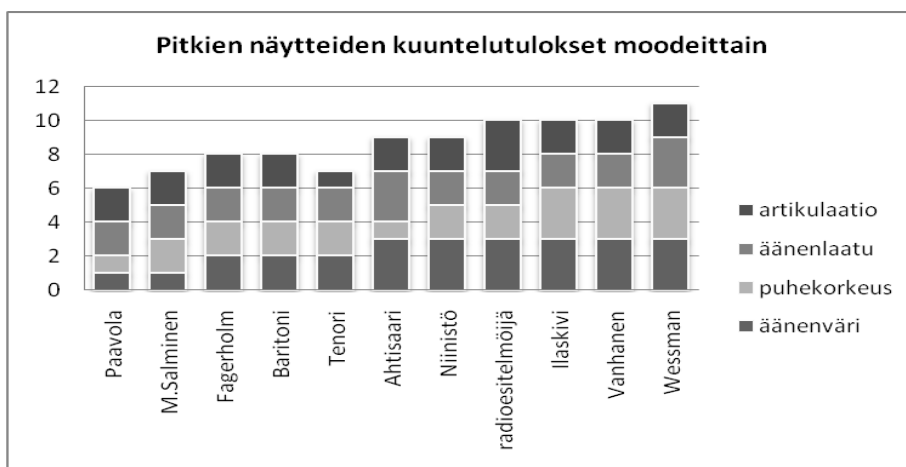
	Äänenväri	Äänenlaatu	Artikulaatio	Puhekorkeus
Kaikki näytteet	.753	.766	-	-
Pitkät näytteet	.622	.682	.574	.735
korkeusvariaatio- synteesi	.870	.774	-	-
vakiokorkeus- synteesi	.786	.773	-	-

Taulukko 5. Vastaajien samanmielisyys, Cronbachin alpha -luvut

5.2.2 Pitkät näytteet

Pitkien luentänäytteiden (pitkät tekstit ja vokaalilauseet) kuunteluiden vastauksista tarkasteltiin vastausten moodeja. Vastaukset on annettu luokitteluasteikolla 1-3 (1=samanlainen, 2=jossain määrin samanlainen ja 3=erilainen), mistä syystä kuunteluiden tuloksia tarkastellaan tässä työssä sen perusteella, mikä on ollut yleisin vastaus. Kuvassa 22 näkyy äänenväristä annettujen vastausten moodien perusteella laskettu järjestys. Kuvasta voidaan huomata, että myös muut ominaisuuksien arviot tulevat jokseenkin tässä järjestyksessä, eli äänenväriiltään samanlaiseksi arvioituissa näytteissä usein myös muut ominaisuudet on arvioitu samanlaisiksi. Kaikkien ominaisuuksien mukaan kuunteluissa eniten samanlaiseksi arvioitiin Paavolan imitointi ja toiseksi eniten

samanlaiseksi Matti Salmisen imitointi. Keskivaiheille jää Ahtisaaren imitointi ja eniten erilaiseksi arvioidaan radioesitelmöijän, Ilaskiven, Vanhasen ja Wessmannin imitoinnit.



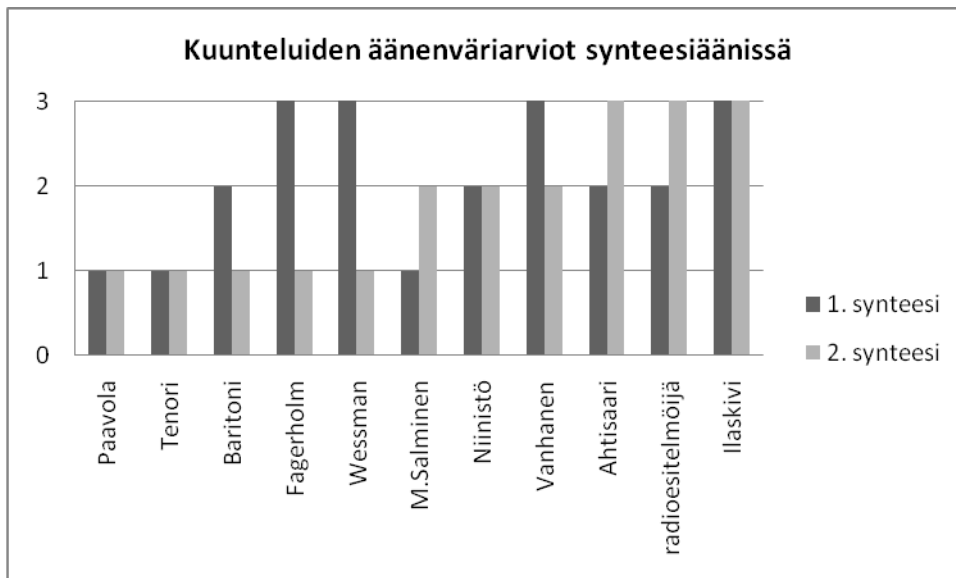
Kuva 22. Pitkien näytteen kaikkien ominaisuuksien arvioiden moodit (palkin suuruus: 1=samanlainen, 2=jossain määrin samanlainen, 3=erilainen) äänenväriin moodin mukaisessa järjestyksessä.

Paavolan näytteen osalta imitointi ja imitoitava alkuperäinen ääni on arvioitu kaikkien ominaisuuksien osalta hyvin samanlaisiksi. Äänenväri ja puhekorkeus on arvioitu useimmin samanlaiseksi ja äänenlaatu ja artikulaatio jossain määrin samanlaiseksi. Keskivaiheille kokonaisarvioissa jäävässä Ahtisaari-imitoinnissa puhekorkeus arvioitiin useimmin samanlaiseksi, mutta äänenväri, artikulaatio ja äänenlaatu on arvioitu erilaiseksi tai jossain määrin samanlaiseksi. Ilaskiven, Vanhasen ja Wessmanin imitaatioissa artikulaatio on useimmin jossain määrin samanlaiseksi arvioitu ominaisuus. Puhekorkeus ja äänenväri ovat näissä tapauksissa arvioitu useimmiten erilaisiksi imitoitavaan ääneen verrattuna.

5.2.3 Synteesiäänät

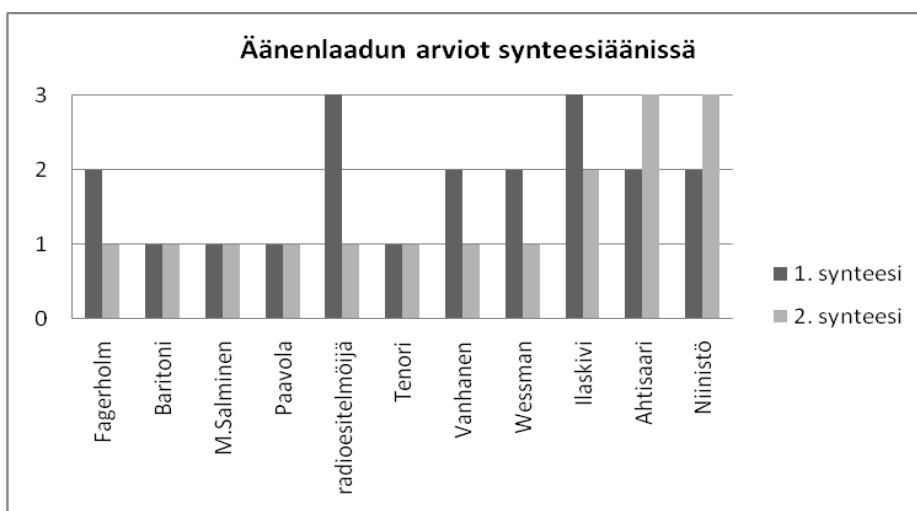
Korkeusvariaatiosynteesiäänät [a:] -vokaalista oli tehty siten, että muuttuvana tekijänä oli myös äänen keskimääräinen perustaajuus. Vakiokorkeussynteesinäytteissä muuttuivat vain formantit, ja perustaajuus oli aina 103,8 Hz. Kuvasta 23 voidaan todeta, että tästä muutoksesta johtuen joissakin näytteissä oli jonkin verran eroa siinä, oliko imitointi arvioitu samanlaiseksi kuin imitoitava ääni. Useimpien näytteen kohdalla muutos oli vähäistä. Kuitenkin esimerkiksi Fagerholmin hahmossa synteettinen imitaationäyte, jossa perustaajuus pysyy aina samana, arvioitiin äänenväriin suhteen keskimäärin useammin samanlaiseksi kuin synteettinen imitaationäyte, jossa mukana oli myös perustaajuuden muutos. Myös muiden imitaatioiden osalta synteesin tekotavalla näyttäisi olevan

jonkin verran vaikutusta. Vaihtelua oli myös päinvastaiseen suuntaan, eli joskus perustaajuudeltaan vaihteleva näyte voitiin arvioida keskimäärin useammin samanlaiseksi.



Kuva 23. Äänenvärien arvioiden moodit molemmista synteeseistä vakiokorkeussynteessin arvojen mukaisessa järjestyksessä (1=samanlainen, 2=jossain määrin samanlainen, 3=erilainen)

Kuuntelijat ovat arvioineet imitoinnin äänenväriä useimmin imitoitavan alkuperäisen kanssa samanlaisiksi vakiokorkeussynteeseissä, eli äänenkorkeuden pysyessä samalla tasolla kaikissa näytteissä. Vakiokorkeussynteeseissä äänenväriä suhteiden useimmin samanlaisiksi arvioitiin Paavolan, tenorin, baritonin, Fagerholmin ja Wessmanin imitoinnit. Useimmin erilaiseksi äänenväriä taas arvioitiin Ahtisaari-, radioesitelmöijä- ja Ilaskivi-imitaatioissa.



Kuva 24. Äänenlaadun arviointien moodit molemmista synteesiääniosioista vakiokorkeussynteessin arvojen mukaisessa järjestyksessä (1=samanlainen, 2=jossain määrin samanlainen, 3=erilainen)

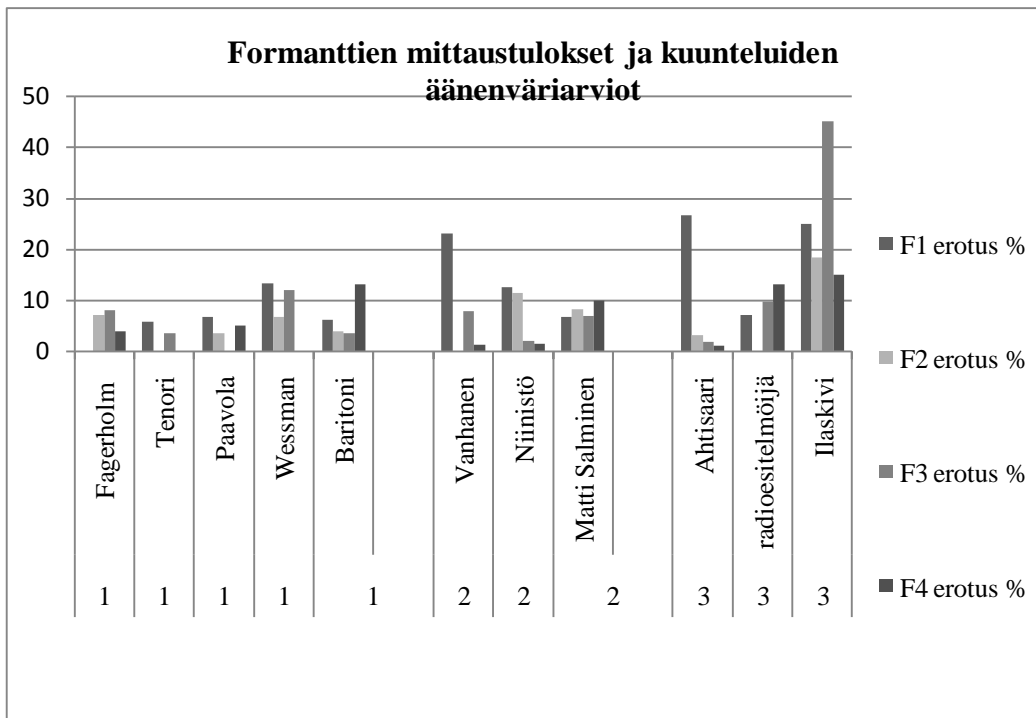
Synteesinäytteiden äänenlaatujen arvioinneissa (kuva 24.) eroa oli myös jonkin verran sen suhteen oliko mukana puhekorkeuden muutosta vai ei. Vakiokorkeussynteesin näytteet, joissa puhekorkeuden muutosta ei ollut, oli äänenlaadunkin suhteen arvioitu useammin samanlaiseksi, kuin synteeseissä, joissa puhekorkeus muuttui.

