



MITÄ ON ALTTOUS?

Tutkielma laulajanformantin voimakkuuden ja taajuuden vaikutuksista lauluäänestä tehtyihin arvioihin

Suvi Väyrynen

Opinnäytetyö
Joulukuu 2012
Musiikin koulutusohjelma
Musiikkipedagogin suuntautumisvaihtoehto

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Musiikin koulutusohjelma
Musiikkipedagogin suuntautumisvaihtoehto

SUVI VÄYRYNEN:

Mitä on alttous?

Tutkielma laulajanformantin voimakkuuden ja taajuuden vaikutuksista lauluäänestä tehtyihin arvioihin.

Opinnäytetyö 46 sivua, joista liitteitä 9 sivua
Joulukuu 2012

Laulajanformantti on noin 2,5-3kHz taajuusalueella sijaitseva energiahuippu, joka on nähtävissä keskiarvospektrillä. Sen voimakkuuden ja keskitaajuuden on havaittu vaikuttavan erityisesti miesäänten luokitukseen. Laulajanformantti voidaan löytää myös joiltain altoilta. Tällä tutkimuksella haluttiin selvittää, mihin äänestä arvioituihin piirteisiin mahdollisesti laulajanformantilla on vaikutusta ja vaikuttaako sen voimakkuus ja taajuus myös ääniluokitukseen. Lopuksi vertailtiin kahden eri asiantuntijakuuntelijaryhmän tuloksia.

Viideltä altoksi luokitellulta koulutetulta laulajalta saaduista näytteistä koottiin neljäntoista näytteen kuuntelupaketti. Osa näytteistä oli suodatettu niin, että laulajanformantin voimakkuutta voimistettiin ja toisissa laskettiin. Näytteiden spektreistä määriteltiin laulajanformantin voimakkuus ja keskitaajuus.

Kuuntelijaryhmä vuonna 2009 koostui kymmenestä kuuntelijasta ja uusi kuuntelijaryhmä vuonna 2012 yhdestätoista kuuntelijasta. Ensimmäisessä tutkimuksessa kuuntelijat yhtä lukuun ottamatta olivat puhetekniikan ja vokologian opiskelijoita ja asiantuntijoita. Heistä neljällä oli harrastuneisuutta klassisessa laulussa. Uuden kuuntelijaryhmän jäsenet olivat laulunopettajia tai laulun ammattiopiskelijoita. Kuuntelijat arvioivat VAS-asteikolla näytteistä laatua, väriä, kuuluvuutta ja helinän määrää, sekä saivat määrittellä laulajan ääniluokan. Tulokset syötettiin tilastolliseen analyysiohjelmaan SPSS.

Tilastollisilla analyyseillä saadut tulokset osoittivat, ettei laulajanformantin voimakkuudella ja keskitaajuudella ollut tässä tapauksessa korrelaatiota äänestä arvioitujen piirteiden kanssa. Ensimmäisen ja toisen kuuntelijaryhmän arvioissa kuitenkin piirteet kuuluvuus ja helinä korreloivat keskenään. Toisen kuuntelijaryhmän arvioissa voitiin havaita lisäksi lievää korreloivuutta myös helinän ja laadun, sekä kuuluvuuden ja laadun välillä. Ääniluokituksen suhteen arvioissa ei ollut säännönmukaisuutta. Kuitenkin ensimmäisellä ryhmällä kolmessa tapauksessa neljästä niistä, joissa näytteen voimakasta laulajanformanttia oltiin laskettu, ääniluokka arvioitiin keskimäärin yhtä korkeammaksi, eli altosta mezzosopraanoksi. Toisella kuuntelijaryhmällä taipumus ei ollut yhtä selkeä. Koska laulajien väliset erot saattoivat olla loppujenlopuksi kovin pieniä, voi olla että kuuntelijoiden arvioihin vaikutti enimmäkseen laulajien yksilölliset äänenvärit. Äänenväriin vaikuttaa eniten matalammat taajuudet spektrillä. Kuuntelijoiden subjektiiviset mieltymykset olivat kenties myös merkitseviä arvioissa.

Tutkielma perustuu vuonna 2009 Tampereen yliopistossa puhetekniikan ja vokologian oppiaineeseen kirjoitettuun kandidaatintutkielmaan.

Asiasanat: laulu, laulajanformantti, suodatus, ääniluokitus, äänenväri, spektrit

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Music
Music Pedagogue

SUVI VÄYRYNEN

What is it to be an alto?

Acoustical and perceptual study of the singer's formants' significance in alto voices

Bachelor's thesis 46 pages, appendices 9 pages

Joulukuu 2012

Singer's formant is a high envelope peak on a long time average spectrum located in the frequency region 2,5-3kHz. Its' level and center frequency has been researched to have an effect when classifying especially male voices. Certain alto singers have also been found to have a singer's formant. In this research aim was to find out does the level and center frequency of the singer's formant affect evaluations made about certain characteristics of the singing voice. Also results of two different listener groups were compared with each other.

Voice samples were collected from five different trained singers who were classified as altos. Total amount of sound samples to be listened were fourteen. Some samples were filtered so that the level of the singer's formant was enhanced and in others it was lowered. The level and center frequency of the singer's formant was measured from spectrums derived from samples. First group of listeners in year 2009 was ten persons and the second group of listeners in year 2012 was eleven persons.

Members of the first group of listeners were all students or/and experts in speech technique and vocology except one. Four of them had also studied classical singing. Members of the second group of listeners were all professional students in singing or singing teachers. Listeners evaluated characteristics of voice such as quality, color, loudness and ringing and they got to define singers' voice class. Results were analyzed with SPSS-statistics software.

Results showed no significant correlation between acoustical values and perceptions. Correlation between loudness and ringing was found in results of the first listener group. The same correlation mentioned was to be found from the second listener group results but also mild correlation between ringing and quality and loudness and quality was found. Voice classifications didn't show any regularity. In the first listener group results the voice class assessment changed in three cases of four from alto to mezzosoprano when the level of the singer's formant was lowered. Same result appeared in the second group of listeners only in one case of four. Differences between singers might not have been big enough. Perhaps the most significant quality in perceptions was the singers' personal color of voice. The color of voice is mostly created with lower frequencies on the spectrum. Subjective taste of listeners might also have had a significant effect on evaluations.

This study is based on a Bachelors' thesis in Speech Technique and Vocology from 2009 at The University of Tampere.

Key words: singing, singer's formant, filtering, voice classification, color of voice, spectrums

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
1.1	Ääniluokitus.....	5
1.2	Laulajanformantti.....	7
1.3	Tutkimuksia laulajanformantin tason ja keskitaajuuden vaikutuksista	9
2	TUTKIMUKSEN TAVOITTEET JA TUTKIMUSKYSYMYKSET	11
2.1	Tutkimus 2009	11
2.2	Tutkimus 2012	11
3	MENETELMÄT	12
3.1	Näytteiden nauhoitus ja koehenkilöt.....	12
3.2	Näytteiden valinta ja suodatukset	12
3.3	Kuuntelijat 2009 ja 2012.....	14
3.4	Kuuntelut 2009 ja 2012.....	15
3.5	Paikat ja laitteet 2009 ja 2012.....	15
4	ANALYYSIT	17
4.1	Tutkimus vuonna 2009	17
4.2	Tutkimus 2012	18
5	TULOKSET	19
5.1	Tutkimus vuonna 2009	19
5.2	Tutkimus vuonna 2012	23
5.3	Tutkimustulosten vertailu	28
6	JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTUTKIMUSEHDOTUKSIA	29
7	POHDINTA.....	32
	LÄHTEET.....	36
	LIITTEET	38
	Liite 1. Laulajien pitkäaikaisspektrit (LTAS)	38
	Liite 2. Suodatukset.....	41
	Liite 3. Kuunteluarviointilomake	46

1 JOHDANTO

Alttoänet ovat klassisessa länsimaisessa oopperalaulussa harvinaisuuksia. Erityisen matalia naisääniä pidetään jopa luonnonoikkuina, samoin kuin joitain hyvin korkeita miesääniä, kuten kontratenorit. Toiset eivät myöskään luokittele altoja olevan ollenkaan olemassa, vaan sijoittavat matalat naisäännet mezzosopraanoihin. Tämä johtuu kenties siitä, että puhtaat altot ovat harvinaisia ja mezzosopraanot yleisempiä. Niin sanottu *alttous* riippuneekin eniten ääniväylän koosta, joka vaikuttaa syntyvään äänenväriin. Pitkässä ääniväylässä matalat osasävelet resonoivat paremmin (Laukkanen, Leino 1999, 75). Myös äänihuulten koolla on vaikutusta, sillä suuremmat äänihuulet värähtelevät jo lähtökohtaisesti matalammilla taajuuksilla. Ääniluokitukseen vaikuttaa kuitenkin monenlaiset seikat.

Tämän opinnäytetyön lähtökohtana on vuonna 2009 Tampereen yliopistossa puhetekniikan ja vokologian oppiaineeseen kirjoittamani kandidaatintutkielma, mitä tässä tutkimuksessa on täydennetty uuden kuuntelija-aineiston tuloksilla.

1.1 Ääniluokitus

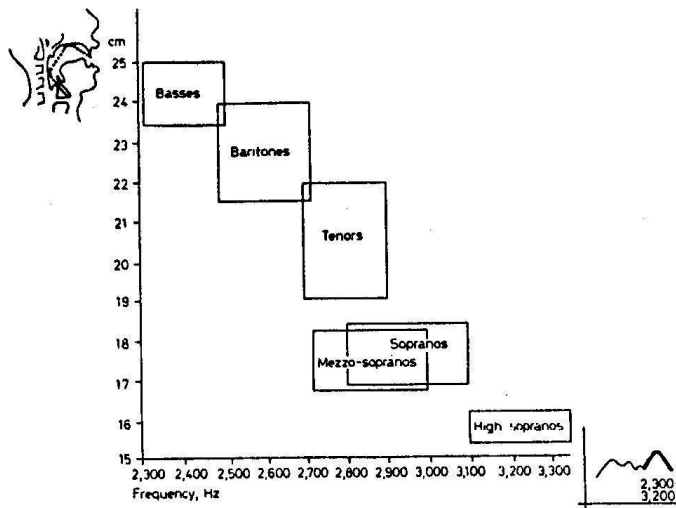
Laulajan ääni luokitellaan pääasiassa sen mukaan, mikä sävelkorkeusalue on hänelle mahdollinen. Äänialueet usein kuitenkin menevät jossain määrin päällekkäin, kuten altolla ja tenorilla, mutta me silti erotamme esimerkiksi mies- ja naislaulajat toisistaan ja usein jopa tunnistamme ääniluokankin oikein. (Sundberg 1979, 2-3)

Oopperalaulajan äänenkoulutuksessa ääniluokkaan sijoittumiseen vaikuttaa oikeanlaisen äänenvärin saavuttaminen (Dimitriev L. & Kiselev A. 1979, 238). Altoilta vaadittaneen äänen suhteen tummuutta ja syvyyttä, ja vahvuutta matalilla sävelillä.

Clevelandin (1990, 35) mukaan laulajan ääniluokitukseen liittyy kolme seikkaa: mitä sävelkorkeuksia laulaja pystyy laulamaan, äänenlaatu ja *tessitura*, eli se osa äänialasta, missä ääni toimii ja soi parhaiten. Näihin seikkoihin vaikuttaa hänen mukaansa äänilähde, ääniväylä ja sen koko. Spektrierot eri äänissä johtuvat äänilähteestä ja siitä kun ääni kulkee ääniväylän läpi äänihuulista suuhun ja huulien kautta ulos, koska ääniväylä vahvistaa ja vaimentaa eri osasäveliä (Sundberg 1979, 4). Ääniväylän resonanssitaajuuksista käytetään nimitystä formantti. Kun osasävel osuu formanttitaajuuteen, osasävel saa

lisää voimaa ja tällaiset niin sanotut *resonanssitoteutumukset*, joita myös kutsutaan formanteiksi, näkyvät spektrissä voimistuneina amplitudipiikkeinä (Laukkanen, Leino 1999, 76). Ääniväylän akustiikkaan, ja siis formanttien taajuuteen, laajuuteen ja voimakkuuteen spektrillä vaikuttaa artikulaattorien asemien vaihtelu, kuten esimerkiksi kielen liikkeet ja huulten asento (Sundberg 1979, 4). Ääniväylä toimii siis äänilähteen tuottaman äänen suodattimena, joten se määrittelee mitä ja kuinka amplitudiltaan voimakkaita formanttitaajuuksia pääsee ulos äänenä, minkä kuulijoina vastaanotamme (Cleveland 1993, 37).

Dimitriev ja Kiselev (1979, 238-241) ovat tarkastelleet eri äänityyppien akustisia piirteitä sekä mitanneet röntgenkuvista ääniväylän pituuksia. He havaitsivat, että ääniväylä on jokaisella ääniluokalla ja äänityypillä omankokoisensa. Tämä näyttäisi selittävän spektreissä havaittavia eroja formanttitaajuuksissa (Leino & Toivokoski 1994, 32). Dimitriev ja Kiselev tosin eivät ääniluokkajaottelussaan maininneet altoja ollenkaan, vaan ilmeisesti sijoittivat nämä mezzosopraanojen kanssa samaan (Kuva 1)



Kuva 1 Eri ääniluokkien suhteet ääniväylän pituuden ja keskiarvospektriltä saadun lauluformantin keskitaajuuden välillä (Dimitriev & Kiselev 1979, 239).

Eri ääniluokkiin kuuluvat laulajat eroavat toisistaan siis muun muassa ääniväylän pituudesta riippuvien formanttitaajuuserojen suhteen. Ääniväylän pituus liittyy äänenväriin, mutta äänihuulten koko varsinaisesti ääniluokkaan sijoittumiseen. (Laukkanen, Leino 1999, 82)

Erityyppisiä altojakin erottavana piirteenä voidaan kenties pitää ääniväylän rakennetta ja kokoeroa. Kaikilla altoilla ei ole havaittavissa yhtä voimakasta laulajanformanttia kuin miehillä, mutta mikäli naisella on kookkaampi ääniväylä, korkeat formantit on

mahdollista saada lähemmäs toisiaan muodostamaan laulajanformantin. Kookkaan ääniväylän ominaisuuksiin liittyy myös se, että formantit tulevat matalammille taajuuksille. Osasävelet heikkenevät taajuuden kasvaessa, joten voimakkaammat osasävelet osuvat formantteihin. Tällaisen laulajanformantin muodostuminen ei kuitenkaan liene altoäänien edellytys. Sen on kuitenkin havaittu löytyvän joiltain erityisiltä alttotyypeiltä, vaikka tämä formantti usein jääkin miesääniä heikommaksi. (Leino & Toivokoski 1994, 40)

Kuinka sitten kykenemme äänenväriin perusteella määrittämään mihin ääniluokkaan henkilö sijoittuu silloinkin kun äänten sävelkorkeus on yhteneväinen kaikkien laulajien kesken? Äänenväriytyypit vaikuttavat olevan merkitsevästi riippuvaisia formanttitaajuuksista. Tämän vuoksi tutkimuksissa onkin järkevää tarkastella keskiarvospektrejä äänestä. Ne voivat erotella eri ääniluokkia toisistaan. (Cleveland 1977)

Keskiarvospektreistä voidaan nähdä äänessä esiintyneiden taajuuksien ja niiden voimakkuuksien keskiarvot tietyltä ajalta. Noin minuutin mittaisesta näytteestä saadaan yleensä luotettava tulos. (Laukkanen & Leino 1999, 170). Kun näyte on tarpeeksi pitkä, siihen ei vaikuta yksittäisten äänneiden erilainen spektrirakenne, vaan se kertoo äänen yleislaadusta.

1.2 Laulajanformantti

Laulajanformantti (käytetään myös nimeä lauluformantti) on erityinen piirre klassisessa länsimaisessa oopperalaulussa, joka voidaan havaita keskiarvospektrillä voimistumana noin 2,5-3kHz taajuusalueella. Se esiintyy pääasiassa miesäänillä, mutta myös joillain matalilla altoilla. Akustisesti se lisää kuuluvuutta ja kirkkautta ääneen. (Laukkanen, Leino 1999, 174)

Ihmiskorva on erityisen herkkä värähtelyille 2 kHz – 5 kHz taajuusalueella (Suomi 1990, 176), joten tämä fyysinen ja akustinen piirre lisää todennäköisesti laulajanformantin merkitystä. Laulajanformantin nähdään olevan seurausta kolmen ylemmän formantin (F3, F4, F5) yhteensulaumasta ja se on pääosin resonatorinen ilmiö. Kyseessä ei siis varsinaisesti ole itsenäinen formantti. (Sundberg 1987, 118-119)

Laulajanformantin tarkoituksenmukaisuus tulee perustelluksi sillä ympäristöllä missä sitä tarvitaan; laulajan täytyy kuulua sinfoniaorkesterin yli. Orkesterisäestyksestä saatua keskiarvospekttriä ja laulajan keskiarvospekttriä vertaamalla on todettu, että orkesterisäestyksen spektri laskee ja osasävelten voimakkuus on heikompi sillä alueella missä

laulajanformantti ilmenee. Tämä näyttäisi esittävän akustisen syyn sille, kuinka laulajan ääni kantaa laulajanformantin avulla orkesterisäestyksen yli. Laulajanformantin akustiset syyt ja kuuluvuus selittyvät myös hänen mukaansa sillä, miten ääni heijastuu ja etenee ilmassa. Matalat taajuudet hajoavat lähes tasaisesti kaikkiin suuntiin, mutta korkeimmat taajuudet suuntaavat enemmän suoraan eteenpäin, ja mitä korkeampi on osasävelen taajuus, sitä voimakkaampi vaikutus sillä on. (Sundberg 1987, 122-123) Eräs fyysinen ominaisuus laulajanformantin muodostumiselle vaikuttaa olevan kurkunpään lasku (Sundberg 1987, 120-121). Tällöin kurkunpään ontelo resonoi itsenäisesti kun nielun tilavuus on riittävästi suurempi kuin kurkunpääontelon (Laukkanen, Leino 1999, 174). Koska kurkunpään laskuun ei tarvita mitään erityisen voimakasta lihastyötä, laulajanformantti on ääniergonominen ominaisuus, sillä se parantaa kuuluvuutta ilman ylimääräistä intensiteetin lisäystä (Sundberg 1987, 123).

Naislaulajista laulajanformantin on havaittu löytyvän lähinnä matalilta naisääniluokilta. Jotkut tutkijat ovat myös sitä mieltä, ettei sopraanoilla ole laulajanformanttia lainkaan, vaan että he käyttävät ilmeisesti eri tekniikkaa kuuluakseen orkesterin yli. Yksi tällainen keino lienee perustaajuus, joka sopraanoilla yleensä laulussa liikkuu jo yli viidensadan hertsin yläpuolella (Sundberg 1987, 127). Sundbergin (1987, 126-129) mukaan sopraano käyttää korkeammilla taajuuksilla ääniväyläasetusta, jossa hän tuo ensimmäisen formantin lähelle perustaajuutta, yleensä leukaa aukaisemalla. Perustaajuus saa tällöin enemmän voimaa, ja kuulohavainto äänestä on myös voimakkaampi. On todettu, että orkesterin voimakkain taajuusalue on 400-500Hz:n taajuudella, joten on perusteltua, että laulaja pyrkii tuottamaan sellaista ääntä jolla hän kuuluu tuon taajuusalueen yli. (Sundberg 1987, 122-123) (Weiss & Brown & Morris (2001) ovat tutkineet ilmeneekö sopraanoilla laulajanformanttia. Heidän tutkimuksessaan havaittiin, että etenkin vahvoilla sopraanoilla oli voimistumaa korkeammilla taajuuksilla 5-8kHz silloin kun he lauloivat korkealta. Keskiälällä sopraanoiden äänessä oli havaittavissa leveä voimistuma 3-4kHz taajuusalueella keskiälällä ja matalalla lauletaessa. Myös Leino ja Toivokoski (1994, 41) mainitsevat artikkelissaan, että sopraanojen spektri ulottuu korkeimmalle ja tyypillistä sopraanoille on leveä huippu 3-4kHz:n alueella, erityisesti matalalta ja keskiälalta lauletaessa. He mainitsevat, että tämä johtuu erilaisen ääniväylän tuottamasta erilaisesta resonaatiosta. Spektritutkimuksissa erityispiirteenä juuri mezzo-altto ääni- luokkaan kuuluvilla on todettu olevan se, että äänienergia on lähes kokonaan vaimentunut 3kHz:n yläpuolelta (Leino & Toivokoski 1994, 42).

Laulajanformantin on laulajien ja laulunopettajien keskuudessa todettu myös olevan perkeptuaalisesti, eli kuulohavainnon kannalta, tärkeä äänenvärin piirre erityisesti miesäänissä (Sundberg 1979, 15). Koska kuitenkin laulajanformantti esiintyy myös joillain matalalta laulavilla altoilla, eikä esimerkiksi sopraanoilla, se saattaisi olla yksi tekijä joka määrittää altojen ääniluokkaan sijoittumista. Koska altot laulavat matalammilta taajuuksilta kuin sopraanot, he ilmeisesti myös käyttävät laulajanformanttia apuna kuuluvuuden lisäämiseen. Eri tutkimuksissa laulajanformantin paikan taajuusasteikolla on havaittu vaihtelevan ääniluokittain ja sen voimakkuuden lisäävän kuuluvuutta merkittävästi miehillä (Dimitriev & Kiselev 1979; Berndtsson & Sundberg 1995; Sundberg 1999), mutta näiden piirteiden merkitystä erityisesti altoäänien akustisena piirteenä ei ole juuri tutkittu.

1.3 Tutkimuksia laulajanformantin tason ja keskitaajuuden vaikutuksista

Berndtson ja Sundberg (1995) havaitsivat tutkimuksessaan, että laulajanformantin keskitaajuus liittyy systemaattisesti ääniluokkaan. Mitä korkeampi laulajanformantin keskitaajuus oli, sitä korkeampaan ääniluokkaan kuulijat sijoittivat laulajan. Tosin naisäänten luokituksen suhteen vastaukset eivät olleet aivan yhteneväisiä. Tämä tutkimus vahvisti Dimitrievin ja Kiselevin (1979) tekemiä havaintoja siitä, että laulajanformantin paikka varioi ääniluokittain ja sillä on merkitystä kuulohavaintoon. Sundberg on myös myöhemmässä tutkimuksessaan vahvistanut havainnon laulajanformantin keskitaajuuden vaihtelusta ääniluokittain (Sundberg 1999).

Laulajanformantin äänentason on myös eri tutkimuksissa havaittu riippuvan vokaalista, äänenkorkeudesta ja ääntöefortista, eli intensiteetistä (Hollien 1983; Seidner & Schutte & Wendler & Rauhut 1985; Bloothoof & Plomp 1986). Laulajanformantin keskitaajuuden on todettu nousevan intensiteetin myötä ja siten sen taajuusvaihtelun selittyvän myös suurimmaksi osaksi äänenpainetasoon (SPL) vaihtelulla (Bloothoof & Plomp 1986; Cleveland & Sundberg 1983). Molemmat tulokset vahvistavat Sundbergin jo aiemmin tekemiä havaintoja (1973; 1970). Sundberg (1970, 37) havaitsi intensiteetin vaikuttavan lauluformantin suhteelliseen tasoon ja siten äänekkyuden (eng. loudness) kasvun vaikuttavan enemmänkin spektribalanssiin kuin koko spektrin äänenpainetasoon (SPL, Sound Pressure Level). Vaikka kuuluvuus lisääntyy, äänenpainetaso ei välttämättä kasva itsessään. Intensiteettiä lisätessä siis lauluformantinkin voimakkuus kasvaa, ja

näin ollen perustaajuuden noustessa korkeimpien osasävelten amplitudit kasvavat.

(Sundberg 1970, Sundberg 1973).

Bloothoofin ja Plompin (1986) tutkimuksessa hyväksi arvioidussa äänenlaadussa laulajanformantin keskivoimakkuus oli noin -20dB. Todettiin kuitenkin, että kaikissa äänissä laulajanformantin läsnäolo ei ole välttämätön hyvän äänen määritteelle. Tutkimuksessa todettiin myös, että 392Hz:n yläpuolella laulajanformantin amplitudin taso laskee huomattavasti. Tämä näyttäisi vahvistavan käsitystä siitä, ettei korkeammissa äänissä, ja siis sopraanoilla, ole laulajanformanttia.

2 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET JA TUTKIMUSKYSYMYKSET

2.1 Tutkimus 2009

Tässä tutkimuksessa pyrittiin selvittämään mihin suuntaan tietynlaiset laulajanformantin muutokset lauluäänessä vievät kuulijoiden arvioita, onko laulajanformantilla erityisenä akustisena piirteenä vaikutusta siihen luokitellaanko laulaja enemmän altoksi kuin johonkin muuhun ääniluokkaan, ja mihin muihin esitettyihin äänestä havaittaviin piirteisiin se saattaa vaikuttaa.

Tutkimuskysymys on siis, onko laulajanformantin voimakkuudella tai keskitaajuudella vaikutusta kuuntelijoiden tekemiin arvioihin tietyistä äänellisistä piirteistä?

2.2 Tutkimus 2012

Tämän uusintatutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymys ovat lähtökohtaisesti samat kuin edellisellä kerralla. Lisäksi tarkoituksena on vertailla kahden eri kuuntelijaryhmän välisiä tuloksia.

3 MENETELMÄT

Sundberg (1979, 2) on määritellyt olevan kahdenlaisia tapoja tutkia lauluäänen havainnoimista. Ensinnäkin, voidaan tutkia lauluäänen akustisia ominaisuuksia, tehdä muunnoksia kuten suodatuksia, ja tarkastella, kuinka näitä havainnoidaan. Toinen tapa käsittelee tietynlaisten äänten tai ääntötapojen (phonation type) akustisia korrelaatioita. Tämä tutkielma lukeutuu ensin mainittuun tapaan, jossa lauluäänen akustisten piirteiden pohjalta on tehty muunnoksia (suodatuksia), ja toteutettu kuuntelut näiden piirteiden havainnoinnin tarkastelemiseksi.

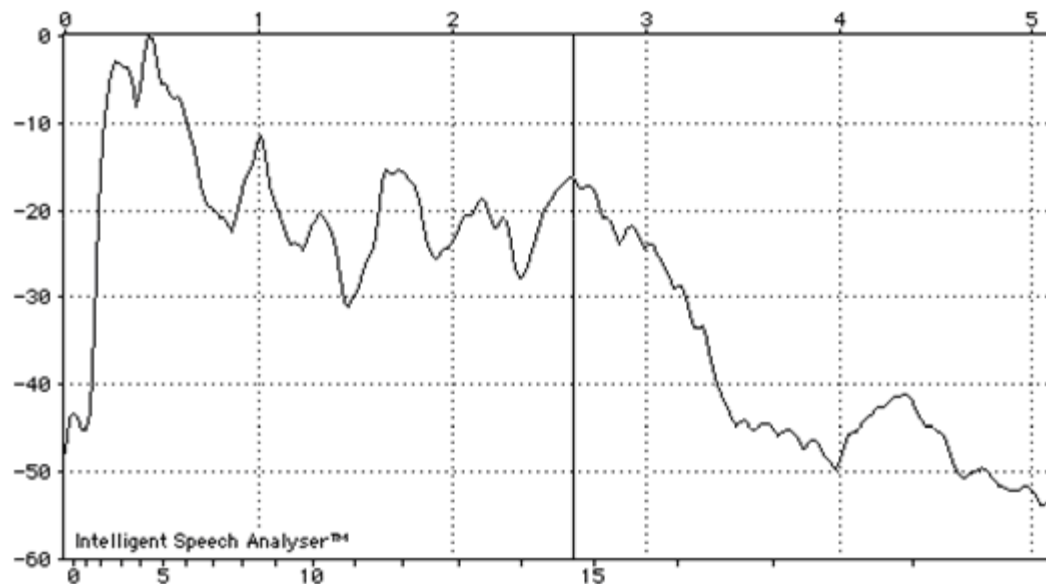
3.1 Näytteiden nauhoitus ja koehenkilöt

Tutkimuksessa käytetyt laulunäytteet ovat peräisin viideltä äänialaltaan altoksi luokitellulta koulutetulta laulajalta. He lauloivat tunnetun kansanlaulun ”Tuonne taakse metsämaan”, mikrofonin ja suun välisen etäisyyden ollessa 40cm. Laulun kokonaiskesto on yli minuutin ja siis riittävä hyvän keskiarvospektrin saamiseksi. Nauhoitukset on tehty puheopin laitoksen laboratoriossa, vaimennetussa ja äänieristetyssä huoneessa, vuosina 1981-1986. Kahden laulajan tapauksessa (A3 ja A4) käytetty nauhuri oli (digitaalinen) Technics SV-P100 ja mikrofoni äänityksissä Brüel & Kjaer, tyyppinumero 4165. Kolmen muun laulajan (A1, A2, Aili Purtonen) tapauksessa nauhurina oli Revox A700, mikrofoni RE11.