5.3 Vertailua akustisten mittausten ja kuuntelutulosten välillä

5.3.1 Formantit ja äänenväriarviot

Kuuntelutuloksista ja akustisista mittauksista tutkittiin tilastollista riippuvuutta korrelaation avulla. Äänenväriarvioita verrattiin imitoitavan ja imitoidun äänen formanttien erotuksiin. Myös formanttien eroja prosentteina verrattiin kuunteluiden vastausten kanssa. Korrelaatiota näiden välillä ei löytynyt (liite 7).

Kuvassa 25. näkyvät imitoitavan ja imitoidun äänen formanttien erotukset prosentteina. Lisäksi kuvassa näkyvät annetut äänenväriarviot synteettisissä näytteissä, joissa F_0 oli sama. Visuaalisesti kuvasta tarkasteltuna näyttää siltä, että kuullulla äänenvärillä ja sillä, kuinka lähelle imitaattori pääsee imitoitavaa ääntä formanttien suhteen, olisi yhteyttä toisiinsa. Fagerholmin imitoinnissa, mikä on arvioitu useimmin samanlaiseksi äänenväriin suhteen, formanteissa on suurimmillaan vain alle 10 prosentin ero imitoitavaan alkuperäiseen verrattuna. Jos taas äänenväri on arvioitu erilaisemmaksi, formanttien prosentuaaliset erotkin ovat usein suurempia. Eroa formanttien välillä on usein vain yhdessä tai muutamassa formantissa tai joissain tapauksissa eroa on jonkin verran kaikissa tai lähes kaikissa formanteissa. Kun tarkasteltiin äänenväriin kuuntelutuloksia ja formanttien taajuuseroja (F_1-F_2 , F_2-F_3 ja F_3-F_4), systemaattista yhteyttä mittaustulosten välillä ei havaittu.

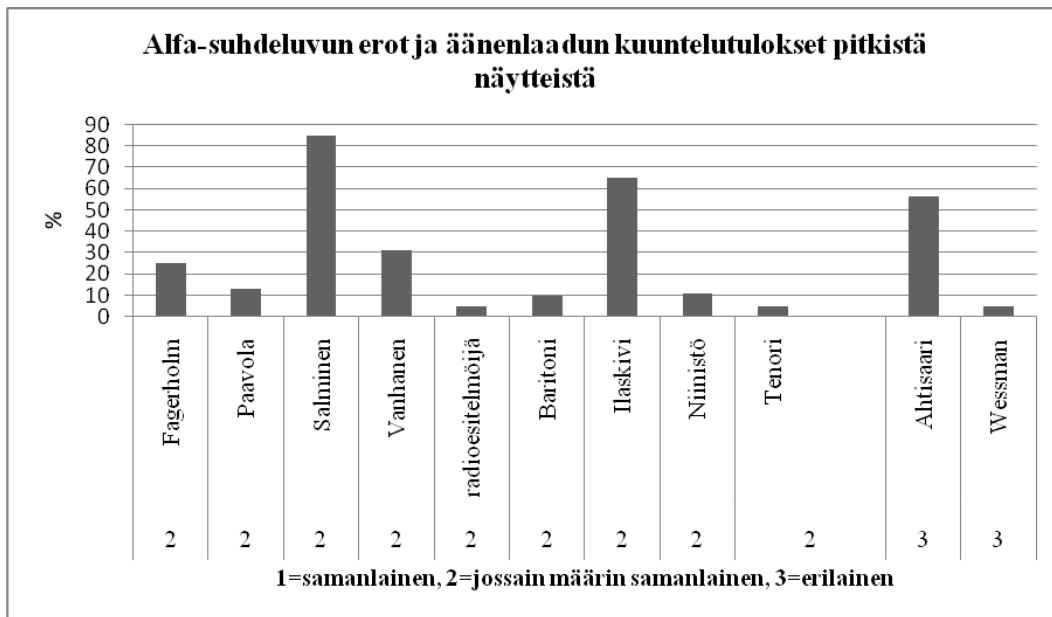


Kuva 25. Formanttitulokset ryhmiteltyinä kuuntelusta saatujen vakiokorkeussynteesin äänenväriin vastausten moodin mukaan (1=samanlainen, 2=jossain määrin samanlainen ja 3=erilainen)

5.3.2 Alfa-suhdeluku ja äänenlaatuarvot

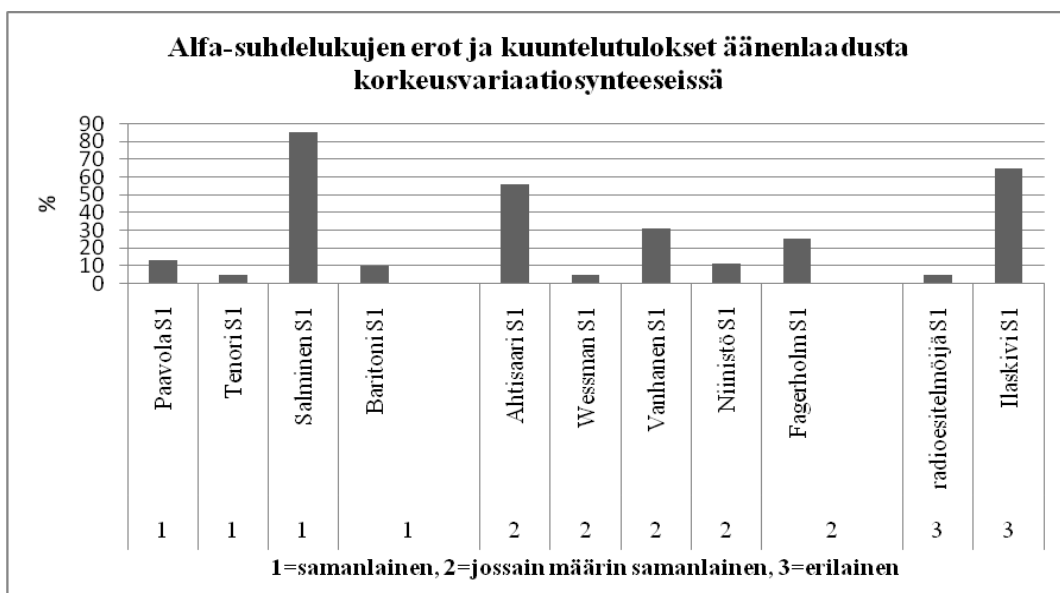
Pitkien- ja synteettisten näytteiden äänenlaadun arvioiden ja mitatun alfa-suhdeluvun erotuksen (imitaatio-imitoitava) välillä ei tilastollisesti tarkasteltuna löytynyt korrelaatiota (liite 7). Äänenlaatu arvioitiin pitkissä näytteissä harvoin samanlaiseksi imitoitavan kanssa. Useimmiten se arvioitiin jossain määrin samanlaiseksi. Ahtisaaren ja Wessmanin imitoinnit arvioitiin useimmin tutkimuksessa olevista hahmoista erilaisiksi äänenlaadun osalta.

Visuaalisesti tarkasteltuna alfa-suhdeluvun imitaation ja imitoitavan äänen erotuksen prosenttiluvulla ei myöskään vaikuta olevan systemaattista yhteyttä äänenlaadun kuulohavaintoihin. (Kuva 26.)



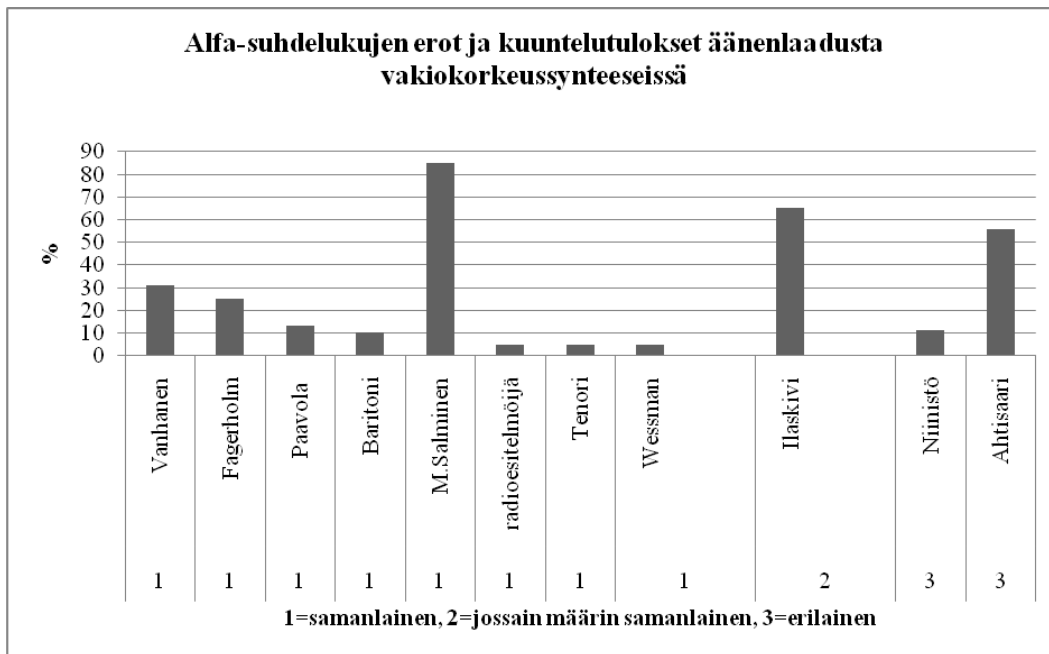
Kuva 26. Pitkien näytteiden kuunteluarviot (vaakasuunnassa 1-3) äänenlaatu-erilaisuudesta suhteessa mitattuihin alfa-suhdelukujen eroihin (%) imitaatioissa ja imitoitavassa näytteessä

Systemaattista yhteyttä alfa-suhdeluvun mittausten ja äänenlaadun kuuloarvioiden välillä ei näytä olevan visuaalisesti tarkasteltuna myöskään korkeusvariaatio-synteseistä annettujen äänenlaadun arvioiden ja alfa-suhdeluvun mittaustulosten välillä (kuva 27.).



Kuva 27. Kuunteluarviot (vaakasuunnassa 1-3) äänenlaatu-erilaisuudesta suhteessa mitattuihin alfa-suhdelukujen eroihin (%) imitaatioissa ja imitoitavissa alkuperäisissä äänissä joiden perustaajuutta ei oltu vakioitu

Lähes sama tulos voidaan nähdä vakiokorkeussynteesiäänien äänenlaadun arvioiden kuvassa 28. Vakioidun korkuiset synteettiset imitaationäytteet arvioitiin kuitenkin hyvin usein äänenlaadultaan samanlaisiksi imitoitavan alkuperäisen äänen kanssa. Useimmin samanlaisiksi arvioitujen näytteiden ryhmässä alfa-suhdelukujen erotus näyttää myös useimmiten olevan melko pieni.