3.2 Näytteiden valinta ja suodatukset

Laulajien laulamista näytteistä valittiin sävellajiltaan kaikilta sama matalin, gis-molli. Kyseisessä sävellajissa laulun matalin sävel on pieni g ja korkein gis¹. Kuuntelunäytteitä varten kaikilta valittiin sama fraasi toisen säkeistön alusta ”*Vaikka polku pitkä on, kivinen ja kaita*”. Fraasin kesto laulettuna oli noin 9-11 sekuntia. Valitun fraasin aikana esiintyivät myös edellä mainitut koko laulun matalin ja korkein sävel.

Yhden laulajan, Aili Purtosen, spektri on erityinen (kuva 2), sillä siinä on havaittavissa voimakas laulajanformantti.



Kuva 2 Normalisoitu FFT-spektri Aili Purtonen laulunäytteestä

Laulajanformantti sijaitsee 2,5-3kHz:n taajuusalueella ja on suhteellisen vahva, korkeimman kohdan amplitudin ollessa noin -16dB.

Kaikkien viiden laulajan ääninäytteet tuotiin sisään ISA-ohjelmaan DAT-nauhalla. Näytteistä muodostettiin normalisoidut keskiarvospektrit (LIITE 1). ISA (Intelligent Speech Analyser) äänianalysointiohjelman on kehittänyt DI Raimo Toivonen.

Kuunteluita varten tehtiin 14 näytteen kuuntelupaketti. Purtonen esiintyy siinä kahdesti muokkaamattomana, jotta pystytään tarkastelemaan myöhemmin kuuntelijoiden pysyvyyssarviota samasta näytteestä. Loput neljä laulajaa esiintyivät näytteissä kerran itsenäisenä ja kerran suodatettuna. Tehdyissä suodatuksissa tarkoituksena oli nostaa laulajanformantin voimakkuutta muiden piirteiden pysyessä mahdollisimman muuttumattomina ja myös luonnollisen kuuloisina. Tämän vuoksi suodatuksissa pyrittiin saamaan laulajien koko laulusta saadut keskiarvospektrit, ja sitä kautta myös siis kuulohavaintoon vaikuttavat formanttipiirteet, näyttämään mahdollisimman samankaltaisilta kuin Purtonen laulunäytteestä saatu keskiarvospektri. Tämä toteutettiin vertaamalla alkuperäistä koko laulun normalisoitua FFT-keskiarvospektriä ja Purtonen keskiarvospektriä koko laulusta, ja määrittelemällä sitä kautta mitä taajuusalueita tuli vahvistaa ja mitä vaimentaa. Suodatukset toteutettiin varovaisella desibelivoimistuksella tai vaimennuksella +/-10dB ettei äänestä tulisi epäluonnollisen kuuloinen. Suodatusten lopputulokset tarkistettiin kuuntelemalla ja tekemällä kaikista laulunäytteistä keskiarvospektrit. Tämän jälkeen suodatetusta näytteestä rajattiin ja poimittiin valittu fraasi kuuntelua varten. Suodatukset tehtiin samalla periaatteella myös Aili Purtonen näytteestä, pyrkien muuntamaan sitä kunkin neljän eri laulajan mukaiseksi. Saadut 14 näytettä koostuivat siis Aili Purtonen

näytteen esiintymisestä kahdesti omana itsenään, suodatettuna neljän muun laulajan kaltaiseksi, sekä näiden neljän muun esiintymisestä itsenään ja kerran suodatettuna. Suodatusten tarkemmat tiedot ja keskiarvospektrit ovat liitteenä (LIITE2). Kahdessa näytteessä (Altto 2 ja Alto 2:n suodatus) oli ilmeisesti äänityksestä johtuen onntto tai tynnyrimäinen kaiku, joka ei kuitenkaan nähtävästi vaikuttanut itse tallennettuun äänen laatuun, joten nämä päätettiin ottaa kuunteluun mukaan.

Normalisoidut keskiarvospektrit ja suodatukset tehtiin myös ISA -ohjelmalla. Keskiarvospektreistä on poistettu tauot sekä s:n kaltaiset ja muut soinnittomat äänteet.

1.	$A^{3 \rightarrow P}$
2.	A^4
3.	$P^{\rightarrow 1}$
4.	A^2
5.	P
6.	$A^{1 \rightarrow P}$
7.	$P^{\rightarrow 2}$
8.	$P^{\rightarrow 4}$
9.	$A^{2 \rightarrow P}$
10.	A^3
11.	P
12.	A^1
13.	$P^{\rightarrow 3}$
14.	$A^{4 \rightarrow P}$

Taulukko 1 Suodatukset, jossa nuolet osoittavat mihin suuntaan suodatus on tehty. (P=Purtonen, muut: A1, A2, A3, A4)

3.3 Kuuntelijat 2009 ja 2012

Tutkimuksen kuuntelijoina 2009 toimi kymmenen henkilöä. Heistä neljä on klassisen laulun harrastajia. Henkilöt ovat Tampereen yliopiston puheopin laitoksen henkilökuntaa ja opiskelijoita. Yhtä lukuun ottamatta kaikilla on myös asiantuntemusta puhetekniikan ja vokologian alalta.

Tutkimuksen kuuntelijoina 2012 toimi yksitoista henkilöä. He kaikki ovat olleet tekemisissä systemaattisen laulukoulutuksen kanssa. Henkilöt ovat laulunopettajia, laulunopet-

tajaksi ja muusikoiksi opiskelevia Tampereen konservatoriosta ja Tampereen ammattikorkeakoulusta.

3.4 Kuuntelut 2009 ja 2012

Ensimmäisessä tutkimuksessa vuonna 2009 näytteet kuuntelutettiin ensin neljällä esikuuntelijalla, joiden tulokset otettiin huomioon sittemmin koko tutkimuksessa. Kuuntelulomakkeen arvioitavat parametrit ilmaistiin visuaalis-analogisella asteikolla (VAS – visual-analogical-scale), jonka kokonaismitta on 200mm. Arvioitavia parametreja olivat laatu, väri, kuuluvuus, helinä ja ääniluokka. Helinä (eng. ring) haluttiin ottaa kuunteluarvioissa huomioon, sillä se vaikuttaisi olevan juuri laulajanformantin ilmentymä.

Ääniluokan kuulija sai määritellä itse. Lisäksi kuuntelijalle annettiin lopuksi mahdollisuus kirjoittaa *Muita huomioita* kohtaan vapaasti. Tämä mahdollisuus annettiin siksi, että se saattaisi antaa viitteitä johonkin suuntaan tulosten pohdinnassa. Kohta oli vapaaehtoinen, mikä mainittiin kuuntelujen alussa. Kuuntelulomake on liitteenä (LIITE 3). Kuuntelut toteutettiin erikseen kolmelle henkilölle. Kahdella muulla eri kuuntelukerralla oli läsnä kerrallaan neljä ja kolme kuuntelijaa. Osassa kuunteluista kuuntelijoille määriteltiin hiukan ääniluokkia tai täsmennettiin kysyttäviä parametreja - erityisesti helinä oli monille hiukan epäselvä käsite. Kuuntelun alussa myös mainittiin näytteiden mahdollisesta ontosta kaiusta ja pyydettiin keskittymään äänenlaatuun. Tätä tarkempaa ohjeistusta ei kuitenkaan annettu, koska tavoiteltiin kuulijoiden omaa arviota ja vaikutelmaa äänistä.

Toisessa tutkimuksessa vuonna 2012 kuuntelut toteutettiin samana päivänä kahdessa erässä, joihin yksitoista kuuntelijaa jakautui. Kuuntelulomake ja ohjeistus olivat samat kuin edellisellä tutkimuskerralla.

3.5 Paikat ja laitteet 2009 ja 2012

Ensimmäisessä tutkimuksessa vuonna 2009 kuuntelut toteutettiin vaimennetussa tilassa, Tampereen yliopiston puheopin laitoksen kuunteluhuoneessa. Näytteet olivat tiedostomuotoa wav ja ne toistettiin esikuuntelussa CD:ltä tietokoneen Windows Media Player-soittimella ja seuraavilla kuuntelukerroilla suoraan tietokoneelle tallennettuna winamp-soittimella. Kaiutin oli merkittävästi Genelec biamp.

Uusintatutkimuksessa 2012 kuuntelut toteutettiin Tampereen konservatorion luentosalissa. Näytteistä tehtiin audio-CD-levy, jonka toistamiseen kuuntelutilaisuudessa käytettiin Sony CDP-XE370 CD-soitinta. Kaiuttimina oli kaksi Genelec 8030 A monitoria ja subwooferina Genelec 7050 B. Niiden volume-säätimenä toimi Yamahan vahvistin, malli RX-V 1600.

Kyseisessä luentosalitilassa käytetään useita erilaisia ääntä tarvitsevia laitteita, joten vahvistin toimi lähinnä jakajana, jolla ohjataan oikea äänilähde kaiuttimille ja kontrolloidaan voimakkuutta. Käytössä olleet kaiuttimet olivat aktiivikaiuttimia, joten vahvistimessa käytettiin pre-liitäntöjä. Aktiivikaiuttimet vahvistavat äänen itse, joten vahvistinta ei tarvittu siihen erikseen.

4 ANALYYSIT

4.1 Tutkimus vuonna 2009

Näytteistä tehtiin ISA-ohjelmalla normalisoidut FFT-keskiarvospektrit, joista mitattiin laulajanformantiksi tulkitun voimistuman 2500-3000Hz:n taajuusalueella korkeimman kohdan voimakkuus ja taajuus. Nämä tiedot syötettiin tilastolliseen analyysiohjelmaan SPSS.

Kuuntelulomakkeen visuaalis-analogiselta asteikolta mitatut millimetriluvut syötettiin tilasto-ohjelmaan SPSS (SPSS Inc, Chicago, Illinois) siten, että sarakemuuttujina olivat kymmenen kuuntelijan arviot viidestä eri äänenlaatua mittaavasta parametrasta, ja rivimuuttujina 14 näytettä. SPSS ohjelmasta käytettiin versioita SPSS-13 ja SPSS-15.

Kuuntelusta saatujen tulosten perusteella ääniluokat numeroitiin seuraavasti:

1. sopraano, 2. mezzosopraano, 3. altto, 4. kontra-altto. Kuuntelijoiden välistä samanmielisyyttä arvioitavista piirteistä tarkasteltiin Cronbachin alfa-kertoimella, jolla saadaan selville ovatko kuuntelijat olleet tietystä parametrasta kaikkien näytteiden osalta keskenään samanmielisiä vai ovatko arviot keskenään sattumanvaraisia.¹⁹ Visuaalis-analogisella asteikolla (VAS) mitattujen muuttujien kuunteluarvioista laskettiin jokaisen näytteen kohdalta keskiarvo. Laulajanformantin voimakkuuden sekä voimakkaimman kohdan taajuuden, eli keskitaajuuden, ja arvioitavien parametrien keskiarvojen välisiä riippuvuussuhteita analysoitiin Pearsonin korrelaatiokertoimen avulla, paitsi luokiteltua muuttujaa *ääniluokka*, jota tarkasteltiin moodilla. Tätä varten ääniluokasta tehtiin uusi matriisi, jossa muuttujat olivat toisinpäin niin, että sarakemuuttujana olivat ääniluokka-arviot ja rivimuuttujana kuuntelijat. Näin saatiin tarkasteluun jokaisen näytteen kohdalta erikseen arvioidut tulokset kaikkien kuuntelijoiden osalta.

Muita huomioita-sarakkeiden mahdolliset tekstit koottiin yhteen listaan näytenumeroitain, ja tarkasteltiin ilmeneekö tutkimuksen kannalta täsmentäviä seikkoja. Aili Purto sen näytteet esiintyivät suodattamattomana kaksi kertaa. Haluttiin tarkistaa myös kuuntelijoiden pysyvyysarvio. Näiden näytteiden tulosten osalta tehtiin käänteinen matriisi, jossa sarakemuuttujiksi vaihdettiin näytteet, sekä niistä arvioitavat parametrit ja rivimuuttujiksi kuuntelijat. Kuulijoiden yhteneväisyysarviot näistä näytteistä tehtiin Cronbachin alfa-kertoimella.

4.2 Tutkimus 2012

Uusintatutkimuksen tarkoitus oli toistaa vuonna 2009 tehty tutkimus niin tarkasti kuin se oli mahdollista. Tämän vuoksi keskiarvospektreistä tarvittavia arvoja ei tarvinnut enää mitata uudelleen, vaan analyyseissä käytettiin edellisestä tutkimuksesta saatuja tietoja. Myös uusista kuunteluarvioista saadut tulokset käsiteltiin kuten edellä ja niille tehtiin vastaavat analyysit. Tällä kertaa analyyseissä käytettiin SPSS- ohjelmasta versiota SPSS-19 ja SPSS-20.

5 TULOKSET

5.1 Tutkimus vuonna 2009

Spektreiltä mitatuiksi laulajanformantin voimakkuuksiksi (A=amplitudi) ja taajuuksiksi (T) saatiin lukemat, jotka näkyvät taulukossa 2.

	A (dB)	T (Hz)
1.	-15,00	2840,00
2.	-24,50	2780,00
3.	-22,50	2500,00
4.	-23,00	2500,00
5.	-16,50	2620,00
6.	-17,00	2520,00
7.	-22,00	2490,00
8.	-22,00	2500,00
9.	-16,50	2670,00
10.	-19,50	2610,00
11.	-16,50	2620,00
12.	-23,00	2510,00
13.	-18,50	2620,00
14.	-19,50	2550,00

Taulukko 2 Spektreiltä mitatut laulajanformantin voimakkuudet ja keskitaajuudet näytteittäin.

Kuuntelijoiden arviot eivät osoittaneet olevan keskenään kovin yhteneväisiä. Ainoastaan värin suhteen kuulijoiden arvioissa oli samankaltaisuutta. Siinä Cronbachin alpha on 0,853 ja siten ylittää suositellun 0,7 rajan (Heikkilä 1998, 179). Laadun (Cronbachin alpha 0,256), kuuluvuuden (0,345) ja helinän (0,16) suhteen kuulijoiden arviot ovat vain heikosti yhteneväisiä (Taulukko 3).

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items	
Laatu	,256	10
Väri	,853	10
Kuuluvuus	,345	10
Helinä	,160	10

Taulukko 3 Cronbachin Alpha- tulokset VAS-asteikolla mitatuista parametreistä

Vastaukset ääniluokka-kysymyksessä jakautuivat lähinnä kahteen ääniluokkaan, *mezzo-sopraano* (2) ja *altto* (3) (ks. Taulukko 4)

Statistics

	N		Mode	
	Valid	Missing		
n1äänilk	9	1	3	A ^{3→P}
n2äänilk	9	1	3	A ⁴
n3äänilk	9	1	2(a)	P ^{→1}
n4äänilk	10	0	3	A ²
n5äänilk	10	0	3	P
n6äänilk	9	1	3	A ^{1→P}
n7äänilk	9	1	2(a)	P ^{→2}
n8äänilk	10	0	2	P ^{→4}
n9äänilk	9	1	3	A ^{2→P}
n10äänilk	9	1	3	A ³
n11äänilk	9	1	3	P
n12äänilk	10	0	3	A ¹
n13äänilk	10	0	3	P ^{→3}
n14äänilk	10	0	3	A ^{4→P}

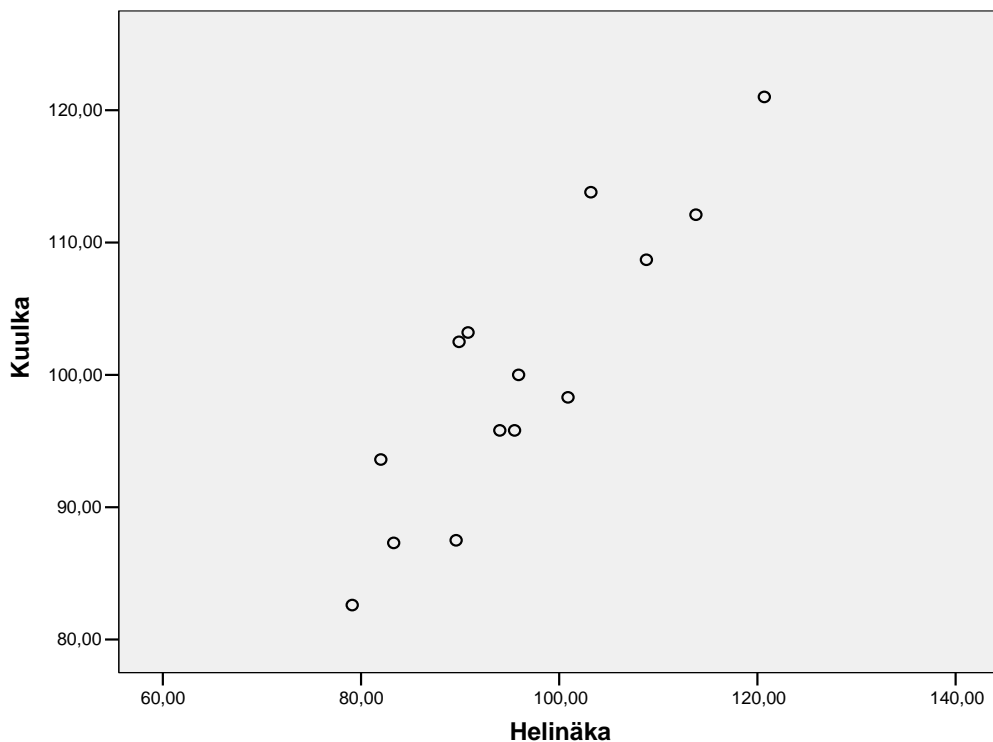
a Multiple modes exist. The smallest value is shown

Taulukko 4 Ääniluokka-muuttujan moodi ja näytettä vastaavat suodatukset

Taulukko 4 on tehty käännetyn matriisin avulla siten, että on saatu jokaisen näytteen kohdalta kuuntelijoiden arvioiden moodit. Taulukossa olevat *Valid* ja *Missing* arvot tarkoittavat kuinka monta vastausta on otettu moodin laskemiseen mukaan ja kuinka

monta vastausta puuttuu. Vastauksen puuttuminen johtui joko siitä, ettei kuuntelija ollut määritellyt ääniluokkaa tai oli pistänyt useamman vaihtoehdon, jolloin vastausta ei voitu määrittellä ja tuloksen katsottiin puuttuvan. Oikealla puolella moodin viereen on erikseen liitetty tieto kuunnellusta näytteestä (P= Aili Purtonen) ja sen mahdollisesta suodattavasta. Tästä voidaan nähdä, etteivät kuuntelijoiden arviot noudattaneet erityistä säännönmukaisuutta, eikä suodatuksessa tehdyllä laulajanformantin voimistuksella tai vaimentamisella ollut taipumusta johtaa arviota tiettyyn ääniluokitukseen. Tosin, jotain oireellista voidaan havaita Purtonen näytteistä tehtyjen suodatusten kohdalla. Näissä yhtä lukuun ottamatta näytteet on luokiteltu yhtä ääniluokkaa korkeammiksi kuin mitä suodattamaton versio, eli muutos tapahtui altosta mezzosopraanoksi.

Pearsonin korrelaatiokertoimen avulla tehdyissä analyyseissä hyvin merkitsevästi keskenään korreloivat parametrit *helinä* ja *kuuluvuus* ($r=0,887$), 2-tailed signifikanssin ollessa alle 0,001. Tätä havainnollistaa pisteparvikuvaaja (kuva 3), josta voidaan huomata että suhde on lineaarinen, eli molemmat muuttujat kasvavat yhtä aikaa.



Kuva 3 Kuuluvuuden ja helinän välinen korrelaatio kuvattuna pisteparven muodossa

Correlations

		Laatuka	Värika	Kuulka	Helinäka	dB	Hz
Laatuka	Pearson Correlation	1	,422	-,063	-,306	,246	,196
	Sig. (2-tailed)		,132	,832	,287	,396	,502
	N	14	14	14	14	14	14
Värika	Pearson Correlation	,422	1	-,181	-,265	,116	-,308
	Sig. (2-tailed)	,132		,535	,359	,693	,284
	N	14	14	14	14	14	14
Kuulka	Pearson Correlation	-,063	-,181	1	,887(**)	,233	,167
	Sig. (2-tailed)	,832	,535		,000	,422	,568
	N	14	14	14	14	14	14
Helinäka	Pearson Correlation	-,306	-,265	,887(**)	1	-,055	-,004
	Sig. (2-tailed)	,287	,359	,000		,852	,990
	N	14	14	14	14	14	14
dB	Pearson Correlation	,246	,116	,233	-,055	1	,410
	Sig. (2-tailed)	,396	,693	,422	,852		,145
	N	14	14	14	14	14	14
Hz	Pearson Correlation	,196	-,308	,167	-,004	,410	1
	Sig. (2-tailed)	,502	,284	,568	,990	,145	
	N	14	14	14	14	14	14

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

Taulukko 6 Korrelaatiolukemat kuunteluarvioiden ja laulajanformantin voimakkuuden ja keskitaajuuden välisestä tarkastelusta

Laulajanformantin voimakkuudella ja taajuudella ei näyttänyt olevan merkitsevää korrelaatiota muiden parametrien kanssa (ks. Taulukko 5). Kuuntelijoiden tulokset eivät olleet myöskään pysyviä kahta samaa näytettä (Purtonen normaali) arvioitaessa. Vain helinä, ääniluokka ja kuuluvuus ovat lievästi lähellä suositeltua 0,7 rajaa (Heikkilä 1998, 179).

Reliability Statistics	
Cronbach's Alpha	N of Items
Laatu	,472
Väri	,460
Kuuluvuus	,570
Helinä	,667

Taulukko 5 Kuulijoiden pysyvyysarvio samasta näytteestä (Purtonen normaali, näytteet 5 ja 11)

5.2 Tutkimus vuonna 2012

Kuuntelijoiden arviot eivät osoittaneet juuri yhteneväisyyttä muun kuin värin suhteen. Värin Cronbachin alfa-kerroin on 0,914, eli arvo ylittää selvästi tilastollista merkittävyyttä tarkoittavan suositellun 0,7 rajan (Heikkilä 1998, 179).

Laadun (Cronbachin alfa 0,117), kuuluvuuden (Cronbachin alfa 0,190) ja helinän (Cronbachin alfa 0,012) kuulijoiden arviot olivat vain hyvin heikosti yhteneväisiä. (ks. Taulukko 7)

Reliability Statistics	
Cronbach's Alpha	N of Items
Laatu	,117
Väri	,914
Kuuluvuus	,190
Helinä	,012

Taulukko 7 Cronbachin Alpha- tulokset VAS-asteikolla mitatuista parametreista

Vastaukset ääniluokkakysymyksessä jakautuivat moodien perusteella kolmeen ääni-
luokkaan *sopraano* (1), *mezzosopraano* (2) ja *altto* (3) (ks. Taulukko 8).

Statistics			
	N		Mode
	Valid	Missing	
n1äänilk	11	0	2 A ^{3→P}
n2äänilk	11	0	2 ^a A ⁴
n3äänilk	10	1	2 P ^{→1}
n4äänilk	11	0	3 A ²
n5äänilk	11	0	2 P
n6äänilk	11	0	3 A ^{1→P}
n7äänilk	11	0	2 P ^{→2}
n8äänilk	11	0	1 ^a P ^{→4}
n9äänilk	11	0	3 A ^{2→P}
n10äänilk	11	0	1 A ³
n11äänilk	10	1	2 P
n12äänilk	11	0	3 A ¹
n13äänilk	11	0	2 P ^{→3}
n14äänilk	11	0	2 A ^{4→P}

a. Multiple modes exist. The smallest value is shown

Taulukko 8 Ääniluokka-muuttujan moodi ja näytettä vastaavat suodatukset

Taulukko 8 on tehty samalla periaatteella kuin Taulukko 4. Taulukosta voidaan nähdä kuuntelija-arviointien ääniluokan arvojen keskiarvot kaikista näytteistä ja vieressä näkyy näytteiden suodatustavat. Taulukosta nähdään ainakin se, että Purtoisen normaalinäytteiden tapauksessa ääniluokka-arviot on arvioitu samalla tavalla (P= Aili Purtonen), eli kuulijat ovat olleet suurimmaksi osaksi samaa mieltä molempien näytteiden kohdalla. Oletus Purtoisen näytteiden tapauksessa oli, että ne olisi arvioitu altoiksi, mutta tässä kuuntelussa arviointitulos oli mezzosopraano. Suodatuksilla ei näyttänyt olevan tässäkään juuri vaikutusta ääniluokasta tehtyihin arvioihin. Ainoastaan jotain hyvin hienovaraisesti oireellista voidaan havaita A3:n suodatuksen kohdalla, jolloin ääniluokka on arvioitu yhtä ääniluokkaa matalammaksi, eli sopraanosta mezzosopraanoksi. Purtoisen näytteistä tehtyjen suodatuksen tapauksessa vain yhdessä näytteessä on ääniluokka arvioitu yhtä korkeammaksi (mezzosopraanosta sopraanoksi) kuin suodattamattomassa versiossa.

Pearsonin korrelaatiokertoimen mukaan tehdyissä analyysissä hyvin merkitsevästi keskenään korreloivat *kuuluvuus* ja *helinä* ($r=0,708$ ja 2-tailed signifikanssi 0,005).

Lisäksi tilastollisesti melkein merkitsevästi korreloivat *kuuluvuus* ja *laatu* ($r=0,598$ ja 2-tailed signifikanssi 0,024) ja *laatu* ja *helinä* ($r=0,606$ ja 2-tailed signifikanssi 0,022) (ks. Taulukko 8)

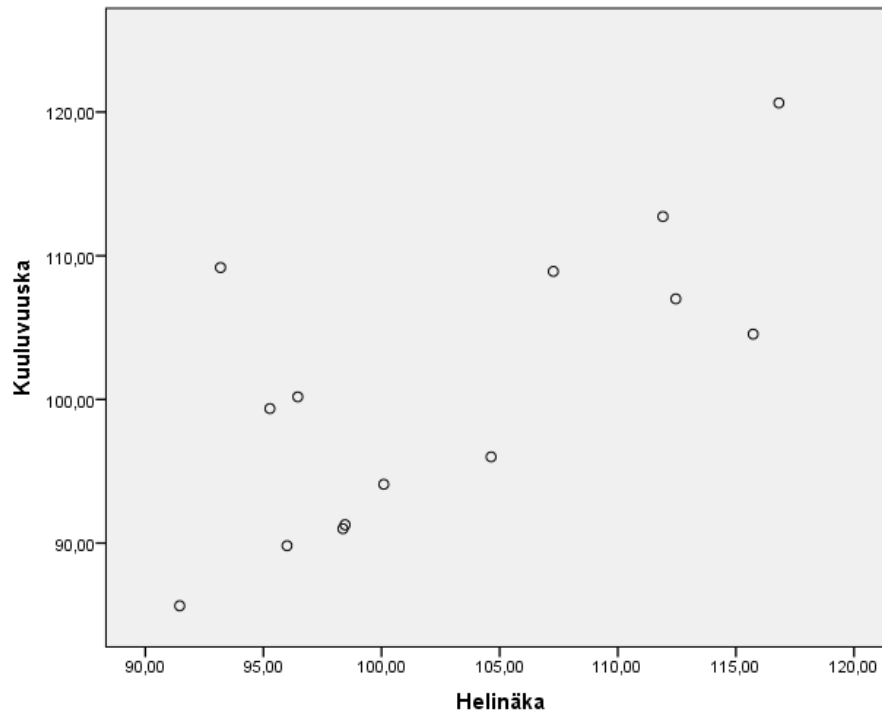
		Correlations					
		Laatuka	Värika	Kuuluvuuska	Helinäka	A (dB)	T (Hz)
Laatuka	Pearson Correlation	1	,136	,598*	,606*	,492	,140
	Sig. (2-tailed)		,643	,024	,022	,074	,634
	N	14	14	14	14	14	14
Värika	Pearson Correlation	,136	1	-,032	,248	,033	-,243
	Sig. (2-tailed)	,643		,913	,392	,912	,404
	N	14	14	14	14	14	14
Kuuluvuuska	Pearson Correlation	,598*	-,032	1	,708**	,524	-,069
	Sig. (2-tailed)	,024	,913		,005	,055	,815
	N	14	14	14	14	14	14
Helinäka	Pearson Correlation	,606*	,248	,708**	1	,167	-,346
	Sig. (2-tailed)	,022	,392	,005		,567	,226
	N	14	14	14	14	14	14
A (dB)	Pearson Correlation	,492	,033	,524	,167	1	,410
	Sig. (2-tailed)	,074	,912	,055	,567		,145
	N	14	14	14	14	14	14
T (Hz)	Pearson Correlation	,140	-,243	-,069	-,346	,410	1
	Sig. (2-tailed)	,634	,404	,815	,226	,145	
	N	14	14	14	14	14	14

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

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

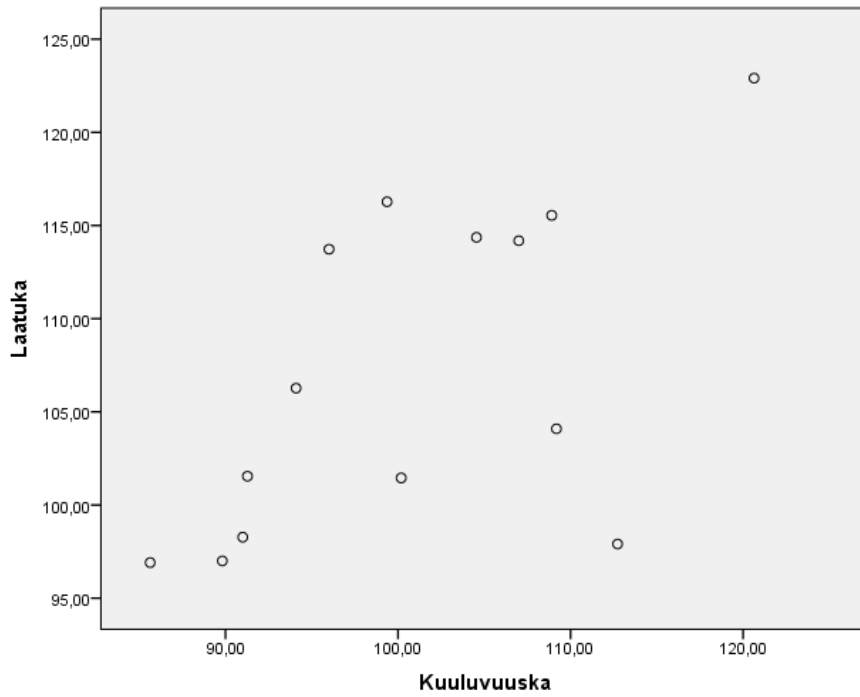
Taulukko 9 Korrelaatiolukemat kuunteluarvioiden ja laulajanformantin voimakkuuden ja keskitaajuuden välisestä tarkastelusta

Kuuluvuuden ja helinän välistä suhdetta kuvaa pisteparvikuvaaja (kuva 4) josta voidaan havaita muutoksen olevan pientä hajontaa lukuun ottamatta lineaarinen.