Kuva 28. Kuunteluarviot (vaakasuunnassa 1-3) äänenlaatuisten samanlaisuudesta-erilaisuudesta suhteessa mitattuihin alfa--suhdelukujen eroihin (%) imitaatioissa ja imitoitavissa alkuperäisissä äänissä joiden perustaaajuus oli vakioitu

6 Pohdintaa

6.1 Imitointi

Kuten johdannossa todettiin, jokainen ihminen osaa jossain määrin imitoida toista puhujaa. Puheen oppiminen lapsena perustuu sekä muiden että oman puheen havainnointiin kuulo- ja näköaistin avulla. Kuunneltuaan toisia puhujia noin vuoden ajan lapsi yrittää imitoida kuulemaansa. Tämän jälkeen hän pyrkii toistamaan niitä imitaatioita, jotka toiset ovat ymmärtäneet. (Machlin 1992; Fisher 1975).

Tätä matkimiskykyä käytetään hyväksi myös äänenkäytön koulutuksessa. Sekä opettajalle että oppilaalle on tärkeää opetella kuulemaan äänestä erilaisia piirteitä. Opettajat antavat koulutustilanteen ääniharjoituksissa oppilaalle ääni- ja puhemalleja. Oppilaan tulisi matkia niitä ja pyrkiä hakemaan malleista kuultuja positiivisia piirteitä myös omaan tuotokseensa. Oppilas voi myös kuunnella omaa äänitettyä puhettaan seurataksaan edistymistään ja analysoidakseen omaa puhettaan (Laukkanen & Leino 2001; Machlin 1992). Machlin (1980) kehottaa myös kuuntelemaan esimerkiksi hyviksi luonnehdittujen puhujien puhetta ja hakemaan näistä esimerkkiä itselleen kantavaa lavapuhetta opetellessa. Toisella kuulonerottelukyky voi kuitenkin olla parempi kuin toisella ja jotkut havaitsevat erilaiset piirteet helpommin. Voi olla, että myös imitoinnin kyky on tästä syystä toisilla parempi kuin toisilla.

6.2 Huomioita äänitysvaiheesta

Tämän tutkimuksen äänitysvaiheessa imitaattori luki imitoitavia tekstejä ensin omana itsenään, luontaisella puheäänellään ja –tavallaan. Tällöin voitiin jo huomata, että luettavassa tekstissä, joka oli siis imitoitavan henkilön alkuperäistä puhetta, oli tiettyjä persoonallisia piirteitä, joita imitoitavalla henkilöllä on ja joista imitoitava henkilö saattoi olla jonkinasteisesti tunnistettavissa. Murre, puhetyyli tai sanavalinnat itsessään voivat olla jo leimaava tekijä julkisuuden henkilön puheessa.

Äänitystilanteessa huomioitavaa oli myös se, että imitaattori muuttaa jokaisen imitoitavan hahmon kohdalla selvästi myös kasvojensa ilmettä. Aubergé ja Cathiard (2003) ovat havainneet, että

huvittuneisuus tai hilpeys äänessä on mahdollista erottaa sekä kuulon perusteella että akustisilla mittauksilla. Tutkimuksessa kuuntelijat pystyivät jopa erottamaan spontaanin hymyn mekaanisesti muodostetusta hymystä. Hymy on kuultavissa myös puheen prosodiassa. Myös Tartter ja Braun (1994) ovat päätyneet siihen, että kuuntelijat voivat ilman erityistä koulutusta havaita kasvonilmeet puheesta. Kasvonilmeiden tunnistamiseen ei näyttäisi olevan välttämätöntä kuulla F0-muutosta, vaan kuuntelijat tunnistavat jollain tasolla kasvonilmeiden akustisen ilmentymän, joka vaikuttaa ääntöväylään. On myös todettu, että huulten vetäminen hymyyn vaikuttaa nostavasti toiseen formanttiin ja huulten eteenpäin työntäminen paheksuvassa ilmeessä laskevasti. Voidaan siis olettaa, että imitaattorin muuttaessa kasvojensa ilmettä, hän muuttaa samalla artikulaatiotaan ja oletettavasti sitä kautta ääntöväylän asetuksia, mikä taas vaikuttaa formantteihin ja äänenväriin.

6.3 Formantit

Yleensä ottaen kaikkia formanttien muutoksia tarkasteltaessa voidaan huomata, että imitaattorin on mahdollista jossain määrin muuttaa imitoinnissa formanttien taajuuksia tarpeen mukaan korkeammalle tai matalammalle taajuudelle ääntöväylän asetusten avulla. Tilastollisesti merkitsevää eroavaisuutta voitiin huomata vain imitaattorin oman äänen ja imitoidun äänen välillä ensimmäisessä formantissa. F1 nousee neljässä imitoinnissa jonkin verran korkeammalle kuin imitoitavassa äänessä ja selvästi korkeammalle kuin imitaattorin omassa äänessä. Erot voivat selittyä sillä, että imitaattori laskee imitoidessaan usein alaleukaa ja kieltä ja suuontelon tilavuus lisääntyy, mikä nostaa F1-formanttia. Leuan liikkeellä voi olla suuri vaikutus äänenväriin ja tietynlaisen artikulaation muodostumiseen.

F2-formanttiin vaikuttavat eniten kielen liikkeet. Tämän formantin taajuudet näyttävätkin tämän tutkimuksen mukaan olevan helpommin muutettavissa. Nolanin (1983) mukaan puhujalla on monia keinoja muuttaa ääntään jopa tiedostamattaan. Muutos voidaan tehdä nostamalla tai laskemalla kurkunpäättä, nasaalistamalla tai denasaalistamalla ääntä ja muuttamalla äänenlaadun piirteitä, kuten adduktioastetta. Toisen formantin ollessa kyseessä muutos Nolanin mukaan olisi luultavasti puheen nasaalisuuden asteessa.

Kolmanteen formanttiin vaikuttavat kielen selän ja kielenkärjen liikkeet artikulaatiossa. Palataalinen ääntö, jossa kielen selkä koskettaa kovaa kitalakea esimerkiksi laskee F3:a. Dentaalinen ääntymäpaikka taas voi nostaa F3:a. Kielen kärjen koskiessa kovaan kitalakeen (retrofleksiivinen

ääntymäpaikka) F3 on myös matala. (Fant 2004.) Neljänteen formanttiin vaikuttavat kielen takaosan liikkeet, mutta myös kurkunpään liike. Vaikuttaa siltä, että imitaattori pystyy muuttamaan näitä formantteja (F3 ja F4) jonkin verran, mutta eroavaisuudet ovat imitaation ja imitoitavan äänen välillä joskus hyvin suuria erityisesti kolmannen formantin ollessa kyseessä. Kurkunpään liike, joka vaikuttaa erityisesti neljänteen formanttiin, voi olla hankalaa tehdä hyvin pienesti. Kun kurkunpäättä liikutetaan ylös tai alas, formanttitaajuuksiin voi helposti tulla suuriakin muutoksia. On kuitenkin muistettava, että imitaatioon kuuluu olennaisena osana myös liioittelu, joten neljännen formantin suuri muutos voi olla jossain tapauksissa jopa tavoiteltua.

Vokaali-imitoinneista tenorin imitaatiossa imitaattorin formantit olivat lähempänä imitoitavan äänen formantteja kuin baritonin imitoinnissa. Asiaan saattoi vaikuttaa se, että imitaattori kuuli tenorin puhetta pidemmän aikaa ennen imitoimista ja pystyi omaksumaan tenorin puhetyylin paremmin. Toisaalta myös tenorin ääni oli imitaattorille ennestään tutumpi.

On mahdollista, että imitaattorin oman äänen - ja imitoitavan henkilön äänen värit ovat jo lähtökohtaisesti hyvin samanlaisia, jolloin äänenväri arvioidaan usein samanlaiseksi ja myös formanttitaajuudet ovat hyvin lähellä toisiaan. Tällöin imitaattorin ei tarvitse paljon muuttaa artikulaatiota. Voi olla, että imitoinnin formanttitaajuudet saadaan myös helpommin imitoitavan äänen formanttitaajuuksien tasolle jos imitaattorin oma ja imitoitavan henkilön keskimääräinen puhekorkeus ovat hyvin samalla tasolla. Esimerkiksi Fagerholmin alkuperäisen äänen keskimääräinen puhekorkeus (112 Hz) on vain hieman matalammalla tasolla kuin imitaattorin oma (114 Hz) puhekorkeus ja formanttitaajuudet osuvat melko lähelle toisiaan imitoitavassa ja imitoidussa äänessä (ks. kuva 10).

Formantteja tutkittiin myös siten, että niiden taajuuserot laskettiin ja verrattiin näitä lukuja eri näytteiden väleillä. Tuloksista voidaan päätellä, että välimatkat ovat usein imitaatiossa hyvin samanlaiset kuin imitoitavassa äänessä, vaikka eroa samalla on imitaattorin oman äänen formanttien välimatkaan jonkin verran. Esimerkiksi imitoidussa Ahtisaaren äänessä formanttien taajuuserot olivat lähellä imitoitavan äänen formanttien taajuuseroja. Imitaatioissa perustaajuus ja formantit olivat kuitenkin korkeammalla taajuudella. Jotta saataisiin selville suhteellinen ero, joka ottaa huomioon millä taajuusalueella mitattu alue on, formanttien taajuuseroja pitäisi paremminkin verrata Bark-asteikon avulla. Bark-asteikko perustuu laajoihin psykoakustisiin kokeisiin ja vastaa paremmin kuulovaikutelmaa ja näin ollen kertoo mahdollisesti suurempaan formanttien vaikutuksista äänenväriin. (Suomi 1990.)

6.4 Alfa-suhdeluku ja formantit

Alfa-suhdeluvulla haetaan yleensä äänenlaadun piirteitä kurkunpään tasolla, eli äänihuulten adduktioastetta. Spektrissä alle 1000 Hertsin alueelle voi osua joko ensimmäinen tai kaksi ensimmäistä formanttia. Muutamien imitointien spektreissä oli selvästi enemmän äänienergiaa spektrin korkeammilla taajuusalueilla kuin toisissa. Alfa-suhdelukuun voi vaikuttaa se, onko toinen formantti rajan korkeammalla vai matalammalla puolella.

Formanttien etäisyys toisistaan vaikuttaa formanttien intensiteettiin. Kun formanttien taajuuserot pienenevät, niiden amplitudihuiput ja laakso formanttien välissä nousevat. Mikäli kaksi formanttia tulee liian lähelle toisiaan, niiden huiput voivat kadota näkyvistä ja sen sijaan yhdistyä yhdeksi spektrissä havaittavaksi huipuksi. (Fant 1970.)

Matti Salmisen imitoinnissa äänen spektrin voidaan alfa-suhdeluvun perusteella päätellä laskevan voimakkaammin kuin imitoitavan äänen spektrin, mikä voisi viitata hypofunktionalisempaan ääntötapaan. Muutoksessa voi kuitenkin olla myös takana resonanssin muutos, sillä samalla huomataan, että toinen formantti on imitaatiossa korkeammalla taajuudella (yli 1000 Hz) kuin imitoitavassa äänessä. Imitoitavassa äänessä se on lähempänä 1000 Hz (Kuva 9.). Lisäksi Matti Salmisen alkuperäisen puheen F1 ja F2 ovat selvästi lähempänä toisiaan taajuusasteikolla, mikä voi vaikuttaa siihen, että alle 1000 Hz alueelle tulee vahva amplitudi näistä toisiaan vahvistavista formanteista. Imitoinnissa alle 1000 Hertsin alueella on vain vähän äänienergiaa, sillä toinen formantti on kauempana ja tuon raja yläpuolella.