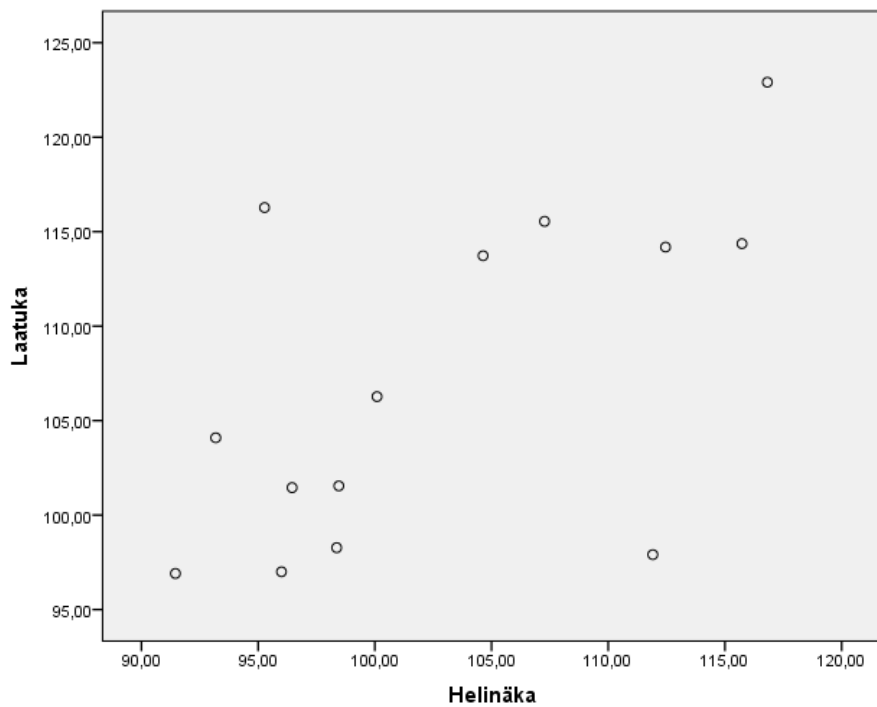


Kuva 4 Kuuluvuuden ja helinän välinen korrelaatio kuvattuna pisteparven muodossa

Melkein merkitsevästi korreloivat parit *kuuluvuus* ja *laatu* (kuva 5), ja *helinä* ja *laatu* (kuva 6). Niistä tehdyistä pisteparvikuvaajista voi havaita hiukan hajanaisemman, mutta kuitenkin lineaarisen suunnan.



Kuva 5 Kuuluvuuden ja laadun välinen korrelaatio kuvattuna pisteparven muodossa



Kuva 6 Helinän ja laadun välinen korrelaatio kuvattuna pisteparven muodossa

Kuulijat eivät olleet juuri samanmielisiä arvioidessaan Purtoisen normaalinäytteitä. Vain värin suhteen kuulijat olivat tilastollisesti katsoen samanmielisiä.

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
Laatu ,680	2
Väri ,700	2
Kuuluvuus ,527	2
Helinä -,004	2

Taulukko 10 Kuulijoiden pysyvyysarvio samasta näytteestä (Purtonen normaali, näytteet 5 ja 11)

5.3 Tutkimustulosten vertailu

Cronbachin alfa-kerrointestit näyttivät molemmilla kuuntelijajoukoilla samansuuntaisen tuloksen. Uuden kuulijaryhmän tulokset ovat kuitenkin edellistä korostuneemmat. Siinä kuulija-arvioiden hajonta on suurempaa kuin edellisellä ryhmällä, paitsi värin tapauksessa, jossa kuulijat olivat selvästi samanmielisempiä arvioissaan kuin ensimmäinen ryhmä (ks. taulukko 3 ja taulukko 7).

Ääniluokka-arviot olivat uudella ryhmällä selkeästi vaihtelevampia kuin ensimmäisellä ryhmällä. Ryhmät olivat samanmielisiä vain kuuden näytteen tapauksessa neljästätoista (ks. taulukko 4 ja taulukko 8).

Korrelaatioanalyysissä oli kuulijaryhmien välillä havaittavissa suurempia eroja. Molempien ryhmien tuloksissa oli merkitsevää korreloivuutta helinän ja kuuluvuuden välillä (ks. taulukko 6 ja taulukko 10, kuva 3 ja kuva 4). Ensimmäisestä ryhmästä poiketen uuden kuulijaryhmän tuloksista voitiin havaita korreloivuutta myös kuuluvuuden ja laadun sekä helinän ja laadun välillä (ks. taulukko 10, kuva 5 ja kuva 6).

Purtosen normaalinäytteistä (näyte 5 ja näyte 11 olivat molemmat sama muokkaamaton näyte) arvioitujen piirteiden suhteen ei vastauksissa näytä myöskään olevan säännönmukaisuutta kuuntelijoiden välillä, paitsi uudella kuuntelijaryhmällä. Uuden ryhmän kuulijat vaikuttavat olevan värin suhteen melko samanmielisiä.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTUTKIMUSEHDOTUKSIA

Kuulija-arviot eivät osoittaneet, että laulajanformantin voimakkuudella ja taajuudella olisi ollut näissä näytteissä suoraan vaikutusta äänestä arvioituihin piirteisiin (laatu, kuuluvuus, väri, helinä ja ääniluokka), vaikka kuuluvuus ja helinä, helinä ja laatu sekä laatu ja kuuluvuus korreloivatkin tilastollisesti keskenään. Aili Purto sen näytteistä tehdyissä suodatuksissa, missä laulajanformanttia vaimennettiin, oli osa ensimmäisen ryhmän kuulijoista arvioinut nämä näytteet keskimäärin yhtä ääniluokkaa korkeammaksi eli mezzosopraanoksi, mutta toisella kuulijaryhmällä vastaavaa muutosta ei ilmennyt aivan niin selkeästi. Ääniluokka-arviot eivät muutu vastaavasti muiden laulajien tapauksissa. Kenties matalammilla taajuuksilla on enemmän vaikutusta äänestä arvioituihin piirteisiin kuin suoraan laulajanformantilla.

Molemmat kuuntelijaryhmät havainnoivat näytteistä kuitenkin jotain, mikä korreloi helinän ja kuuluvuuden kesken (kuva 3 ja kuva 4). Mikäli ajatellaan, että helinä vastaa havaintoparametrinä laulajanformanttia, voisi sen olettaakin korreloivan kuuluvuuden kanssa. Uudessa tutkimuksessa lievää korreloivuutta löytyi myös kuuluvuuden ja laadun sekä helinän ja laadun välillä (ks. kuva 5 ja kuva 6). Kuuluvuuden ja laadun välinen korrelointi saattaa liittyä siihen mitä kuulijat arvostavat äänessä, mikäli ajatellaan, että hyvälaatuinen ääni on myös kuuluva. Helinän ja laadun välinen lievä korreloivuus voisi viitata siihen, että laulajanformantilla on vaikutusta äänen laadusta tehtyihin arviointeihin. Mikäli helinä käsitteenä vastaa laulajanformanttia, voisi tästä korrelaatiosta päätellä, että hyvälaatuisessa äänessä ilmenee laulajanformantti. Laulajanformantin amplitudi ja keskitaajuus eivät tässä tutkimuksessa kuitenkaan korreloineet minkään arvioitavan parametrin kanssa, joten ei voida suoraan tehdä päätelmää siitä, että havaitut korrelaatiot johtuisivat juuri laulajanformantista. Laulajanformantti ei näyttäisi siis olevan ainaakaan suurin vaikuttaja naisäänestä arvioiduissa piirteissä. Mielenkiintoista on mikä sitten kuullaan helinänä ja mikä parantaa samaan aikaan kuuluvuutta, jos se ei ole laulajanformantti.

Tutkimus voisi vahvistaa Leinin ja Toivokosken (1994, 44) päätelmän siitä, että laulajanformantin rakenteella on vaikutusta enemmän äänen kantavuuden ja siis kuuluvuuden kannalta, koska helinä ja kuuluvuus havaintoparametreinä korreloivat keskenään, mutta koska akustiset mittaukset (laulajanformantin voimakkuus ja keskitaajuus) eivät kuitenkaan korreloineet minkään parametrin kanssa, edellä mainittua päätelmää ei tä-

män tutkimuksen perusteella voida suoraan vahvistaa. Kuuntelija-arvioihin vaikuttivat kenties hyvin paljon myös laulusuorituksen laatu ja muut äänelliset piirteet.

Tunkkaisuutta kommentoitiin niiden näytteiden tapauksessa missä Purtoisen näytettä oli suodatettu niin, että laulajanformantti saatiin laskemaan. Tästä voidaan lähinnä spekuloida, että laulajanformantin puuttuminen saattoi tehdä äänestä tunkkaisemman, kun se ei ollut läsnä kirkastamassa matalia säveliä. Purtoisen alkuperäisestä näytteestä saadussa keskiarvospektrissä on myös havaittavissa voimakas piikki 4-4,5kHz:n taajuudella, joka myös vaimeni laulajanformantin voimakkuutta laskeessa. Kenties kyseisen taajuusalueen voimistumalla on myös tekemistä äänen kirkkauden kanssa. Koska Purtoisen näytteistä tehdyt suodatukset kuitenkin luokiteltiin keskimäärin yhtä ääniluokkaa korkeammiksi ainakin ensimmäisen kuuntelijaryhmän tuloksissa, ja suodatukset tehtiin muiden laulajien keskiarvospektrien mukaisiksi, on kiinnostavaa mikä on se, joka muilta laulajilta puuttuu ja mikä Purtosella on. Äänen kirkkaus mielletään useimmiten hyvän äänen piirteeksi. Jos laulajanformantti on vain ylimääräinen hyvä piirre alttoäänessä siten, ettei se suoranaisesti määrittele ääniluokkaa, vaikuttaako se kuitenkin hyvän äänenlaadun arvioon alttoäänestä, kuten yleensä miesäänissä? Bloothoofin ja Plompin (1986) tutkimuksessa havaittiin, että hyväksi arvioidussa äänessä laulajanformantin taso oli n. -20dB, mutta he totesivat myös, ettei se ole välttämättömyys hyvän äänen määritelmälle. Tässä tutkimuksessa laulajanformantin tason ei myöskään havaittu juuri vaikuttavan äänenlaatuun. Koska ei voida vahvistaa suoraan, että helinä käsitteenä vastaisi laulajanformanttia, voidaan vain spekuloida uudessa tutkimuksessa esiin tullutta lievää korrelaatiota helinän ja äänenlaadun kesken.

Ensimmäisen tutkimuksen kuulijat kommentoivat *muuta huomioita*-osioissa joidenkin näytteiden kohdalla arvelevansa että helinää esiintyi laulussa sävelkorkeudeltaan korkeimmassa kohdassa. Tämä voisi johtua esimerkiksi vibraton ominaisuuksista. Vibrato on periodista äänen taajuuden vaihtelua ja se on eräs koulutetun äänen ominaispiirteistä oopperalaulussa. Vibratosyklissä äänen taajuus nousee ja laskee, eli *aaltoilee* laulajasta riippuen noin välillä 5,5-7,5 *huojahdusta* sekunnissa. Koska vibraton takia taajuudet vaihtelevat ääntötaajuuden (laulettavan sävelen) aikana enemmän, myös osasävelet vaihtelevat synkroniassa. Tämä vaikuttaa kokonaisamplitudiin, eli äänekkyshavaintoon äänestä. Jokainen spektrin osasävel määräytyy sen mukaan, mikä niiden etäisyys on formanttitaajuuksista. Formanttitaajuudet ovat resonanssin ja voimistuman mahdollisuus ääniväylässä. Mikäli osasävel osuu formanttiin, sen amplitudi kasvaa kaiken muun

pysyessä ennallaan. Vibrato saa aikaan sen, että kokonaisamplitudi vaihtelee ja osasävelet joko osuvat formantteihin tai eivät. (Sundberg 1987, 164) Varsinkin korkealta lauletaessa vibraton ollessa mukana osasävelet jotka osuvat formantteihin saavat kenties aikaan vaikutelman siitä, että ääneen tulee enemmän voimaa, kirkkautta ja helinää.

Olisi mielenkiintoista selvittää isommalla aineistolla, jossa mukana olisi myös muita naisääniluokkia laulamassa samalta sävelkorkeudelta, suuremmilla ja systemaattisemmilla laulajanformantin tason ja taajuuden eroilla, minkälaisia taipumuksia kuulijarvioissa ilmenee esimerkiksi juuri ääniluokan suhteen. Vaikka kaikki laulajat pystyisivätkin laulamaan samalta sävelkorkeudelta, ääniväylän pituus ratkaisee syntyvän äänenväriin ja siis formanttitaajuudet ja niiden voimakkuudet. Suurempi ja monipuolisempi aineisto mahdollistaisi yksilöerojen vaikutusten minimoimisen ja ryhmäerojen esiin saamisen, kuten Leino ja Toivokoski (1994, 44) totevat artikkelinsa lopussa. Laulunäytteet voisivat myös olla pitempiä.

Leino ja Toivokoski (1994, 41) ovat myös ehdottaneet, että sopraanojen ja mezzojen (kenties ääniluokkia erottavaa) yläsävelten keskimääräistä voimakkuutta pitäisi tutkia suuremmalla aineistolla. Sopraanoilla on havaittu keskialalta ja matalalta lauletaessa laulajanformanttiin viittaava, mutta leveämpi voimistuma 3-4kHz:n taajuusalueelta. Sopraanoiden spektreissä on kuitenkin voimakkaita osasäveliä myös korkeammalla taajuusalueella, kun taas mezzoilla ja altoilla nämä taajuusalueet vaimenevat 3kHz:n, eli laulajanformanttina pidetyn taajuusalueen, jälkeen. (Leino ja Toivokoski 1994, 41; Weiss & Brown & Morris 2001). Voisi olla mielenkiintoista selvittää, onko tällä spektrillä nähtävällä erolla merkitystä ääniluokkaa erottelevana piirteenä kuulijahavainnoissa. Tämän tutkimuksen näytteiden laulajien alkuperäisissä spektreissä oli jokaisella voimakas piikki noin 1,5-2kHz:n taajuusalueella. Kiinnostavaa on mikä havainnollinen merkitys kyseisen taajuusalueen voimistumalla on äänenväri vaikutelman syntyyn jos matalat taajuudet ovat todella merkityksellisempiä.

7 POHDINTA

Lauluäänestä tehtyjen tämänkaltaisten, ensi näkemältä ei ehkä niin käytäntöön sovellettavien, tutkimusten suhteen saattaa lukijalla herätä kysymys siitä, mikä on tutkimuksen laajempi motiivi. Taustalla lienee ylipäätään halu ymmärtää maailmaa ja sen ilmiöitä, mutta myös sitä kautta saavuttaa muita hyödyttäviä sovelluksia ja kenties tehdä parannuksia entiseen. Ensimmäinen askel on kuitenkin ymmärrys. Tämän tutkimuksen yleisenä lähtökohtana voidaan pitää halua selvittää ääniluokkia erottelevia piirteitä, minkä jälkeen tehtiin tutkimuskysymyksessä esitetty rajausta nimenomaan alttoääniin ja tiettyihin piirteisiin, teoriapohjan perusteella täsmällisemmin laulajanformantin vaikutuksiin. Alttoääniä ei ole myöskään tutkittu kovin paljon. Ei siis tiedetä tarkkaan, mikä tekee altosta niin sanotusti juuri alton. Tässä tutkimuksessa tarkastelu rajattiin myös vain perusääniluokkiin (sopraano, mezzosopraano, altto, tenori, basso), eikä puhuta esimerkiksi tiukemmasta äänityyppiäottelusta ääniluokkien sisällä (fakit).

Näytteiden ääniluokka-arviot erosivat melko selkeästi eri kuuntelijaryhmien välillä. Uusi kuuntelijaryhmä luokitteli laulajan altoksi paljon harvemmin kuin ensimmäinen kuuntelijaryhmä. Kiinnostavaa on se, mikä eri asiantuntijaryhmien välillä aiheuttaa eron ääniluokkaan luokitteluksissa. Ensimmäisen kuuntelijaryhmän jäsenet olivat pääosin puhetekniikan ja äänentutkimuksen asiantuntijoita ja heistä neljä oli myös laulun harrastajia. Laulun harrastajina he ovat kenties tottuneempia arvioimaan lauluääntä sekä tekemään luokituksia. Tähän liittyy siis se, mitä kuulijan korva on tottunut kuulemaan ja arvioimaan, mihin se on niin sanotusti kalibroitu. Muut ensimmäisen ryhmän kuuntelijat kuitenkin omasivat tietoutta puheen ja äänentutkimuksen alueelta, ja olivat siis asiantuntijoita äänenlaadun ja äänen eri piirteiden analysoimisessa. Uuden kuuntelijaryhmän jäsenet olivat kaikki klassista laulua opiskelleita, osa laulunopettajia ja osa laulun ammattiopiskelijoita. He kaikki ovat olleet tekemisissä systemaattisen laulukoulutuksen kanssa.

Tutkimukseen haluttiin ottaa uusi asiantuntijaryhmä juuri laulunopettajista ja laulajista, jotta asiantuntijaryhmien välisiä yhteneväisyyksiä ja eroja pääsisi vertailemaan. Laulunopettajat joutuvat työssään kuuntelemaan ja arvioimaan äänellisiä ominaisuuksia suunnatessaan oppilaitaan heille soveltuvaan ääniluokkaan. Laulunopiskelijat ovat puoles-

taan koko ajan tekemisissä laulukoulutuksen kanssa ja todennäköisesti kuuntelevat paljon erilaisia laulajia.

Uusi kuuntelijajoukko arvioi tutkimuksen lähtökohtaisesta oletuksesta poiketen myös Purtozen ääninäytteet alton sijaan mezzosopraanon ääniluokkaan. Kenties nämä kuulijat eivät luokitelleet ääniä aivan niin selkeästi altoiksi kuin edellinen ryhmä, koska tiedetään että altoja on vähän ja on totuttu kuulemaan välillä esimerkiksi hyvin tummiakin mezzosopraanoita.

Tutkimuksen luotettavuuden suhteen on tarpeen pohtia myös virhelähteitä ja niiden merkityksiä. Koska selkeää vastausta tutkimuskysymykseen ei saatu, voi olla, että laulajanformantin voimakkuuden ja keskitaajuuden vaihtelu on niin pientä, ettei sen perusteella vielä ääniluokkaeroja synny. Laulajanformantin voimakkuus ja keskitaajuus eivät vaihdelleet näytteittäin myöskään kovin systemaattisesti, suodatusmenettelystä johtuen. Ääniluokitukseen vaikuttavat tärkeimmät seikat lienevät jossain muualla, ehkä matalammilla taajuuksilla. Matalampien taajuuksien tiedetään vaikuttavan paljon äänenväriin. Äänenväri lienee ehkä siis suurin merkittävä ääniluokkaan sijoittumisessa. Purtozen näytteistä tehtyjen suodatusten perusteella voitiin kuitenkin havaita, että jokin aiheutti ääniluokka-arvion muutoksen altosta mezzosopraanoksi ensimmäisellä kuulijaryhmällä kolmessa tapauksessa neljästä ja toisella kuulijaryhmällä yhdessä tapauksessa neljästä. Suodatuksessa muutettiin myös muita taajuusalueita kuin laulajanformantin aluetta, jottei äänestä tulisi epäluonnollisen kuuloinen. Tästä johtuen ja siksi, että muiden laulajien suodatukset eivät saaneet aikaan samanlaista muutosta arvioissa, ei voida kuitenkaan päätellä, että syy olisi ollut juuri laulajanformantissa.

Näytteissä esiintyvät laulajat eivät myöskään laulaneet lavatilanteessa. Tilanne on saattanut vaikuttaa laulajien äänenmuodostukseen nauhoitushetkellä. Voi olla, että saadut laulajanformantin tasot olisivat olleet erilaiset, mikäli laulajilla olisi ollut tilanteen vaatima tarve muodostaa tietynlainen ääni kuuluakseen orkesterin yli. Saattaa myös olla, että toisilla laulajilla laulajanformantin muodostus on ollut vasta alkuvaiheessa. Heidän laulajanformanttinsa oli laajemmalla taajuusalueella, eikä niin selkeästi yksihuippuinen kuin Purtosella. Hänellä laulajanformanttia edelsi selkeä laaksokohta, ja osasävelet 3kHz:n yläpuolella olivat voimakkaammin vaimenneet kuin muilla. Muita laulajia kuitenkin arvioitiin vaihtelevasti myös altoiksi, joten laulajanformantilla ei nähtävästi ollut vaikutusta ääniluokitukseen. Myös Berndtson ja Sundberg (1973) havaitsivat tutkimuksessaan naisten ääniluokitusten suhteen vastausten olevan hajanaisempia, vaikka miesten tapauksessa laulajanformantin taajuus nousi selkeämmin ääniluokan mukana.

Seuraavat käytössä olleeseen tekniikkaan liittyvät seikat täytyy ottaa huomioon, vaikka tässä tutkimuksessa ne eivät luultavasti tuloksiin juuri vaikutakaan. Kahden näytteen tapauksessa on ollut käytössä eri mikrofoni kuin kolmen muun. Kaikkein parasta olisi, jos käytetyt mikrofonit olisivat samat. Tämä siksi, että eri mikrofonit saattavat ottaa ääntä sisään hieman eri tavalla. Tässä tutkimuksessa sillä tuskin on kuitenkaan kovin paljon vaikutusta lopputulokseen. Suodatukset ja kuuntelut tehtiin täysin spektrien perusteella, eli niitä tarkastelemalla ja muokkaamalla haluttuun suuntaan joko voimistamalla laulajanformantin tasoa tai vaimentamalla sitä.

Uuden tutkimuksen tapauksessa ei ole tietoa, oliko kuunteluissa käytetty CD-soitin kytketty digitaalisesti vai analogisesti vahvistimeen, joka jakajana toimiessaan ohjasi sen kaiuttimiin. Digitaalinen kytkentä saattaisi periaatteessa parantaa äänenlaatua, koska tällöin vahvistin (jossa on CD-soitinta paremmat muuntimet) muuntaisi äänen kaiuttimille, mutta tässä tapauksessa sillä tuskin on ollut kuultavan äänen ja siis tulosten luotettavuuden kannalta merkitystä.

Kahden näytteen kohdalla oli kumeutta (A2 ja A2:n suodatus), jota suurin osa kuuntelijoista kommentoi *muita huomioita*-osiossa. Kuuntelijat kuvailivat kumeutta siten, että kuulosti siltä kuin laulaja olisi laulanut tynnyrin pohjalta. Osa kommentoi myös, että siitä oli vaikea tehdä päätelmiä. Itse äänenlaatu näytteessä oli kelpaava, mutta on mahdollista että lyhyessä näytteessä kumeus jonkin verran häiritsi, koska voi vaatia hetken ohittaa häiritsevä äänellinen piirre muun tieltä.

Kuuntelut suoritettiin ensimmäiselle kuuntelijajoukolle vaimennetussa tilassa ja toiselle hieman kaikuisammassa, rakenteeltaan ylöspäin nousevassa luentosalitilassa. Ensimmäisellä kuulijajoukolla oli vain yksi kaiutin ja toisella ryhmällä kaksi. Näytteet eivät olleet vakioitu äänentasoltaan, joten erot ovat voineet vaikuttaa kuulija-arvioihin erityisesti kuuluvuutta arvioitaessa. Näytteet olivat myös lyhyitä, joten ne eivät välttämättä anna riittävästi materiaalia kuulijalle arviointiin.

Vertaillen molempien kuuntelijaryhmien *muita huomioita*-osiota nousi niissä vahvasti esille kuulijoiden halu kommentoida äänen esteettistä puolta ja lauluteknistä osaamista. Huomioista pystyi havaitsemaan myös sen, että kuulijat erosivat välillä erityisesti esteettisissä mielipiteissään saman näytteen kohdalla. Laulutekniset huomiot olivat useammin yhteneväisiä, kuten onko sijoitus etinen vai takainen tai minkä laatuinen vibrato

on ja kuinka paljon sitä esiintyy. Kuulijoille ei annettu ohjeistusta, mitä tähän osioon tulee kirjoittaa, vaan jokainen sai tehdä itse henkilökohtaisia huomioitaan näytteistä. Kuunneltavat näytteet olivat kovin tasaisia ja laulajien välillä oli loppujenlopuksi systemaattisten havaintojen kannalta ehkä vain hyvin pieniä eroja. Merkitseväksi nousi siiskenties juuri persoonallinen äänenväri. Mukaan arviointiin tulee mahdollisesti myös kuuntelijoiden omat subjektiiviset mieltymykset.

Lopuksi on tarpeellista myös pohtia mitä annettavaa vastaavilla tutkimuksilla tai lauluäänen instrumentaalisilla tutkimusmenetelmillä voisi olla käytännön musiikkipedagogiikkaan. Aiheesta on kirjoittanut esimerkiksi Leino & Toivokoski artikkelissaan *Miten laulajan äänenlaatua voidaan mitata* (1994).

Mikäli tiedetään jo valmiiksi erilaisia ääniluokkia erottelevia fyysisiä ja akustisia piirteitä, voisi akustisista mittauksista olla kenties apua laulun opetuksessa. Laulukoulutus on ollut aina kuulonvaraista ja mitä tärkeimmässä määrin sitä se onkin, koska kyse on musiikista ja musikaalisuudesta, mutta teknologian kehittyessä voisi ottaa mukaan tarpeen tullen myös sen mahdollistamat apuvälineet. Ääni instrumenttina ei ole aina niin selkeästi ulkoistettavissa ja sitä kautta tarkasteltavissa. Kenties esimerkiksi oman äänen kuvantaminen spektrin kautta ja sen tarkastelu voisi auttaa oppilasta ymmärtämään äänen rakennetta, sekä sitä mihin kannattaa pyrkiä ja nähdä, miltä se konkreettisesti näyttää esimerkiksi sen perusteella, mitä tutkimuksissa on havaittu hyvän äänen piirteistä. Seuraavaksi vaikka vuoden päästä tehdyn uusintamittauksen jälkeen spektrejä voisi verrata ja nähdä konkreettisesti, mikä muutos on tapahtunut, jos sitä on tapahtunut. Tekniikka ei korvaa kuuloa ja siis opettajan työn merkitystä, vaan se voisi toimia opetuksen tukena. Jos akustisista mittauksista pystyisi myös näkemään selkeitä ääniluokkia erottelevia piirteitä, saattaisi se palvella tarkoitusta muuten epäselvissä tapauksissa, koska joskus laulaja saattaa olla jopa kahden ääniluokan vaiheilla kumpaan sijoittua. Kun kyse on ääniluokasta ja sen myötä laulettavasta ohjelmistosta, on tärkeää tehdä luokitus oikein. Epäsopivalta alueelta laulaminen voi tuoda mukanaan äänellisiä ongelmia.