Fantin (1970) low-pass filter -periaatteen mukaan muutos formantin taajuudessa vaikuttaa myös formantin intensiteettiin. Jokainen formantti toimii ikään kuin low-pass -filterinä seuraavalle formantille. Mitä korkeammalla taajuudella F1 on, sitä voimakkaammiksi intensiteetiltään tulevat ensimmäistä formanttia korkeammalla taajuudella olevat formantit. Oletettavasti tämä muutos vaikuttaa myös alfa-suhdelukuun spektrin amplitudiarvojen kasvaessa.

Mittauksia tarkastellessa voitiin havaita, että alfa-suhdeluvun eron kasvaessa imitoitavan ja imitoidun äänen välillä myös näytteistä mitatut formanttien erot kasvoivat usein. Esimerkiksi imitoidussa Ilaskiven äänessä alfa-suhdeluku on selvästi suurempi verrattuna imitoitavan äänen alfa-suhdelukuun. Imitoidussa äänessä myös keskimääräinen puhekorkeus sekä formantit ovat selvästi korkeammalla taajuudella. Useimmiten alfa-suhdeluvun ollessa samalla tasolla

imitoitavassa ja imitoidussa näytteessä, myös formanttitaajuudet osuivat lähes samoille korkeuksille. Formanttien ja spektrin kaltevuuden välillä näyttäisi siis olevan yhteneväisyyttä. Voi olla, että ainakaan kaikissa alfa-suhdelukujen vertailutapauksissa äänentuotto ei muutu glottistasolla tiiviimmäksi tai löyhemmäksi, vaan osa alfan kasvusta voi johtua resonanssimuutoksista.

6.5 Perustaajuus

Kaikkien hahmojen perustaajuutta on varmasti haasteellista tavoittaa silloin, kun perustaajuudet eivät osu imitaattorin äänialan alueelle. Toisaalta tutkimuksen imitaattori kuitenkin pystyy muuttamaan sävelkorkeutta hyvinkin laajalla skaalalla, sillä hänen repertoariinsa kuuluu myös eri äänialan omaavien laulajien hahmoja. Imitaattori onkin itse arvioinut, että musikaalisuus voi olla yksi tekijä, mikä vaikuttaa hyvään imitoimisen kykyyn (Salminen 2006). Joissakin tutkimuksen imitoitavissa alkuperäisissä äänissä keskimääräinen F0 on kuitenkin hyvin lähellä imitaattorin omaa puhekorkeutta, kuten esimerkiksi Matti Salmisen äänessä. Tällöin imitaattorin omaan puhekorkeuteen ei tarvitse tehdä suurta muutosta imitoinnissa.

Baritonin ja tenorin perustaajuuksien keskiarvot ovat lähes samalla tasolla imitoidussa kuin imitoitavassa äänessä. Tosin nämä näytteet ovat selvästi lyhyempiä muihin näytteisiin verrattuna, joten imitaattorin lienee helpompi poimia puhekorkeus imitoidessaan. Muissa näytteissä puhekorkeus vaihtelee kuitenkin melko paljon noin minuutinkin pituisen puheen aikana.

Watts ja Hall (2008) ovat myös todenneet, että ihmisen on helpompi päästä samaan puhekorkeuteen sellaisen äänen kanssa, missä äänenväri on samantapainen imitoijaan verrattuna. Äänenväri ja äänenkorkeus ovat siis riippuvaisia toisistaan. Tämän perusteella tietyissä näytteissä äänenväriin ollessa samantapainen myös puhekorkeus on mahdollista saada helpommin samalle tasolle imitoitavan puheen kanssa. Näin voi olla esimerkiksi Paavolan imitaatiossa, jossa imitaation puhekorkeus osuu lähes samalle tasolle imitoitavan äänen kanssa. Paavolan imitaation äänenlaatu ja äänenväri on myös kuunteluissa arvioitu useimmiten samanlaiseksi verrattuna imitoitavaan ääneen.

6.6 Kuuntelut

Äänenlaatua vaikutti olevan hankalaa arvioida kuuntelijoiden mielestä, vaikkakin he olivat usein hyvin samanmielisiä vastauksissaan. Imitoidut korkeusvariaatiosynteesit ja pitkät näytteet arvioitiin

vain harvoin samanlaisiksi imitoitavan näytteen kanssa. Huomattavasti useammin samanlaisiksi arvioitiin vakiokorkeussynteessin näytteiden äänenlaadut. Vakiokorkeussynteessien näytteissä, joissa imitoinnin äänenlaatu oli arvioitu samanlaiseksi imitoitavan kanssa, myöskään alfa-suhdelukujen ero ko. näytteiden välillä ei ollut kovin suuri. 5/8 samanlaisiksi arvioituissa äänissä alfa-suhdelukujen ero pysyi alle 15 %. Tulosten perusteella voidaan olettaa, että perustaajuuden muutos vaikuttaa äänenlaadun havaitsemiseen tai ainakin jonkinlaista yhteyttä näiden välillä on havaittavissa. Pelkästä formanttien muutoksesta arvioitu äänenlaatu on kuitenkin hieman ristiriitaista, sillä formanttien muutoksen sinänsä ei pitäisi vaikuttaa äänihuulten adduktioasteeseen, vaan kertoa vain resonanssi-ilmioistä, joka syntyy ääntöväylän supraglottaalisella alueella.

Pitkien tekstinäytteiden kuuntelussa annetut arviot äänenlaadusta olivat useimmiten arvioitu jossain määrin samanlaisiksi. Kuitenkin, esimerkiksi Paavolan imitaatio on arvioitu lähes aina samanlaiseksi imitoitavaan ääneen verrattuna. Paavolan ääni on selkeästi huokoisempi kuin useilla muilla kohdeäänillä. Paavolan imitointinäytteestä myös muut ominaisuudet on usein arvioitu samanlaiseksi imitoitavaan ääneen verrattuna. Voi olla, että äänenlaadun osuessa kohdalleen myös muut ominaisuudet on helpompi saada imitaatiossa samalle tasolle tai vastaavasti muiden ominaisuuksien (äänenväri, artikulaatio, puhekorkeus) ollessa samalla tasolla myös äänenlaadun samalle tasolle saaminen on helpompaa.

Kompleksisten äänten perustaajuuden kuulemisen kaksi yleisintä teoriaa ovat temporaalinen - ja kaavantunnistusteoria. Molemmissa matalimman osasävelen alapuolella olevien perustaajuuteen liittyvien sävelten on todettu vaikuttavan perustaajuuden havainnointiin. Kaavantunnistusteoriaa tukee löytö, että matalat osasävelet dominoivat puhekorkeuden havaintoa. Temporaalinen teoria perustuu siihen, että heikot sävelkorkeudet voidaan havaita myös, vaikka osasävelet ovat niin lähellä perustaajuutta, että niitä ei voida erottaa toisistaan. Sävelkorkeus on mahdollista havaita myös vaikka spektrin rakenne on epäselvä. (Moore 2003.) Myös tämän tutkimuksen perusteella vaikuttaisi siltä, että kuunteluissa puhekorkeudella ja äänenvärillä on selvä yhteys toisiinsa. Voi olla, että mikäli puhekorkeus ei imitaatiossa ole lähellä imitoitavan äänen puhekorkeutta, äänenväri saatetaan arvioida useammin erilaiseksi, kuin silloin jos puhekorkeus olisi enemmän samalla tasolla. Tämä on havaittavissa myös siinä, että synteessien arviot erosivat toisistaan sen mukaan oliko näytteissä eroa perustaajuudessa vai ei - puhekorkeuden eron puuttuessa imitaatio arvioitiin useammin samanlaiseksi.

Ominaisuuksien arviot vaihtelivat näytteittäin ja voidaankin todeta, että esimerkiksi äänenväri ei ole ainoa tekijä, joka vaikuttaa imitaation vakuuttavuuteen, vaan imitaatiossa on kyse monen ominaisuuden kokonaisuudesta.

6.7 Formanttien ja kuulohavainnon suhde

Vaikuttaa siltä, että tietyn formanttitaajuuden täsmääminen imitoinnin ja imitoitavan alkuperäisen äänen välillä ei ole äänenvärielle ratkaiseva tekijä. Tosin, joissakin tapauksissa suuri ero jonkin tietyn yksittäisen formanttitaajuuden suhteen voi vaikuttaa siihen, että imitaation äänenväri arvioidaan useammin erilaiseksi. Näyttää myös siltä, että useimmin erilaisiksi arvioituissa näytteissä useat formantit eroavat imitaatiossa ja imitoitavassa äänessä toisistaan jonkin verran. Eniten samanlaisiksi arvioituissa äänissä kaikkien verrattavien formanttitaajuuksien erot ovat pienet. Vaikuttaa siltä, että mikäli yksittäinen formantti eroaa suuresti verrattavasta formantista, imitoitinäytteen äänenväriä ei yleensä arvioida samanlaiseksi imitoitavaan verrattuna. Myös jos kaikki formantit eroavat jonkin verran verrattavista formanteista, imitoinnin äänenväri arvioidaan usein erilaiseksi imitoitavaan alkuperäiseen ääneen verrattuna.

6.8 Tutkimuksen arviointia

Tutkimukseen valittiin imitaatiot, jotka tutkijan mielestä olivat hyvin onnistuneita äänenväriin osalta. Tässä tutkimuksessa ei painotettu esimerkiksi artikulaation osuutta imitaatioiden valinnassa, mikä sekin voisi olla hyvä vaihtoehto, kun otetaan huomioon, että imitaatio voi usein pohjautua esimerkiksi tietyn artikulaatiopiirteen liioitteluun (Zetterholm 2002). Samasta aineistosta voitaisiin luultavasti poimia myös tällä tavoin rakennettuja hahmoja.

Tässä tutkimuksessa on otettava huomioon, että formantit on laskettu pitkän tekstin yhden sanan a-vokaalista. Vaikka valittujen äänneiden formanttitaajuuksien vertailussa olisi suuriakin eroja, voi silti olla, että imitoinnin muissa kohdissa erot voivat jäädä pienemmiksi. Myös äänneen pituus voi vaikuttaa erityisesti toiseen formanttiin (Suomi 1990). On mahdollista, että imitoitu äänne on ollut lyhyempi tai pidempi kuin imitoitavasta alkuperäisestä puheesta poimittu vastaava äänne.

Vokaali-imitoinneista valittiin tarkasteltavaksi lause, jossa a-vokaali oli viimeinen sana lauseessa: ”Tämä on a”. Tulos olisi voinut olla erilainen jos näytteeksi olisi valittu pelkkä vokaalin

toistaminen ilman lauseyhteyttä. Tällöin imitaattorin saama informaatio imitoitavasta äänestä jäisi huomattavasti vähäisemmäksi. Tässä tutkimuksessa imitaattori sai kuulla imitoitavaa ääntä ainakin noiden yksinkertaisten lauseiden verran, joten pelkkää vokaalin toistamista ei mitattu tässä tapauksessa. Jatkotutkimuksissa olisikin mielenkiintoista analysoida vain ja ainoastaan pelkän vokaaliäänteen imitoimista ilman, että imitaattori saa kuulla imitoitavan puhujan pidempää äänenkäyttöä. Tuolloin voidaan tutkia vielä tarkemmin formanttien hallintaa ja äänenväriin muuttamisen mahdollisuutta pienen vihjeen perusteella.

Jotkut kuuntelijoista antoivat palautetta kuuntelun toteuttamisesta. Muutamit olisivat toivoneet pitkien tekstinäytteiden olevan pidempiä ja jotkut taas olisivat halunneet niiden olevan lyhyempiä. Kuunteleminen oli muutamien mielestä aluksi vaikeampaa ja helpottui loppua kohti. Monen mielestä tällaisessa tehtävässä tulee helposti liian kriittiseksi kuuntelijaksi ja voi arvioida jopa hyvin tunnistettavaa imitaatiota erilaiseksi imitoitavaan verrattuna. Puheen rytmin olisi toivottu olevan lisäksi arvioitavana ja asteikko olisi joidenkin mielestä voinut olla viisiportainen tämänhetkisen kolmeportaisen sijaan. Joidenkin kuuntelijoiden oli vaikea päättää hakeeko äänistä eroja vai samankaltaisuuksia ja tämä saattoi heidän mielestään vaikuttaa vastauksiin. Yleensä ottaen tehtävä tuntui olevan haastava jopa paljon erilaisia ääniä arvioineelle kuulijajoukolle.

Tutkimuksen korkeusvariaatiosynteeseissä käytettiin vaihtuvana ominaisuutena koko tekstin perustaajuuksien keskiarvoa. Tämä ei kuitenkaan täysin vastaa sitä, mikä mahdollinen yhden tietyn vokaalin F0 voisi olla. Perustaajuus olisi enemmän kannattanut laskea aina tietystä yksittäisestä vokaalista. Poimittu [a:] - vokaali voi hyvinkin olla eri taajuudella kuin keskimäärin koko tekstin äänteet. Toisaalta on myös epätodennäköistä, että pitkässä tekstissä yksittäinen äänne osuisi juuri samalle äänenkorkeudelle imitoitavan puheen kanssa. Korkeusvariaatiosynteesien tarkastelu on kuitenkin jätetty tässä työssä hieman vähemmälle huomiolle ja sen sijaan on keskitytty siihen, mitä arvioita vakiokorkeussynteesiäänistä on saatu. Tämä valinta on ollut luonnollista siksi, että kuunteluissa vakiokorkeussynteesiäänit arvioitiin useammin samanlaisiksi kohdeäänien verrattuna kuin synteeseissä, jossa oli perustaajuuden muutosta.

Synteesiäänissä kuuntelijoita pyydettiin arvioimaan sekä äänenväriä että äänenlaatua. Työtä tehtäessä harkittiin pelkän äänenväriin tutkimista tässä tapauksessa, mikä sinänsä olisi voinut olla ainakin kuuntelutehtävää helpottava asia. Periaatteessa pelkkien formanttien muuttuminen äänessä ei vaikuta äänenlaatuun mikäli äänenlaaduksi lasketaan vain äänihuulten adduktioaste. Kuitenkin kuuntelijat kuulivat jonkinlaista vaihtelua myös äänenlaadullisissa piirteissä. Mahdollisesti

formanttien amplitudi ja etäisyys toisistaan voi vaikuttaa kuulohavaintoon siten, että äänestä tulee kireämmän tai huokoisemman kuuloinen. Tällöin kyseessä on kuitenkin vain akustinen ilmiö, eikä fyysisesti kireyttä kurkunpäässä ole sen enempää eikä vähempää. Tulosten perusteella imitaattori pystyy mahdollisesti tekemään äänenlaadullisten piirteiden muutoksia sekä resonanssin että kurkunpään adduktioasteen muutoksella.

6.9 Tutkimuksen yhteenvetoa

Tulosten mukaan imitaattorin on mahdollista saada formantit mukautettua imitoitavan alkuperäisen äänen formanttitaajuuksien suuntaan ja selvästi tämä on yksi keino, jolla tässä tutkimuksessa koehenkilönä oleva imitaattori hakee imitoitavien äänien vakuuttavuutta. Tilastollisesti merkitsevä ero löytyi ensimmäisen formantin osalta verrattaessa imitaattorin omaa ääntä ja imitoitavaa ääntä. Puhekorkeuden ja äänenvärin suhde toisiinsa vaikuttaa olevan merkittävä asia siinä, kuinka imitaattori kykenee tuottamaan tietyn sävelkorkeuden tai äänenvärin ja myös siinä, miten kuulijat arvioivat näitä ominaisuuksia imitaatiossa. Endresin, Bambachin & Flösserin (1970.) havainnon mukaan erityisesti kolme ensimmäistä formanttia ovat helpoimmin hallittavissa, mutta äänenväri ei ole ainoa tekijä äänen muuttamisessa toisen äänen kaltaiseksi. Tässä tutkimuksessa kolmannessa formantissa oli kuitenkin useammin eroavaisuutta imitaation ja imitoitavan välillä, mutta ensimmäinen, toinen ja neljäs formantti eivät eronneet suuresti. Äänenväri havaitaan erilaiseksi, mikäli jokin formantti eroaa suuresti imitoitavan äänen formantista tai vaihtoehtoisesti moni formantti eroaa jonkin verran. Imitaatioiden alfa-suhdeluku ei muuttunut systemaattisesti imitoitavan äänen alfa-suhdeluvun suuntaan. Erot imitoidun äänen ja imitoitavan alkuperäisen äänen välillä olivat F0-keskiarvoissa 0-39 %, F1-formanteissa 0-27 %, F2-formanteissa 0-18 %, F3-formanteissa 0-45 %, F4-formanteissa 0-15 % ja alfa-suhdeluvuissa 5-85 %.

Imitaatio on monitahoinen ilmiö eikä voida suoraan sanoa, mikä äänen ominaisuus lopulta on ratkaiseva imitaation vakuuttavuuden kannalta. Zetterholmin (2002) mukaan imitoinnin kuulohavainnon kannalta kaikkien äänen ja puheen piirteiden muuttaminen samanlaiseksi imitoitavan äänen kanssa ei ole oleellista vaan kyse voi olla myös jonkin yksittäisen ominaisuuden painottamisesta. Jatkotutkimuksissa kuuntelulomakkeelle voitaisiinkin lisätä myös imitaation samanlaisuuden arvio kokonaisuudessaan, jolloin ikään kuin laitettaisiin imitointinäytteet paremmuusjärjestykseen. Tätä järjestystä voitaisiin verrata akustisista mittauksista saatuihin - ja kuuntelun muihin tuloksiin ja tarkastella, onko parhaimmat arvosanat saaneilla näytteillä jokin imitoidusta äänestä mitattu ominaisuus erityisen lähellä imitoitavan äänen vastaavaa ominaisuutta. Tällöin päästäisiin paremmin selville siitä, onko jokin tietty ominaisuus lopulta toista ratkaisevampi tekijä imitoinnin vakuuttavuuden luomiseksi ja kuinka nämä ominaisuuksien painotukset mahdollisesti vaihtelevat eri imitaatioiden ollessa kyseessä.

Jatkossa voisi ottaa mukaan myös imitaattorien haastattelua, jolla voisi selvittää tarkemmin, kuinka tietoinen imitaattori itse on tekemistään muutoksista ääntöväylässä ja kehossa. Myös tieto imitaation harjoitusmetodeista ja imitaattorin itsensä havaitsemista asioista imitoinnin onnistumisessa tai ongelmassa voisi olla merkityksellistä imitaatiotutkimuksen kannalta.

Tässä tutkimuksessa saatiin selville, että äänenväri kuullaan erilaisena mikäli imitoidun äänen yksittäinen formantti eroaa imitoitavan äänen vastaavasta formantista tai useissa formanteissa on jonkin verran eroa. Jatkossa äänen syntetisointia voisi käyttää hyväksi siten, että muutetaan ainoastaan yhtä formanttia kerrallaan ja tarkastellaan sen aiheuttamia muutoksia kuulohavaintoon. Tällä keinolla voitaisiin selvittää myös tarkemmin sitä, kuinka paljon yksittäisessä formantissa täytyy olla eroa toiseen verrattuna, että äänenväri kuullaan erilaisena.

Formanttien välimatkojen eroa ja yleensä formanttien vaikutusta kuulohavaintoon voisi selvittää vielä lisää niin, että laskettaisiin formanttien amplitudit ja tehtäisiin myös elektoglottografia (EGG) –mittaus. Tällöin saataisiin selville, milloin spektrin muutoksissa on kyse glottaalisesta toiminnasta ja missä määrin artikulaatio ja formantit voivat vaikuttaa spektrin kaltevuuteen ja sitä kautta kuulohavaintoon.

LÄHTEET

Aubergé, V. & Cathiard, M. Can we hear the prosody of smile? *Speech Communication* 2003;40(1-2):87-97.

Baken, R.J. & Orlikoff, R.F. *Clinical Measurement of Speech and Voice*. Thomson Learning. USA; 2000.

Boë, L-J. Forensic Voice Identification in France. *Speech Communication* 2000;31:205-224.

Endres, W., Bambach, W., & Flösser, G. Voice Spectrograms as a Function of Age, Voice Disguise, and Voice Imitation. *The Journal of the Acoustical Society of America* 1970;49(6):1842-1848.

Eriksson, E., Sullivan, K., Zetterholm, E., Czigler, P. Green, J., Skagerstrand, Å. & van Doorn, J. Detection of Imitated Voices: Who are reliable earwitnesses? *The International Journal of Speech, Language and the Law* 2010;17(1):25-44.

Fant, G. *Acoustic Theory of Speech Production*. Mouton & Co., Printers, The Hague. The Netherlands; 1970.

Fant, G. *Speech Acoustics and Phonetics. Selected Writings*. Kluwer Academic Publishers. London; 2004.

Farrús, M. Using Prosodic and Acoustic Information for Speaker Recognition. *The International Journal of Speech, Language and the Law* 2009;16(1):169-171.

Fisher, H. *Improving Voice and Articulation*, Second edition. Houghton Mifflin Company. U.S.A; 1975.

Frokjaer-Jensen, B. & Prytz S. Registration of Voice Quality. *Brüel & Kjaer. Technical Review* 1976;3:3-17.

- Hari, R. Sosiaalisen kognition hermostollinen perusta. *Duodecim* 2003;119:1465-1470.
- Heiser, M., Lacoboni M., Maeda F., Marcus J. & Mazziotta C. J. The essential role of Broca's area in imitation. *European Journal of Neuroscience* 2003;17:1123-1128.
- Hurme, P. *Acoustic Studies of Voice Variation*. University of Jyväskylä. Jyväskylä; 1996.
- Iivonen, A. & Aulanko, R. (toim.). *Helsingin yliopiston fonetiikan laitoksen monisteita n:o 23. Fonetiikan peruskäsitteitä*. Helsingin yliopisto. Helsinki; 2001.
- Iivonen, A. & Laukkanen, A-M. Explanations for the qualitative variation of Finnish vowels. Iivonen, Antti ja Lehtihalmes, Matti (edited by). *Helsingin Yliopiston fonetiikan laitoksen julkaisuja. Sarja B: Fonetiikka, logopedia ja puheoppi*. Helsinki; 1993:29-54.
- Ingersoll, B. Teaching Imitation to Children with Autism: A Focus on Social Reciprocity. *The Journal of Speech and Language Pathology - Applied Behavior Analysis* 2007; 2(3):269-277.
- Laukkanen, A-M. & Leino, T. *Ihmeellinen Ihmisääni*. Gaudeamus. Helsinki; 2001.
- Lavner, Y., Gath, I. & Rosenhouse, J. The effects of acoustic modifications on the identification of familiar voices speaking isolated vowels. *Speech Communication* 2000;30:9-26.
- Leino, T. Keskimääräinen puhekorkeus. Esitelmäjulkaisu: *Fonetiikan päivät – Oulu 1990*. Papers from the 16th Meeting of Finnish Phoneticians. Toim. Kari Suomi. *Logopedian ja fonetiikan laitoksen julkaisuja 5*, Oulun yliopisto. Oulu; 1991.
- Leskelä, J. Onnistunut imitaatio. Kuinka lähelle imitaattorin on mahdollista päästä imitoitavaa ääntä äänen perustaajuuden ja keskiarvospektrin suhteen? *Tampereen yliopisto*; 2008.
- Lindblom, B. & Sundberg, J. Acoustical consequences of lip, tongue, jaw and larynx movement. *Papers from the institute of linguistics*. University of Stockholm; 1971.
- Machlin, E. *Speech for the Stage*. Routledge, A Theatre Arts Book. New York; 1992.

Minifie, F., Hixon, T. & Williams, F. Normal aspects of speech, hearing, and language. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs. New Jersey; 1973.

McEwen, F. Perspectives on Imitation: From Neuroscience to Social Science - edited by Susan Hurley and Nick Chater. *Mind & Language* 2007;22(2):207-213.

Moore, C.J. An Introduction to the psychology of hearing. Academic Press. London; 2003.

Moore, R.E., Keaton, C. & Watts, C. The Role of Pitch Memory in Pitch Discrimination and Pitch Matching. *Journal of Voice* 2007;21(5):560-567.

Niemi-Laitinen, T. Puhujan tunnistus ja forensinen fonetiikka. Iivonen, A., Aulanko, R. & Vainio, M. (toim.). Monikäyttöinen Fonetiikka. Helsingin yliopiston Fonetiikan laitoksen monisteita; 2005;21.

Nolan, F. The phonetic bases of speaker recognition. Department of linguistics, Cambridge University Press. Great Britain; 1983.

Puro, J-P. Johdatus puheviestinnän teorioihin. Gaudeamus. Jyväskylä; 2004.

Salminen, R. Imitointi - äänellistä akrobatiaa. 2006.

Sovijärvi, A. Kielen artikulaatioliikkeistä röntgenkuvien valossa. Esitelmä Suomen tiedeseuran kokouksessa toukokuun 17 p:nä 1965. Centraltryckeriet. Helsingfors. 1965.

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

Suomi, K. Johdatusta puheen akustiikkaan. Oulun yliopisto. Oulu; 1990.

Tartter, V.C. & Braun, D. Hearing smiles and frowns in normal and whisper register. *Acoustic Society of America* 1994;96(4):2101-2107.

Tchernichovski, O. & Wallman, J. Behavioural neuroscience: Neurons of imitation. *Nature* 2008;451:249-250.

Titze, I. R. Principles of Voice Production. Second Printing. National Center for Voice and Speech. Iowa City IA 52242. USA; 2000.

Watts, C.R. & Hall, M.D. Timbral influences on vocal pitch-matching accuracy. Logopedics Phoniatrics Vocology 2008;33(2):74-82.

Wayland, R., Herrera, E. & Kaan, E. Effects of musical experience and training on pitch contour perception. Journal of Phonetics 2010;38:654-662.

Wiik, K. Fonetikan perusteet. Werner söderström Osakeyhtiö. Juva; 1981.

Zetterholm, E. A case study of successful voice imitation. Logopedics Phoniatrics Vocology 2002;27:80-83.

LIITTEET

LIITE 1 Litteroidut näytetekstit

Ilaskivi

Pörssivaihto on kasvanu ja pörssin merkitys on suurentunu. Ne ajat eivät enää palaa toivottavasti, koska nyt pörssi voi paremmin täyttää sitä tehtävää, joka sillä on. Ei minusta pidä estää kenenkään rikastumista. Se on ihan oikein, että siihen on mahdollisuus. Nyt on vaan kysymys siitä, että rikastutaan sellaisten pelisääntöjen mukaan, jotka sopivat normaaliin markkinatalouteen.

Wessman

Suojelualueiden yhteispinta-ala on kaikkiaan noin kaksisataayhdeksänkymmentäviisituhatta hehtaaria. Rassin mukaan yli puolet esitetyistä suojelualueista on ollut aiemmin lähes kokonaan talouskäytön ulkopuolella muun muassa korkeilla alueilla. Suojeluesityksissään työryhmä oli yksimielinen.

Paavola

Roomalainen runoilija Publius Ovidius Naso oli keisari Augustuksen aikainen runoilija, joka eli vuosina neljäkymmentäkolme ennen Kristusta noin vuoteen kahdeksantoista jälkeen Kristuksen. Hän oli aatelissyntyinen, kotoisin Sulmosta. Isä toivoi pojastaan lakimestä, mutta poika halusi runoilijaksi. Roomassa Ovidius viihtyi hyvin seurapiireissä ja hänestä tuli yläluokan suosikkirunoilija, joka kirjoitti tyylipuhtaita, mutta sukupuolimoraalin suhteen kevytmielisiä runoja.

Radioesitelmöijä

Oman suuren ryhmänsä muodostavat kielelliset häiriöt, jotka ilmenevät sekä puheen että kielen ja oikeinkirjoituksen alalla. Puhehäiriöitten korjaaminen on viime vuosina tullut meilläkin yleiseen tietoisuuteen. Tämäkin, koulun ja puhevikaisten tai puhehäiriöisten vähemmistö erilaisissa muodoissa, sorakieliset ja sammaltajat mukaan lukien, nousee monen vaatimattoman ja kriittisenkin arvion mukaan ainakin neljään viiteen prosenttiin ja monissa tutkimuksissa joillakin paikkakunnilla huomattavasti yli tämän.

Matti Salminen

...vaarojen, kumpujen, harjujen välitse, louhujen lomitse, oksien alitse, mökistä mökkiin ja kartanoon, lehdosta lettoon ja ojasta allikkoon – alaspäin veti kalteva kamara, etelään vietti mahtava graniittikynnös. Polut liittyivät polkuihin, purot yhtyivät puroihin. Eteenpäin, alaspäin! Tiet levenivät, virrat vahvistuivat. Yhä isompia, yhä raskaampia kuormia ne kykenivät kuljettamaan. Yhä enemmän puuta, leipää, perunaa, voita, lihaa, kansaa ja hatuakiviä, valtavia lohkareita, vuoria ne uimat nielivät ja nälkä yltyi vain. Salmesta salmeen, tunnista tuntiin matoivat lotjajonot, päivästä päivään viettivät laajat lautat unetonta kesäänsä Näsijärven pitkällä, sinisellä saralla. Kuusta, mäntyä, koi-vua, haapaa – erilaisina paloina, erilaisiin tarkoituksiin. Miten suunnattomasti sitä tavaraa oli ja tarvittiin! Kulkivat kuut ja päivät, kerroksittain vealsivat pilvien, laivojen, kasvojen hahmot järven uumenissa.

Järven alapäässä oli vihdoinkin se solmu, joka sitoi tiet ja reitit, polut ja purot yhdeksi kimpuksi. Sitä solmua ei voinut kiertää eikä avata; kerran virtaan joutuneen oli käytävä armottoman paineen läpi, joka väänsi ja vaivasi uhrinsa uuteen muotoon, ellei ilman muuta upottanut syöverinsä jäteliejuun. Se oli teknillis-sosiaalinen hiidenkirnu, jota nimitettiin myös tehdaskaupungiksi. (Lauri Viita: Moreeni)

Fagerholm

Kello on kohta kaksitoista ja sen jälkeen luen katkelman Martti Paloheimon teoksesta ihmissuhteita. Katkelma on poimittu luvusta isät ja pojat. Ihminen ei kasva aikuiseksi samalla tavalla kuin eläimet, joilla synnynnäisesti perittyyn aiheeseen kasvua säättävät tekijät kasvattavat eläimen pennun aikuiseksi tavalla, johon ulkopuoliset tekijät varsin vähän voivat vaikuttaa. Tosin voimme varsinkin kotieläimillä todeta, että jotkut pentuaikana sattuneet kokemukset saattavat vaikuttaa vahingollisesti. Esimerkiksi pelästymisen on sellainen tekijä, jonka seuraukset voivat jäädä pysyviksi ominaisuuksiksi.

Sauli Niinistö

Mä oon varmaan tehny vähän väärän johtopäätöksen siitä että mitä vuoden mittaan, viimeisen vuoden mittaan, pariikin vuotta jo on kuulunut. On väitetty, että minä jollain tavalla briljeeraan säästöillä. Sehän ei pidä paikkaansa ollenkaan. En ole kertaakaan tullut julkisuuteen itsenäisesti kehuskelemaan jollain säästöillä, vaan olen aina saanut niskaani jonkun kriittisen arvion, joku menee lehdistöön, kertoo kriittisesti, haukkuu minut. Silloin on tietysti kaks mahdollisuutta, olla hiljaa tai yrittää edes vastata. Ja minun vastaukseni on säännönmukaisesti ollut se että ensinnäkään uusia päätöksiä ei juurikaan ole tehty edes on vaan ryhdytty tarkemmin noudattamaan sitä minkä eduskunta on jo minun poissa ollessani viime kaudella päättänyt. Ja että muutkin päätökset ovat sitten kansliatoimikunnassa syntyneet aivan yksimielisesti. Ja miksi sitten tällaista taloustarkkuutta, niin minusta siinä on nimenomaan kysymys siitä, että eduskunnan arvovalta kasvaa jos kansalaisille tulee sellainen selvä signaali, että nyt kun vaikeudet odottavat tavallista suomalaista aivan varmasti leikellään kyllä etuisuuksiakin lähivuosien aikana. Niin silloin päättäjän pitää itsensä, oma vihansa hoitaa ensin kuntoon, jotta voidaan sanoa että tämä on ollut tiedossa, me olemme jo aloittaneet. Minusta se on suurinta kansanedustuslaitoksen arvovaltaa mitä voi olla.

Martti Ahtisaari

Presidentin itsenäisyyspäivä noudattaa aikalailla jo vakiintuneita muotoja. Mä tulen silloin käymään tuomiokirkossa juhlahumalanpalveluksessa ja illalla on sitten vastaanotto täällä linnassa, johon kutsutaan noin tuhatseitsemänsataa tuhatkahdeksansataa henkeä. Kyllä se on myös päivä, mä uskon, jokaiselle suomalaiselle, et silloin hiljentyä miettimään että mitä tää itsenäisyys meille merkitsee ja kuinka tärkeä se on et me voimme kaikki asua vapaassa Suomessa ja te voitte käydä koulua ja minä voin tehdä töitä.

Matti Vanhanen

Tän jäänmurtajasopimuksen auto- ja kuljetusalansopimuksen jälkeen nyt sitte kaikki voimat pitää kohdistaa ennen huomista aamua satamasopimuksen aikaansaamiseen. Se on näistä kolmesta myös taloudelliselta merkitykseltä ylivoimaisesti suurin. Että jokainen päivä jos meidän tuonti ja vienti estyy, niin merkitsee kansantaloudelle kolminumeroista lukua miljoonina, menetyksiä joita ei saada takaisin, ne on kerta kaikkiaan pois.

Teksteistä poimitut tutkimuksessa käytettävät sanat:

Ahtisaari:	vapaassa
Vanhanen:	kohdistaa
Niinistö:	kasvaa
Fagerholm:	vaikuttaa
Ilaskivi:	palaa
Matti Salminen:	laajat
Radioesitelmöijä:	vaatimattoman
Paavola:	moraalin
Wessman:	hehtaaria
Tenori	tämä on a:
Baritoni	tämä on a:

LIITE 2 IMITAATIO KUUNTELUTESTI

Johanna Leskelä, 2010

Testissä on kolme osiota.

1. Ensiksi kuulet *yksitoista* tekstiluentanäyteparia. Ensimmäisenä on alkuperäinen ääni ja toisena tätä imitoitu ääni. Merkitse asteikolla 1-3, kuinka samanlaisia tai erilaisia näytteet ovat eri ominaisuuksiensa suhteen. (1=samanlainen, 2=jossain määrin samanlainen ja 3=erilainen)

Huom! Ensimmäisen osion näytteet ovat melko pitkiä, joten kannattaa kirjoittaa ylös huomioita äänen persoonallisista ominaisuuksista alkuperäistä ääntä kuunneltaessa.

Näytepari	Samanlainen	Jossain määrin samanlainen	Erilainen	Tähän voit kirjoittaa mahdollisia muita huomioita
Näytepari 1				
Äänenlaatu	1	2	3	
Äänenväri	1	2	3	
Puhekorkeus	1	2	3	
Artikulaatio	1	2	3	
Näytepari 2				
Äänenlaatu	1	2	3	
Äänenväri	1	2	3	
Puhekorkeus	1	2	3	
Artikulaatio	1	2	3	
Näytepari 3				
Äänenlaatu	1	2	3	
Äänenväri	1	2	3	
Puhekorkeus	1	2	3	
Artikulaatio	1	2	3	
Näytepari 4				
Äänenlaatu	1	2	3	
Äänenväri	1	2	3	
Puhekorkeus	1	2	3	
Artikulaatio	1	2	3	

Näytepari 5	Samanlainen	Jossain määrin samanlainen	Erilainen	Tähän voit kirjoittaa mahdollisia muita huomioita
Äänenlaatu	1	2	3	
Äänenväri	1	2	3	
Puhekorkeus	1	2	3	
Artikulaatio	1	2	3	
Näytepari 6				
Äänenlaatu	1	2	3	
Äänenväri	1	2	3	
Puhekorkeus	1	2	3	
Artikulaatio	1	2	3	
Näytepari 7				
Äänenlaatu	1	2	3	
Äänenväri	1	2	3	
Puhekorkeus	1	2	3	
Artikulaatio	1	2	3	
Näytepari 8				
Äänenlaatu	1	2	3	
Äänenväri	1	2	3	
Puhekorkeus	1	2	3	
Artikulaatio	1	2	3	
Näytepari 9				
Äänenlaatu	1	2	3	
Äänenväri	1	2	3	
Puhekorkeus	1	2	3	
Artikulaatio	1	2	3	
Näytepari 10				
Äänenlaatu	1	2	3	
Äänenväri	1	2	3	
Puhekorkeus	1	2	3	
Artikulaatio	1	2	3	
Näytepari 11				
Äänenlaatu	1	2	3	
Äänenväri	1	2	3	
Puhekorkeus	1	2	3	
Artikulaatio	1	2	3	

2. Toisessa osiossa kuulet *yksitoista* syntetisoitua ääniparia, joista ensimmäinen ääni on alkuperäinen ääni ja toinen imitoitu ääni. Vertaa näitä ääniä toisiinsa ja merkitse, kuinka samanlaisia ne ovat mielestäsi äänenväriin ja äänenlaadun osalta. Kuulet näyteparin aina kahteen kertaan.

Ensiksi kuulet esimerkinäytteen mahdollisesta ääniparista.

Näytepari	Samanlainen	Jossain määrin samanlainen	Eriäinen	Tähän voit kirjoittaa mahdollisia muita huomioita
Esimerkki				
Äänenlaatu	1	2	3	
Äänenväri	1	2	3	

Näytepari	Samanlainen	Jossain määrin samanlainen	Eriäinen	Tähän voit kirjoittaa mahdollisia muita huomioita
Näytepari 12				
Äänenlaatu	1	2	3	
Äänenväri	1	2	3	
Näytepari 13				
Äänenlaatu	1	2	3	
Äänenväri	1	2	3	
Näytepari 14				
Äänenlaatu	1	2	3	
Äänenväri	1	2	3	
Näytepari 15				
Äänenlaatu	1	2	3	
Äänenväri	1	2	3	
Näytepari 16				
Äänenlaatu	1	2	3	
Äänenväri	1	2	3	
Näytepari 17				
Äänenlaatu	1	2	3	
Äänenväri	1	2	3	

Näytepari 18	Samantyyppinen	Jossain määrin samantyyppinen	Eriantyyppinen	Tähän voit kirjoittaa mahdollisia muita huomioita
Äänenlaatu	1	2	3	
Äänenväri	1	2	3	
Näytepari 19				
Äänenlaatu	1	2	3	
Äänenväri	1	2	3	
Näytepari 20				
Äänenlaatu	1	2	3	
Äänenväri	1	2	3	
Näytepari 21				
Äänenlaatu	1	2	3	
Äänenväri	1	2	3	
Näytepari 22				
Äänenlaatu	1	2	3	
Äänenväri	1	2	3	

3. Viimeisessä osiossa kuulet jälleen *yksitoista* syntetisoitua ääniparia, joista ensimmäinen ääni on alkuperäinen ääni ja toinen imitoitu ääni, mutta nyt kaikki äänit ovat samalla perustajuuudella. Vertaa näitä näytteitä toisiinsa ja merkitse, kuinka samantyyppisiä ne ovat mielestäsi äänenväriin ja äänenlaadun osalta. Kuulet näyteparin aina kahteen kertaan.

Näytepari	Samantyyppinen	Jossain määrin samantyyppinen	Eriantyyppinen	Tähän voit kirjoittaa mahdollisia muita huomioita
Näytepari 23				
Äänenlaatu	1	2	3	
Äänenväri	1	2	3	
Näytepari 24				
Äänenlaatu	1	2	3	
Äänenväri	1	2	3	

Näytepari 25	Samanlainen	Jossain määrin samanlainen	Erilainen	Tähän voit kirjoittaa mahdollisia muita huomioita
Äänenlaatu	1	2	3	
Äänenväri	1	2	3	
Näytepari 26				
Äänenlaatu	1	2	3	
Äänenväri	1	2	3	
Näytepari 27				
Äänenlaatu	1	2	3	
Äänenväri	1	2	3	
Näytepari 28				
Äänenlaatu	1	2	3	
Äänenväri	1	2	3	
Näytepari 29				
Äänenlaatu	1	2	3	
Äänenväri	1	2	3	
Näytepari 30				
Äänenlaatu	1	2	3	
Äänenväri	1	2	3	
Näytepari 31				
Äänenlaatu	1	2	3	
Äänenväri	1	2	3	
Näytepari 32				
Äänenlaatu	1	2	3	
Äänenväri	1	2	3	
Näytepari 33				
Äänenlaatu	1	2	3	
Äänenväri	1	2	3	

KIITOS VASTAUKSISTASI!

LIITE 3 Erojen vertailu: formantit F1-F4 imitoitava – imitoitu - RSoma

Oneway

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
F1								
imitoitava	11	650,00	48,937	14,755	617,12	682,88	560	732
alkuperäinen								
imitoitu ääni	11	673,36	96,674	29,148	608,42	738,31	560	861
RSoma	11	595,18	17,394	5,245	583,50	606,87	560	603
Total	33	639,52	69,791	12,149	614,77	664,26	560	861
F2								
imitoitava	11	1178,64	130,812	39,441	1090,76	1266,52	991	1421
alkuperäinen								
imitoitu ääni	11	1190,36	165,729	49,969	1079,03	1301,70	991	1421
RSoma	11	1123,82	84,774	25,560	1066,87	1180,77	991	1249
Total	33	1164,27	130,552	22,726	1117,98	1210,56	991	1421
F3								
imitoitava	11	2349,00	177,109	53,400	2230,02	2467,98	2153	2670
alkuperäinen								
imitoitu ääni	11	2447,09	265,346	80,005	2268,83	2625,35	2153	3187
RSoma	11	2603,73	460,253	138,772	2294,52	2912,93	2326	3962
Total	33	2466,61	330,683	57,565	2349,35	2583,86	2153	3962
F4								
imitoitava	11	3363,18	272,655	82,209	3180,01	3546,35	3015	3790
alkuperäinen								
imitoitu ääni	11	3261,09	384,966	116,072	3002,47	3519,71	2756	3962
RSoma	11	3331,64	136,348	41,111	3240,04	3423,24	3101	3488
Total	33	3318,64	277,906	48,377	3220,10	3417,18	2756	3962

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
F1	Between Groups	35432,061	2	17716,030	4,413	,021
	Within Groups	120432,182	30	4014,406		
	Total	155864,242	32			
F2	Between Groups	27759,818	2	13879,909	,804	,457
	Within Groups	517642,727	30	17254,758		
	Total	545402,545	32			
F3	Between Groups	363156,788	2	181578,394	1,737	,193
	Within Groups	3136093,091	30	104536,436		
	Total	3499249,879	32			
F4	Between Groups	60112,545	2	30056,273	,374	,691
	Within Groups	2411309,091	30	80376,970		
	Total	2471421,636	32			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Bonferroni

Dependent Variable	(I) imitoitava vrt imitoitu vrt imitoijan oma	(J) imitoitava vrt imitoitu vrt imitoijan oma	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval		
						Lower Bound	Upper Bound	
F1	imitoitava alkuperäinen	imitoitu ääni	-23,364	27,017	1,000	-91,87	45,14	
		RSoma	54,818	27,017	,154	-13,69	123,33	
	imitoitu ääni	imitoitava alkuperäinen	23,364	27,017	1,000	-45,14	91,87	
		RSoma	78,182*	27,017	,021	9,67	146,69	
	RSoma	imitoitava alkuperäinen	imitoitu ääni	-54,818	27,017	,154	-123,33	13,69
			imitoitu ääni	-78,182*	27,017	,021	-146,69	-9,67
		imitoitava alkuperäinen	imitoitu ääni	-11,727	56,011	1,000	-153,76	130,30
			RSoma	54,818	56,011	1,000	-87,21	196,85
F2	imitoitava alkuperäinen	imitoitu ääni	11,727	56,011	1,000	-130,30	153,76	
		RSoma	66,545	56,011	,732	-75,48	208,57	
	RSoma	imitoitava alkuperäinen	imitoitu ääni	-54,818	56,011	1,000	-196,85	87,21
			imitoitu ääni	-66,545	56,011	,732	-208,57	75,48
		imitoitava alkuperäinen	imitoitu ääni	-98,091	137,865	1,000	-447,68	251,50
			RSoma	-254,727	137,865	,224	-604,32	94,86
	F3	imitoitava alkuperäinen	imitoitu ääni	98,091	137,865	1,000	-251,50	447,68
			RSoma	-156,636	137,865	,795	-506,23	192,95
RSoma		imitoitava alkuperäinen	imitoitu ääni	254,727	137,865	,224	-94,86	604,32
			imitoitu ääni	156,636	137,865	,795	-192,95	506,23
		imitoitava alkuperäinen	imitoitu ääni	102,091	120,888	1,000	-204,45	408,63
			RSoma	31,545	120,888	1,000	-275,00	338,09
F4		imitoitava alkuperäinen	imitoitu ääni	-102,091	120,888	1,000	-408,63	204,45
			RSoma	-70,545	120,888	1,000	-377,09	236,00
	RSoma	imitoitava alkuperäinen	imitoitu ääni	-31,545	120,888	1,000	-338,09	275,00
			imitoitu ääni	70,545	120,888	1,000	-236,00	377,09

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

LIITE 4 Erojen vertailu: formanttivälit imitoitava – imitoitu - RSoma

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	
					Lower Bound	Upper Bound			
					väliF2F1	imitoitava			11
	alkuperäinen								
	imitoitu	11	517,00	116,973	35,269	438,42	595,58	302	732
	ääni								
	RSoma	11	528,64	86,159	25,978	470,75	586,52	388	646
	Total	33	524,76	123,268	21,458	481,05	568,47	259	861
väliF3F2	imitoitava	11	1170,3	270,89639	81,67834	988,3730	1352,3543	775,00	1593,00
	alkuperäinen		636						
	imitoitu	11	1256,7	248,72318	74,99286	1089,6328	1423,8218	948,00	1809,00
	ääni		273						
	RSoma	11	1479,9	466,47068	140,6462	1166,5298	1793,2884	1206,00	2800,00
	Total	33	1302,3	357,49779	62,23238	1175,5701	1429,0965	775,00	2800,00
			333						
väliF4F3	imitoitava	11	1014,1	317,88797	95,84683	800,6218	1227,7419	560,00	1551,00
	alkuperäinen		818						
	imitoitu	11	814,00	319,22751	96,25071	599,5400	1028,4600	430,00	1378,00
	ääni		00						
	RSoma	11	727,90	525,94913	158,5796	374,5717	1081,2465	-732,00	1119,00
	Total	33	852,03	405,83305	70,64647	708,1282	995,9324	-732,00	1551,00
			03						

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
väliF2F1	Between Groups	992,970	2	496,485	,031	,970
	Within Groups	485245,091	30	16174,836		
	Total	486238,061	32			
väliF3F2	Between Groups	561319,697	2	280659,848	2,386	,109
	Within Groups	3528429,636	30	117614,321		
	Total	4089749,333	32			
väliF4F3	Between Groups	474600,424	2	237300,212	1,484	,243
	Within Groups	4795814,545	30	159860,485		
	Total	5270414,970	32			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Bonferroni

Dependent Variable	(I) imitoitava vrt imitoitu vrt imitoijan oma	(J) imitoitava vrt imitoitu vrt imitoijan oma	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
						väliF2F1	imitoitava alkuperäinen
	imitoitu ääni RSoma	imitoitava alkuperäinen RSoma	-11,636 -11,636 ,000	54,230 54,230 54,230	1,000 1,000 1,000	-149,15 -149,15 -137,51	125,88 125,88 137,51
	imitoitava alkuperäinen	imitoitu ääni RSoma	11,636 ,000	54,230 54,230	1,000 1,000	-125,88 -137,51	149,15 137,51
väliF3F2	imitoitava alkuperäinen	imitoitu ääni RSoma	-86,36364 -309,54545	146,23413 146,23413	1,000 ,128	-457,1756 -680,3574	284,4483 61,2665
	imitoitu ääni RSoma	imitoitava alkuperäinen RSoma	86,36364 -223,18182 309,54545	146,23413 146,23413 146,23413	1,000 ,412 ,128	-284,4483 -593,9938 -61,2665	457,1756 147,6302 680,3574
	imitoitava alkuperäinen	imitoitu ääni RSoma	223,18182 ,000	146,23413 146,23413	,412 1,000	-147,6302 -146,0362	593,9938 718,5817
väliF4F3	imitoitava alkuperäinen	imitoitu ääni RSoma	200,18182 286,27273	170,48620 170,48620	,749 ,311	-232,1271 -146,0362	632,4908 718,5817
	imitoitu ääni RSoma	imitoitava alkuperäinen RSoma	-200,18182 86,09091 -286,27273	170,48620 170,48620 170,48620	,749 1,000 ,311	-632,4908 -346,2180 -718,5817	232,1271 518,3998 146,0362
	imitoitava alkuperäinen	imitoitu ääni RSoma	-86,09091 ,000	170,48620 170,48620	1,000 1,000	-518,3998 -518,3998	346,2180 346,2180

LIITE 5 Erojen vertailu: Alfa-suhdeluku imitoitava – imitoitu - RSoma

Oneway

Descriptives

alfa dB

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
					imitoitava alkuperäinen	11		
imitoitu ääni	11	-13,4864	4,14901	1,25098	-16,2737	-10,6990	-19,51	-6,31
RSoma	11	-11,1127	4,00251	1,20680	-13,8017	-8,4238	-17,53	-6,54
Total	33	-12,2552	3,49450	,60831	-13,4942	-11,0161	-19,51	-6,31

ANOVA

alfa dB

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	31,118	2	15,559	1,298	,288
Within Groups	359,652	30	11,988		
Total	390,770	32			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

alfa dB

Bonferroni

(I) imitoitava vrt imitoitu vrt imitoijan oma	(J) imitoitava vrt imitoitu vrt imitoijan oma	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
imitoitava alkuperäinen	imitoitu ääni	1,32000	1,47638	1,000	-2,4237	5,0637
	RSoma	-1,05364	1,47638	1,000	-4,7974	2,6901
imitoitu ääni	imitoitava alkuperäinen	-1,32000	1,47638	1,000	-5,0637	2,4237
	RSoma	-2,37364	1,47638	,355	-6,1174	1,3701
RSoma	imitoitava alkuperäinen	1,05364	1,47638	1,000	-2,6901	4,7974
	imitoitu ääni	2,37364	1,47638	,355	-1,3701	6,1174

LIITE 6 Erojen vertailu: F0-keskiarvot imitoitava – imitoitu - RSoma

Oneway

Descriptives

F0 ka. Hz

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
imitoitava alkuperäinen	11	100,2600	19,02488	5,73622	87,4789	113,0411	74,06	131,87
imitoitu ääni	11	112,1582	15,96276	4,81295	101,4343	122,8821	88,58	137,40
RSoma	11	111,0173	4,82426	1,45457	107,7763	114,2583	104,79	118,30
Total	33	107,8118	15,15384	2,63795	102,4385	113,1851	74,06	137,40

ANOVA

F0 ka. Hz

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	948,154	2	474,077	2,222	,126
Within Groups	6400,294	30	213,343		
Total	7348,447	32			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

F0 ka. Hz

Bonferroni

(I) imitoitava vrt imitoitu vrt imitoijan oma	(J) imitoitava vrt imitoitu vrt imitoijan oma	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
imitoitava alkuperäinen	imitoitu ääni	-11,89818	6,22813	,197	-27,6911	3,8948
	RSoma	-10,75727	6,22813	,283	-26,5502	5,0357
imitoitu ääni	imitoitava alkuperäinen	11,89818	6,22813	,197	-3,8948	27,6911
	RSoma	1,14091	6,22813	1,000	-14,6520	16,9338
RSoma	imitoitava alkuperäinen	10,75727	6,22813	,283	-5,0357	26,5502
	imitoitu ääni	-1,14091	6,22813	1,000	-16,9338	14,6520

LIITE 7 **Korrelaatiot mittaustulosten ja kuulohavaintojen välillä**

Korrelaatiot äänenlaadun arvioiden ja mitattujen alfa-suhdelukujen välillä.

Correlations

			Äänenlaatuarvot korkeusvariaatioynteesi	Äänenlaatuarvot vakiokorkeussynteesi	Mittaustulokset: alfa ka.
Spearman's rho	Äänenlaatuarvot korkeusvariaatioynteesi	Correlation Coefficient	1,000	,161	-,489
		Sig. (2-tailed)	.	,637	,127
		N	11	11	11
	Äänenlaatuarvot vakiokorkeussynteesi	Correlation Coefficient	,161	1,000	-,132
		Sig. (2-tailed)	,637	.	,698
		N	11	11	11
	Mittaustulokset: alfa ka.	Correlation Coefficient	-,489	-,132	1,000
		Sig. (2-tailed)	,127	,698	.
		N	11	11	11

Korrelaatiot äänenväriarvioiden ja formanttien erotusten välillä.

Correlations

			Äänenväriarvot korkeusvariaatioynteesi	Äänenväriarvot vakiokorkeussynteesi	Mittaustulokset: formanttien erotukset ka.
Spearman's rho	Äänenväriarvot korkeusvariaatioynteesi	Correlation Coefficient	1,000	-,335	,005
		Sig. (2-tailed)	.	,314	,989
		N	11	11	11
	Äänenväriarvot vakiokorkeussynteesi	Correlation Coefficient	-,335	1,000	,032
		Sig. (2-tailed)	,314	.	,925
		N	11	11	11
	Mittaustulokset: formanttien erotukset ka.	Correlation Coefficient	,005	,032	1,000
		Sig. (2-tailed)	,989	,925	.
		N	11	11	11

Kuuntelunäytteiden äänenväriarviot verrattuna imitoitavan äänen ja imitoinnin formanteista laskettuihin erotuksiin ja niistä laskettuihin prosentuaalisiin muutoksiin.

Correlations

			Äänenväriarviot korkeusvariaatio- synteesi	Äänenväriarviot vakiokorkeus- synteesi	Mittaustulokset F1 erotus prosentteina	Mittaustulokset F2 erotus prosentteina
Spearman's rho	Äänenväriarviot korkeusvariaatio- synteesi	Correlation	1,000	-,335	,212	-,065
		Coefficient				
		Sig. (2-tailed)		,314	,532	,849
		N	11	11	11	11
	Äänenväriarviot vakiokorkeussynteesi	Correlation	-,335	1,000	-,112	-,551
		Coefficient				
		Sig. (2-tailed)	,314		,744	,079
		N	11	11	11	11
Mittaustulokset F1 erotus prosentteina		Correlation	,212	-,112	1,000	,500
		Coefficient				
		Sig. (2-tailed)	,532	,744		,117
		N	11	11	11	11
Mittaustulokset F2 erotus prosentteina		Correlation	-,065	-,551	,500	1,000
		Coefficient				
		Sig. (2-tailed)	,849	,079	,117	
		N	11	11	11	11

Correlations

			Äänenväriarvot korkeusvariaatio synteesi	Äänenväriarvot vakiokorkeussynt eesi	Mittaustulokset F3 erotus prosentteina	Mittaustulokset F4 erotus prosentteina
Spearman's rho	Äänenväriarvot	Correlation	1,000	-,335	,044	-,119
	korkeusvariaatio	Coefficient				
	synteesi	Sig. (2-tailed)		,314	,898	,728
		N	11	11	11	11
	Äänenväriarvot	Correlation	-,335	1,000	,180	,016
	vakiokorkeussynteesi	Coefficient				
		Sig. (2-tailed)	,314		,596	,962
		N	11	11	11	11
	Mittaustulokset F3 erotus prosentteina	Correlation	,044	,180	1,000	,514
		Coefficient				
		Sig. (2-tailed)	,898	,596		,106
		N	11	11	11	11
	Mittaustulokset F4 erotus prosentteina	Correlation	-,119	,016	,514	1,000
		Coefficient				
		Sig. (2-tailed)	,728	,962	,106	
		N	11	11	11	11

Correlations

			Äänenväriarviot korkeusvariaatio synteesi	Äänenväriarviot vakiokorkeussynt eesi	Mittaustulokset F1 erotus	Mittaustulokset F2 erotus
Spearman's rho	Äänenväriarviot	Correlation	1,000	-,335	,227	-,093
	korkeusvariaatio	Coefficient				
	synteesi	Sig. (2-tailed)		,314	,502	,785
		N	11	11	11	11
	Äänenväriarviot	Correlation	-,335	1,000	-,232	-,527
	vakiokorkeussynteesi	Coefficient				
		Sig. (2-tailed)	,314		,492	,096
		N	11	11	11	11
	Mittaustulokset F1 erotus	Correlation	,227	-,232	1,000	,606*
		Coefficient				
		Sig. (2-tailed)	,502	,492		,048
		N	11	11	11	11
	Mittaustulokset F2 erotus	Correlation	-,093	-,527	,606*	1,000
		Coefficient				
		Sig. (2-tailed)	,785	,096	,048	
		N	11	11	11	11

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

Correlations

			Äänenväriarviot korkeusvariaatio synteesi	Äänenväriarviot vakiokorkeussynteesi	Mittaustulokset F3 erotus	Mittaustulokset F4 erotus
Spearman's rho	Äänenväriarviot	Correlation	1,000	-,335	,044	-,072
	korkeusvariaatio	Coefficient				
	synteesi	Sig. (2-tailed)		,314	,898	,834
		N	11	11	11	11
	Äänenväriarviot	Correlation	-,335	1,000	,180	-,021
	vakiokorkeussynteesi	Coefficient				
		Sig. (2-tailed)	,314		,596	,952
		N	11	11	11	11
	Mittaustulokset F3 erotus	Correlation	,044	,180	1,000	,445
		Coefficient				
		Sig. (2-tailed)	,898	,596		,170
		N	11	11	11	11
	Mittaustulokset F4 erotus	Correlation	-,072	-,021	,445	1,000
		Coefficient				
		Sig. (2-tailed)	,834	,952	,170	
		N	11	11	11	11