LÄHTEET

- Berndtsson G, Sundberg J. 1995. Perceptual Significance of the Center Frequency of Singer's Formant. *Scand J Log Phon.* 20, 35-41.
- Bloothoof G, Plomp R. 1986. The Sound Level of the Singer's Formant in Professional Singing. *JASA* 79 (6), 2028-32.
- Cleveland T. 1977. Acoustic Properties of Voice Timbre Types and Their Influence on Voice Classification. *JASA* 61, 1622-29.
- Cleveland T, Sundberg J. 1983. Acoustic Analysis of Three Male Voices of Different Quality. *Proc Stockholm Music Acoustics Conf (SMAC 83)* (No.1), 143-56.
- Cleveland T. 1990. Vocal Pedagogy in the twenty-first century. A Teaching Tool for Voice Classification in Singers. *The Nats Journal* 9/10, 35-36.
- Cleveland T. 1993. Voice Pedagogy for the Twenty-First Century. Voice Classification (Part II). *The Nats Journal* 3/4, 37-39.
- Dimitriev L, Kiselev A. 1979. Relationship between the Formant Structure of Different Types of Singing Voices and the Dimensions of Supraglottic Cavities. *Folia phoniati*, 31, 238-241.
- Heikkilä T. 1998. Tilastollinen tutkimus. Oy Edita Ab, Helsinki. 179.
- Hollien H. 1983. The Puzzle of the Singer's Formant. *Vocal Fold Physiology*, 368-78.
- Laukkanen A-M, Leino T. 1999. Ihmeellinen Ihmisääni. Gaudeamus, Helsinki, 75-76, 82, 171, 174.
- Leino T, Toivokoski R. 1994. Miten laulajan äänenlaatua voidaan mitata. *Laulupedagogi*, 29-46.
- Seidner W, Schutte H K, Wendler J, Rauhut A. 1985. Dependence of the High Singing Formant on Pitch and Vowel in Different Voice Types. *Proc Stockholm Music Acoustics Conf (SMAC 83)* Publ No. 46/1, 261-68.
- Sundberg J. 1970. The Level of the "Singing Formant" and the Source Spectra of Professional Bass singer. *STL-QPSR* (4), 21-38.
- Sundberg J. 1973. The Source Spectrum in Professional Singing. *Fonia Phoniati* 25, 71-90.
- Sundberg J. 1975. Formant Technique in a Professional Female Singer. *Acustica*, 32, 89-96.
- Sundberg J. 1979. Perception of Singing. *STL-QPSR*, 1-48.
- Sundberg J. 1987. The Science of the Singing Voice. Dekalp, Illinois: Northern Illinois University Press, 118-129, 164.

Sundberg J. 1999. Level and Center Frequency of the Singer's Formant. *TMH-QPSR*, 3-4.

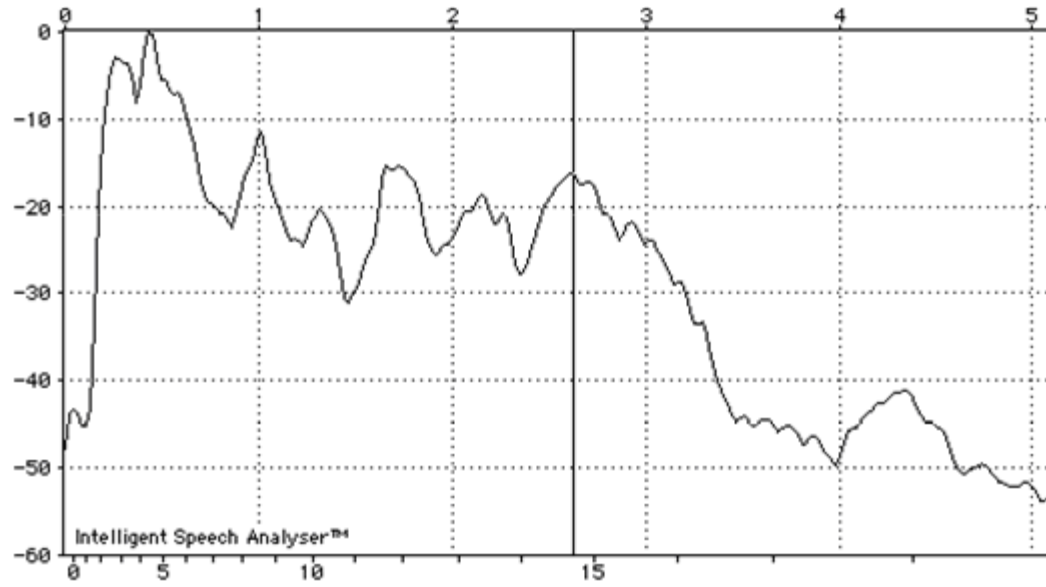
Suomi K. 1990. Johdatusta puheen akustiikkaan. Oulun Yliopisto, Oulu. 176.

Weiss R., Brown W. S. Jr., Morris J.. 2001. Singer's formant in sopranos: Fact or fiction?. *Journal of Voice* (15) 4, 457-468.

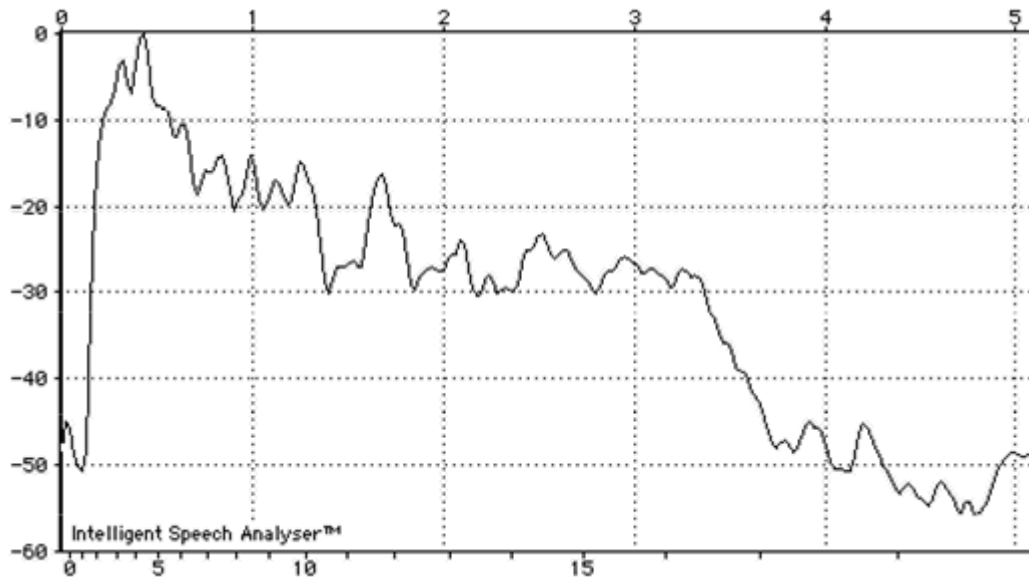
LIITTEET

Liite 1. Laulajien pitkäaikaisspektrit (LTAS)

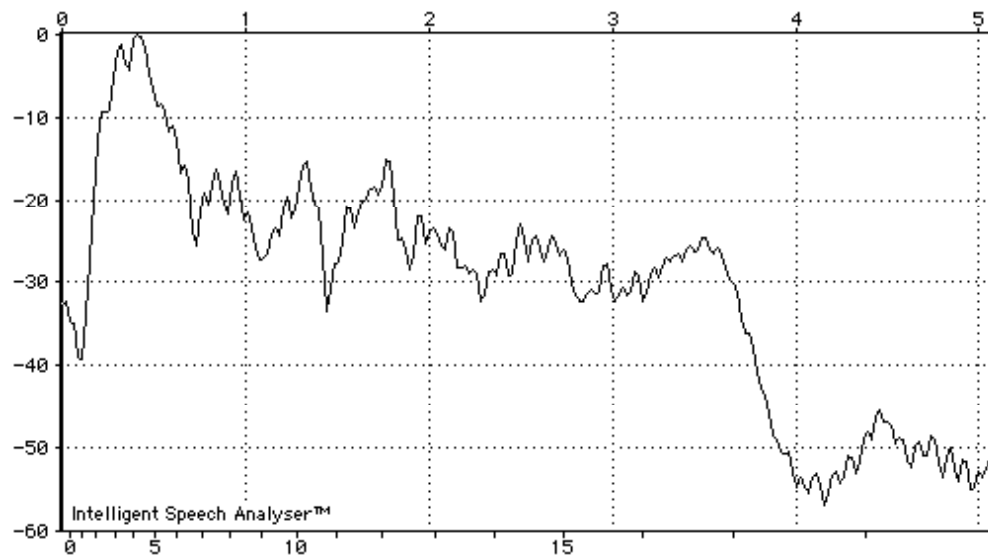
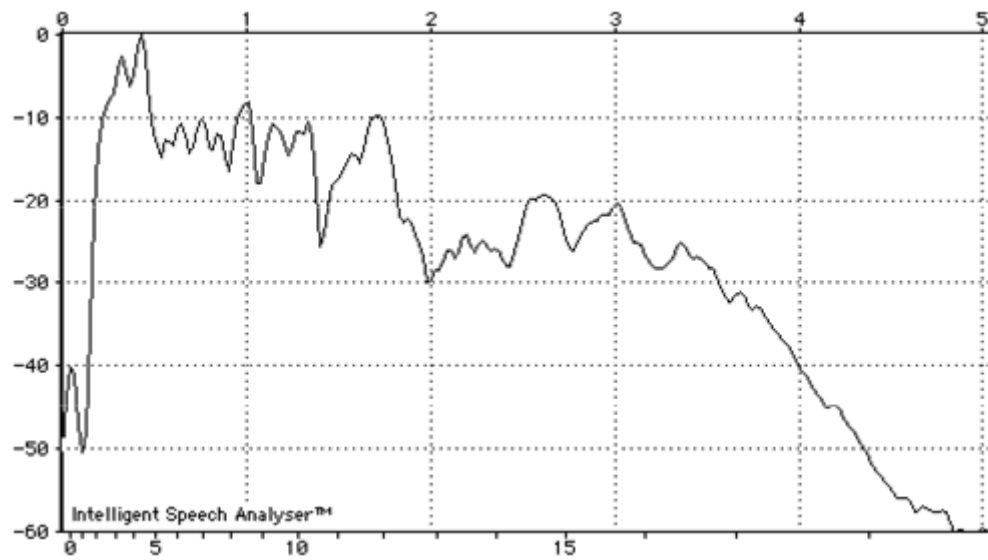
LTAS koko laulusta ”Tuonne taakse metsämaan”:

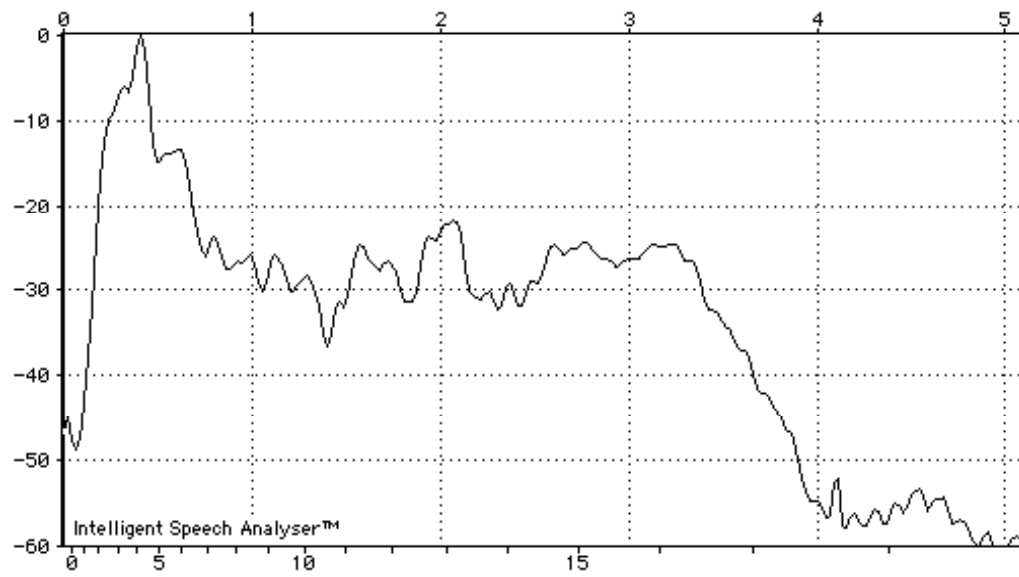


Aili Purtonen



Altto 1

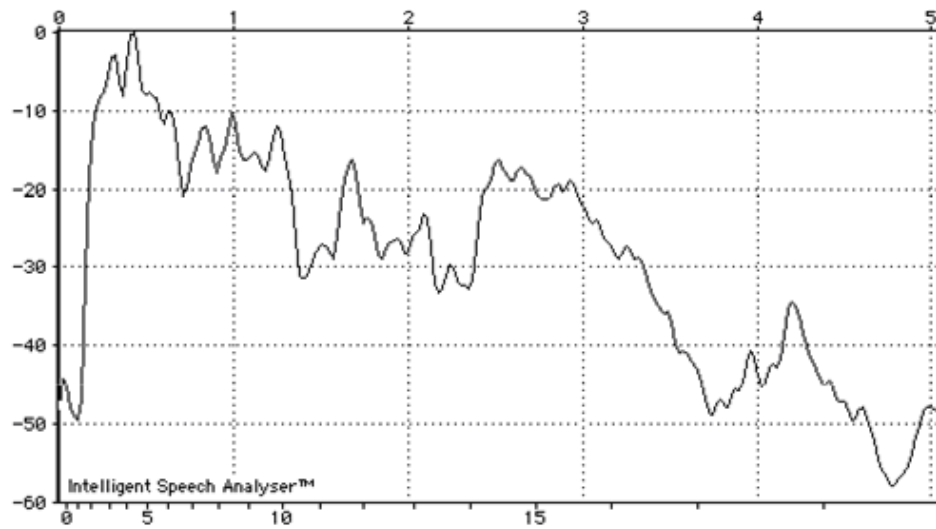
**Alto 2****Alto 3**



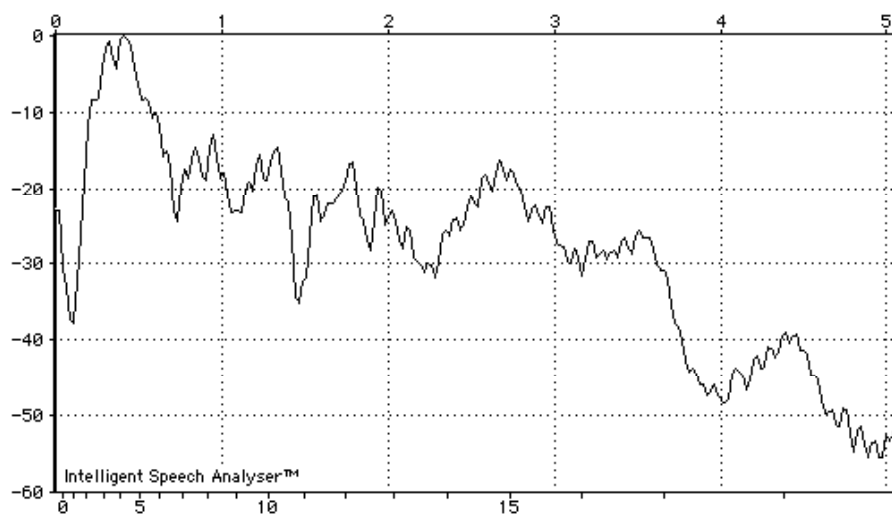
Alto 4

Liite 2. Suodatukset

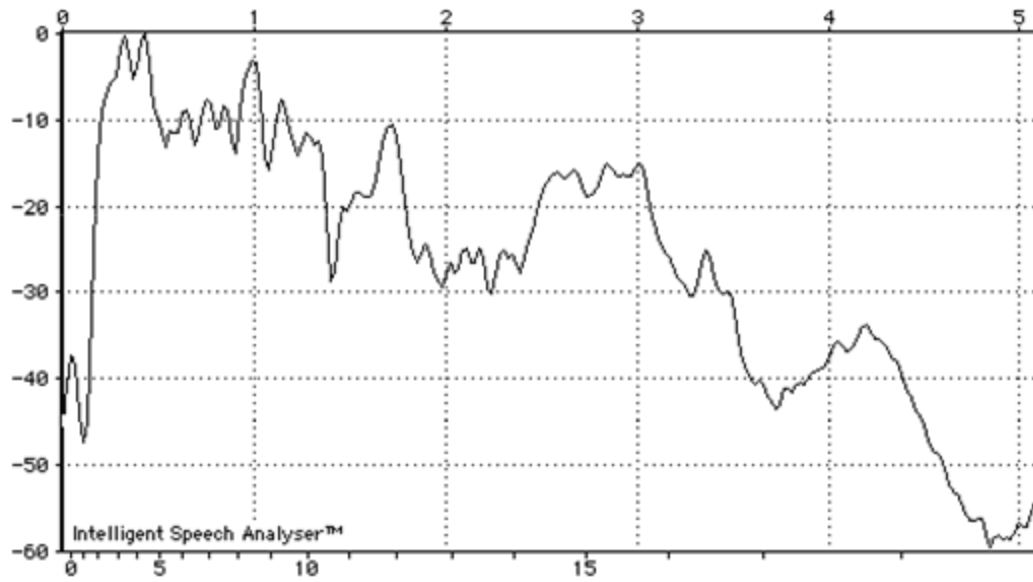
Jokaisen laulajan näytteet suodatettu pitkäaikaisspektrin perusteella samankaltaisiksi kuin Aili Purtosella. LTAS koko laulusta:



Altto 1 **+10dB**
 1.1,1 kHz
 2,5-3 kHz
 4-4,5 kHz



Altto 2 **+10dB:**
 1-1,1kHz
 2,5-3kHz
 4-4,5kHz



Altto 3

+10dB

1-1,1 kHz

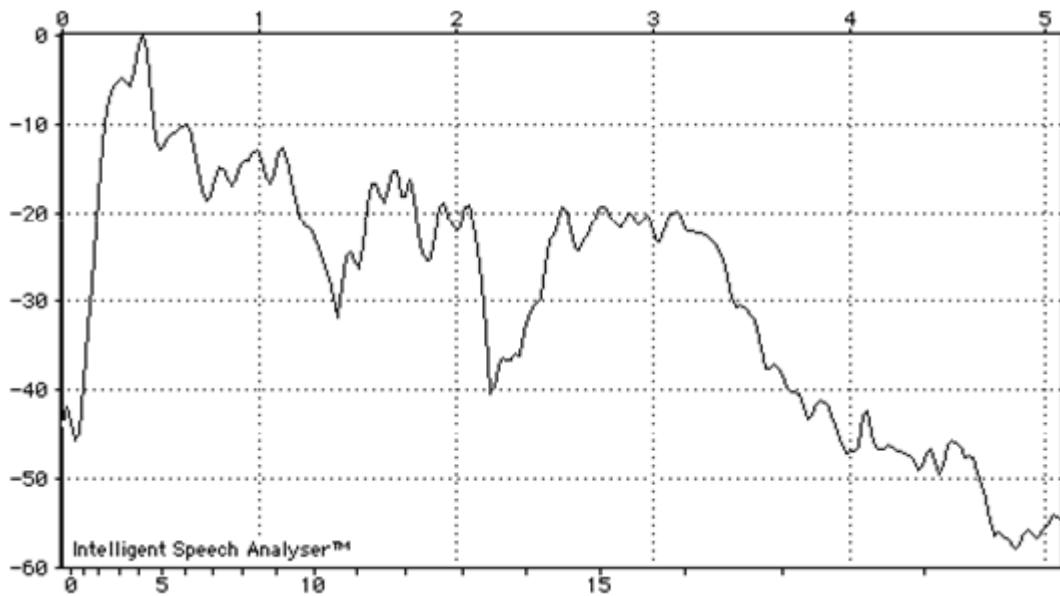
2,5-3 kHz

4-4,5 kHz

-10dB

1,2-1,4 kHz

3,5-4 kHz



Altto 4

+10dB

0,9-1,1

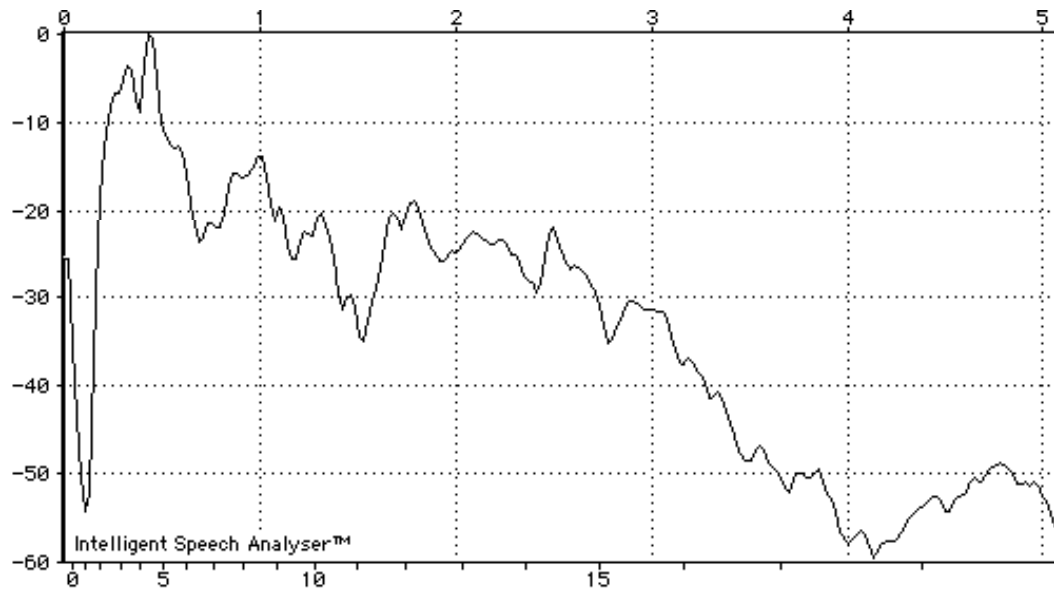
1-1,1 kHz

1,5-2 kHz

2,5-3 kHz

4-4,5 kHz

Aili Purtozen näyte suodatettu samankaltaiseksi kuin Alto 1, Alto 2, Alto 3 ja Alto 4



AP → Alto 1

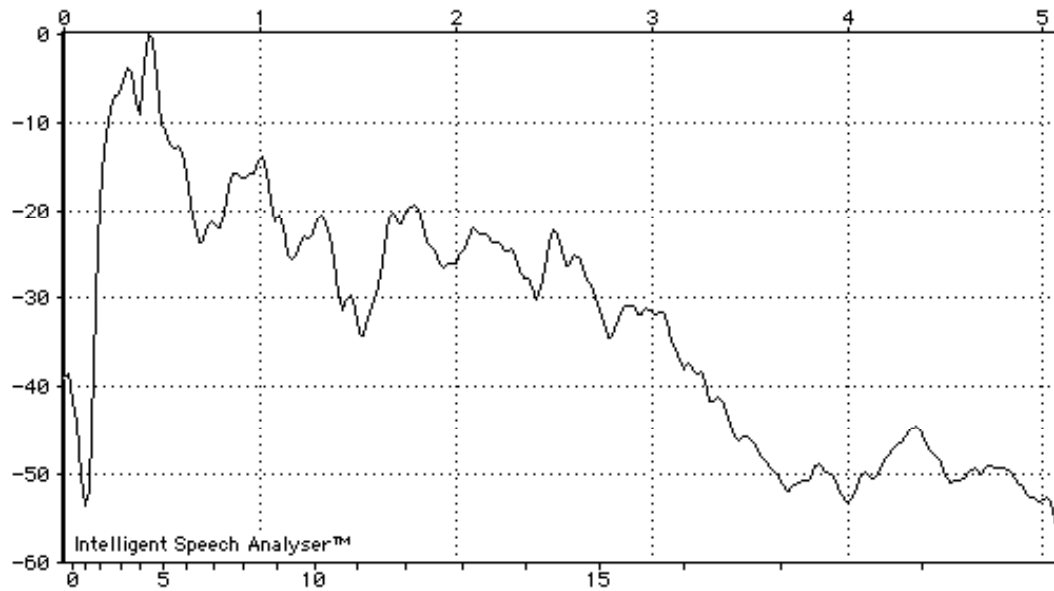
+10dB

-10dB

1,1-1,4 kHz

2,5-3 kHz

4-4,5 kHz



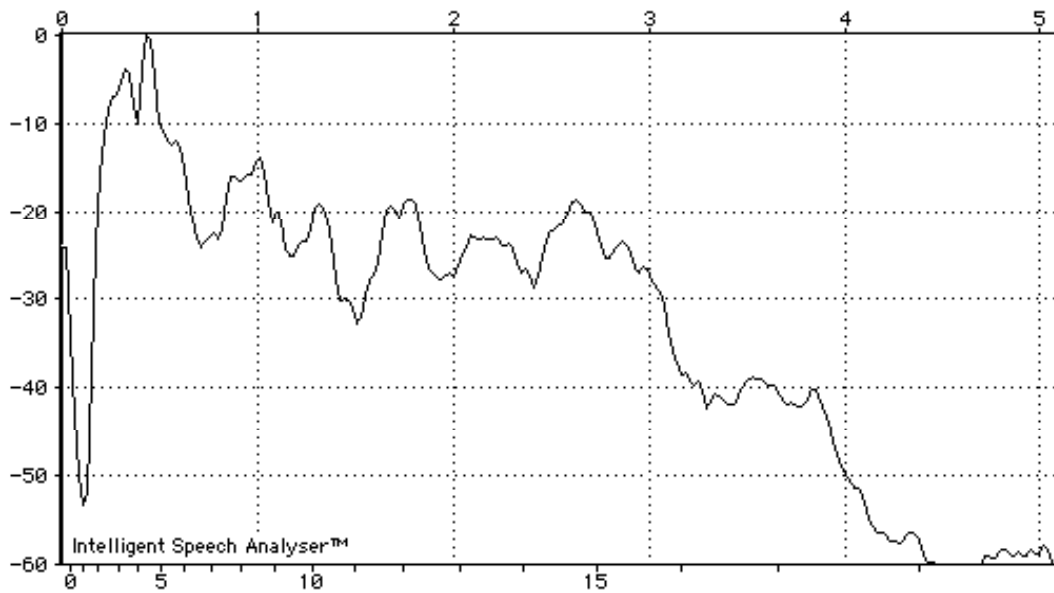
AP → Altto 2

+10dB

-10dB

1,1-1,4 dB

2,5-3 kHz



AP → Altto 3

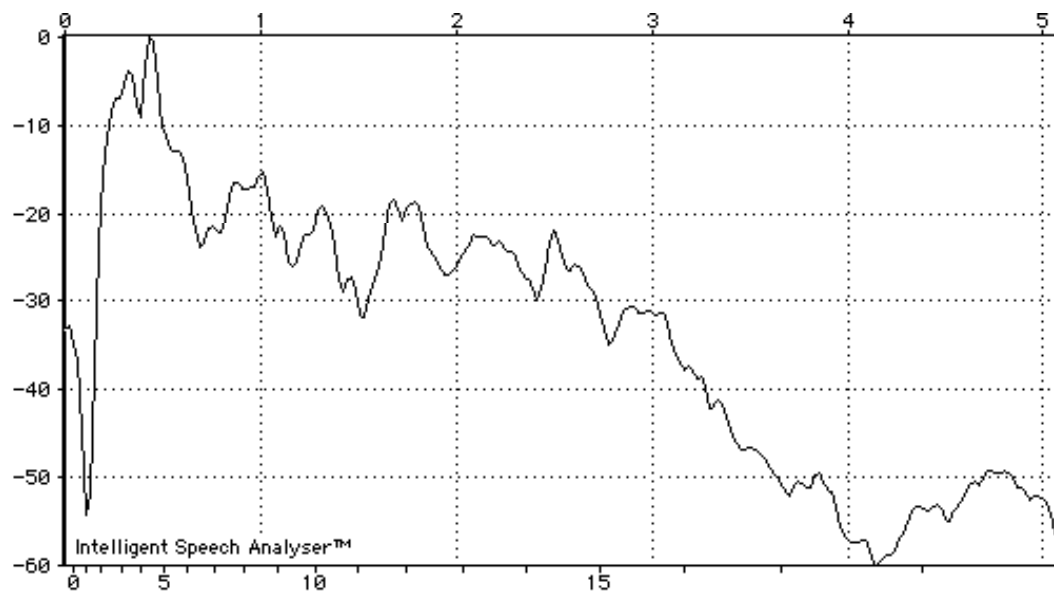
+10dB

-10dB

1,1-1,4 kHz

4-5 kHz

3,5-4 kHz



AP → Alto 4

+10dB

-10dB

1-1,5

0,9-1,1 kHz

2,5-3 kHz

4-4,5kHz

Liite 3. Kuunteluarviointilomake

(Alkuperäisessä mittakaavassa viivan pituus on 200mm)

NÄYTTEIDEN KUUNTELUARVIOINTI

Arvioitavat parametrit: äänen laatu, äänenväri (tummuus/kirkkaus), kuuluvuus, helinä, ääniluokka

Näyte X

ÄÄNEN LAATU
HUONO

TAVALLINEN

ERINOMAINEN

ÄÄNENVÄRI
TUMMA

TAVALLINEN

KIRKAS

KUULUVUUS
KUULUU HUONOSTI/
PEITTYY SÄESTYKSEENKUULUU ERINOMAISESTI
(ORKESTERIN YLI)HELINÄ (RING)
EI OLLEENKAAN

VAHVA

ÄÄNILUOKKA:

MUITA HUOMIOITA: