

Tommi Kähkönen

## **QLU-LAATUKRITEERISTÖN KEHITTÄMINEN**

# **QLU-LAATUKRITEERISTÖN KEHITTÄMINEN**

Tommi Kähkönen  
Opinnäytetyö  
Kevät 2015  
Hyvinvointiteknologian koulutusohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Hyvinvointiteknologia

---

Tekijä: Tommi Kähkönen  
Opinnäytetyön nimi: Qlu-laatukriteeristön kehittäminen  
Työn ohjaajat: Opettaja (OAMK) Jukka Jauhiainen  
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2015  
Sivumäärä: 72+ 5 liitettä

---

Kuulolaitteet helpottavat kuulovammaisia monissa tilanteissa, mutta ongelmia esiintyy yleisesti esimerkiksi virastoissa ja teattereissa käydessä. Induktiosilmukka on yleisin järjestelmä, jolla mikrofonista tai muusta äänilähteestä ääni saadaan siirrettyä suoraan kuulokojeeseen välttäen häiritsevän ympäröivän melun ja akustiikasta johtuvat ongelmat, kuten kaiun. Induktiosilmukka hyödyntää sähkömagneettista induktiota, joten siinäkin voi esiintyä sähköisiä häiriöitä.

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, miten yleisimmät häiriötyypit induktiosilmukassa vaikuttavat kuullunymmärtämiseen ja kuinka voimakkaina häiriöt voivat esiintyä. Lopputuloksena pyrittiin luomaan yhtenäinen induktiosilmukan laatukriteeristö kuulokojeen tyyppistä ja kuulovammasta riippumatta. Opinnäytetyö tehtiin Qlu Oy:n tilauksesta, joka tarvitsi tieteellisesti tehdyn tutkimuksen laatukriteeristön pohjaksi. Tutkimuksen testi suoritettiin kuulokojeiden käyttäjillä. Tutkimukseen valittiin 36 henkilöä, iältään 20–80-vuotiaita. Testi suoritettiin kuulotestityyppisesti. Testissä henkilöiden tehtävänä oli testin ensimmäisessä vaiheessa vertailla kahta eri tavalla muokattua ääninäytettä keskenään miellyttävyyden mukaan. Toisessa vaiheessa annettiin laatua kuvaava arvosana 0–12 muokatulle näytteelle.

Tulokset olivat käyttäjien välillä paikoitellen ristiriitaisia, joten kompromisseja tuloksia koostaessa joutui tekemään. Tuloksista saatiin tehtyä jokaiselle häiriötyypille taulukot, joissa näkyy yhteisvaikutus laatuun kokonaisvaimennuksen kanssa. Saadut tulokset toimivat hyvänä pohjana lisätutkimuksille, joita tarvitaan tulosten varmistamiseksi.

---

Asiasanat: induktiosilmukka, kuulolaitteet, kuulovamma, laatukriteeristö

# ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Medical Engineering

---

Author: Tommi Kähkönen

Title of thesis: Development of the Qlu quality rating

Supervisor: Jukka Jauhiainen

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2015

Pages: 72 + 5 appendices

---

Hearing aids are made to decrease challenges in normal life but in offices and theatres there still occurs some problems. Induction loop is the best-known system to transfer audio from microphone and other sources directly to the hearing aid without acoustic distractions like echo. The function of induction loop is based on electromagnetic induction and therefore electric interferences can be occurred.

The goal of the thesis was to research how listening with induction loop is affected by general distractions and how big amplitude of distractions can be allowed. The goal for the outcome was to create coherent rating of the quality regardless the type and the hearing disability. The rating was developed for Qlu inc. They needed a scientific research for the base of the rating. The test of the study was carried out with 36 hearing aid users age between 20–80 years. The study was implemented as a hearing test. The first task for the subjects was to compare two differently modified samples between each other by amenity. The second task was to compare the quality of the sample by giving grades 0–12 for the modified sample.

The results were partly contradictory and therefore compromises were made to compose the outcome. In outcome combined effect of the interferences and attenuation can be seen in composed charts. The outcome can be used as a good base for the further research.

---

Keywords: hearing aid, induction loop, hearing disability

## ALKULAUSE

Opinnäytetyö vaati paljon pitkäjänteisyyttä ja aikaa niin minulta kuin monelta muultakin henkilöltä. Työ oli silti erittäin kiinnostava ja antoi paljon. Hienoa on tietää, että tutkimus ei ollut turhaa ja siitä on käytännön hyötyä.

Kiitos opinnäytetyöaiheesta ja neuvoista Mikko Haho ja Juha Nikula Qlu Oy:stä. Qlu Oy:n työntekijöistä kiitän vielä Ville Kivelää testiohjelman tekemisestä ja Tapio Rautiota ääninäytteiden tekemisestä ja muista neuvoista opinnäytetyöhön liittyen. Kiitos opinnäytetyön ohjauksesta ja tarkastuksesta Jukka Jauhiaiselle ja äidinkielenopettaja Tuula Hopeavuorelle.

Kiitän myös OYS:n henkilökunnasta Irja Nuojuaa tutkimustilojen järjestämisestä, Mikko Yliaskaa opinnäytetyön tarkastamisesta sekä Laura Tickiä tutkimuslupien järjestelystä. Kiitos kuuluu myös tutkimukseen osallistuneille henkilöille, jotka osallistuivat tutkimukseen pyyteettä.

Oulussa 15.4.2015

Tommi Kähkönen

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
SANASTO	8
1 JOHDANTO	9
2 TUTKIMUKSEN TAVOITE	10
3 INDUKTIOSILMUKKA	12
3.1 Induktiosilmukan toimintaperiaate	12
3.2 Käyttöympäristö ja vaatimukset	13
3.3 Yleisiä ongelmakohtia ja haasteita induktiosilmukassa	14
4 KUULOKOJEET	16
4.1 Rakenne	16
4.2 Ominaisuudet ja niiden ilmoittaminen	17
4.2.1 Kompressio	18
4.2.2 Kierronesto	19
4.2.3 Äänen parannus	20
4.2.4 Induktiokela	21
5 KUULO	23
5.1 Korvan rakenne ja toiminta	23
5.2 Puheääni ja kuuleminen	25
5.3 Kuulovikojen vaikutukset puheen havaitsemiseen	26
5.4 Kuulovikojen esiintyvyys ja vaikeusasteet	27
5.5 Kuulovikojen määrittäminen	29
5.6 Kuulon diagnostiset mittausmenetelmät	30
6 MENETELMÄT	32
6.1 Tutkimusaineisto	32
6.2 Tutkimustila	32
6.3 Tutkimuksen vaiheet ja testisovellus	33
6.4 Käytettävien välineiden ja laitteiston asianmukaisuus	36
6.5 Ääninäytteet	37

6.6 Aikataulu	44
6.7 Tulosten analysointi	44
6.8 Julkaisu	45
7 TULOKSET	46
7.1 50 Hz:n verkkohäiriön vaikutus arvosanaan	46
7.2 Koko taajuusalueen vaimentumisen vaikutus arvosanaan	48
7.3 Särön vaikutus arvosanaan	50
7.4 Korkeiden taajuuksien korostuksen vaikutus arvosanaan	53
7.5 Korkeiden taajuuksien vaimennuksen vaikutus arvosanaan	55
7.6 Matalien taajuuksien korostuksen vaikutus arvosanaan	58
7.7 Matalien taajuuksien vaimennuksen vaikutus arvosanaan	60
7.8 Häiriöiden miellyttävyyssvertailun tulokset	62
7.9 Yli 10 pisteen arvosanat	63
7.10 Vertailu käytössä olevaan luokitukseen	64
8 POHDINTA	65
LÄHDELUETTELO	68
LIITE 1. Tutkimustiedote	
LIITE 2. Suostumus käyttäjätutkimukseen	
LIITE 3. Induktiosilmukan kuunteluohjeet	
LIITE 4. Testirakenne	
LIITE 5. Uudet ääninäytteet	

## SANASTO

AGC	Automaattinen tasonsäätö (Automatic Gain Control)
BAHA	Luujohtokuulokoje (Bone-anchored Hearing Aid)
BEHL	Paremmen korvan kuuluvuus (Better Ear Hearing level)
BTE	Korvantauskoje (Behind-The-Ear)
CI	Kokleaimplantti (Cochlear Implant)
dB(A)	A-painotettu äänenpainetaso (A-weighted Decibel)
$F_0$	Akustinen taajuusarvon termi (Fundamental frequency)
FSM	Alueen induktiosilmukan voimakkuusmittari (Field Strength Meter)
ITE, ITC	Korvakäytäväkoje (In-The-Ear, In-The-Canal)
M-asento	Mikrofoniasento (Microphone)
OES	Korvan ominaisuuksien simulointi (Occluded Ear simulator)
p–p-arvo	Huipusta huippuun -arvo (Peak-to-peak value)
RMS	Tehollisarvo (Root mean square)
RITE	Kuulokekorvassa (Receiver-In-The-Ear)
SPL	Äänenpainetaso (Sound pressure Level)
S/N	Signaali–kohinasuhde (Signal to noise ratio)
T-asento	Induktioasento (Telecoil)



# 1 JOHDANTO

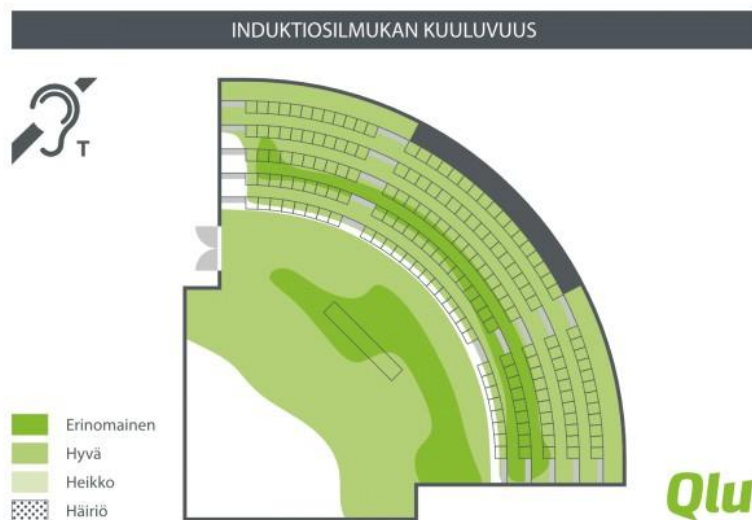
Kuulovammaiset kohtaavat päivittäin esteitä kuunteluympäristössään iästään ja elämäntilanteestaan riippumatta. Kuulolaitteet helpottavat monissa tilanteissa toimimista, mutta ongelmia esiintyy yleisesti esimerkiksi virastoissa ja teattereissa käydessä. Esteettömällä kuunteluympäristöllä pyritään takaamaan yhdenvertaiset kuunteluolosuhteet kaikille. Esteettömässä kuunteluympäristössä on toimiva akustiikka varustettuna äänensiirtojärjestelmällä, kuten induktiosilmukalla. Induktiosilmukka on yleisin järjestelmä, jolla mikrofonista tai muusta äänilähteestä ääni saadaan siirrettyä suoraan kuulokojeeseen. (1, s. 19.)

Esteetön kuunteluympäristö julkisissa tiloissa on todettu monilta osin puutteelliseksi. Kuunteluympäristöä, jolla varmistetaan induktiosilmukan ja akustiikan hyvä laatu, ei ole otettu rakentamisvaiheessa huomioon riittävän ajoissa. Induktiosilmukka on voitu jättää asentamatta kokonaan tai henkilökunta ei osaa käyttää induktiosilmukkaa tai huolehtia sen huoltamisesta. Induktiosilmukkaa tukevalle huoneelle on luotu standardi IEC-60118-4:2014/12, jonka vaatimukset jäävät monesti täyttämättä. Standardista ei myöskään löydy moniportaista luokitusta, jolla voisi kertoa loppukäyttäjälle induktiosilmukan laadusta. Käytännössä standardista ei ole loppukäyttäjälle mitään hyötyä. (1, s. 60; 2, s. 2; 3, s. 42; 4.)

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, miten yleisimmät häiriötyypit induktiosilmukassa vaikuttavat kuullunymmärtämiseen ja kuinka voimakkaina häiriöt voivat esiintyä, niin että puhe pysyy vielä ymmärrettävänä. Lopputuloksena pyrittiin luomaan yhtenäinen, induktiosilmukan laatukriteeristö kuulokojeen tyyppistä ja kuulovammasta riippumatta. Kriteeristö palvelee kuulolaitteita käyttäviä henkilöitä.

## 2 TUTKIMUKSEN TAVOITE

Opinnäytetyö tehtiin Qlu Oy:n tilauksesta. Yritys tekee esimerkiksi induktiosilmukan laatu- ja suunnitteluehdotuksia yrityksiin ja julkisiin tiloihin. Laatu- ja suunnitteluehdotuksista Qlu Oy tuottaa induktiosilmukan laatua kuvastavan kuuluvuuskartan (kuva 1). Yrityksen tämänhetkisen laatu- ja suunnitteluehdotusten lähtökohdaksi laatu- ja suunnitteluehdotuksiin toimii induktiosilmukan laadun määrittävä standardi IEC-60118-4:2014/12 sekä yrityksen omiin arvioihin perustuva määrittäminen standardin ulkopuolelle jäävälle laadulle. Standardin ulkopuolelle jäävä laatu on luokiteltu asteikolle hyvä, heikko ja kelvoton. Standardin kriteerit täyttävä laatu on luokiteltu yrityksen asteikolla erinomaiseksi. Käytännössä yritys on huomannut, että asteikon määrittelyssä on tarkentamisen varaa ja tämän johdosta opinnäytetyö haluttiin toteuttaa. Tällä tutkimuksella yritys sai myös tarvittavan tieteellisen pohjan laatu- ja suunnitteluehdotuksilleen.



KUVA 1. Qlu Oy:n induktiosilmukan kuuluvuuskartta (5)

Tutkimuksella pyrittiin selvittämään, miten yleisimmät häiriötyypit induktiosilmukassa vaikuttavat kuullunymmärtämiseen ja kuinka voimakkaina häiriöt voivat esiintyä, jotta puhe pysyy vielä ymmärrettävänä.

Tavoitteena oli luoda yhtenäinen induktiosilmukan laatu- ja suunnitteluehdotus kuulokojeen tyypistä ja kuulovammasta riippumatta. Työn suunnittelussa otettiin huomioon,

että laatukriteeristöä tehdessä täytyy tehdä kompromisseja yhtenäisen kriteeristön aikaansaamiseksi. Kriteeristöön tehtävä arvosteluasteikko pyrittiin luomaan kuitenkin käyttäjän hyödyksi kuuluvuuden takaamiseksi luvatussa tasolla. Opin-  
näytetyön rajoissa testi oli tavoitteena suorittaa 50 henkilöllä. Testit haluttiin suorittaa vakioituissa ja toistettavissa olosuhteissa mahdollisia jatkotutkimuksia varten.

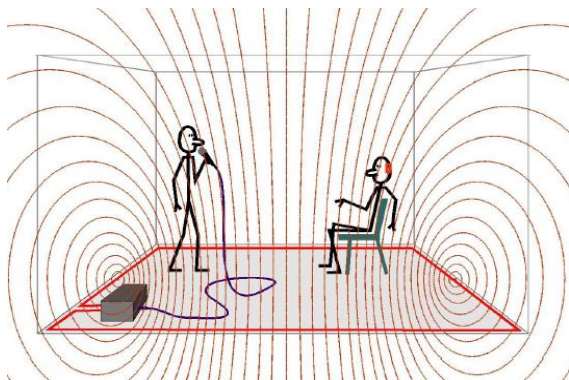
### 3 INDUKTIOSILMUKKA

Induktiosilmukka on tällä hetkellä merkittävin teknologia laadukkaan puheen tai musiikin kuuntelemiseen julkisissa tiloissa, joissa halutaan huomioida myös kuulokojeiden käyttäjiä. Tässä luvussa käsitellään työssä tarvittava teoria induktiosilmukan toiminnasta, käytöstä ja vaatimuksista sekä ongelmista induktiosilmukan käytöstä kuulokojeiden kanssa.

#### 3.1 Induktiosilmukan toimintaperiaate

Induktiosilmukka on kuulolaitteiden kanssa käytettävä langaton järjestelmä, joka siirtää äänen mikrofonista tai muusta äänilähteestä kuulokojeeseen. Induktiosilmukan hyöty on, ettei tilan akustiikka vaikuta kuultavaan ääneen ja äänenvoimakkuus on säädettävissä audiojärjestelmästä riippumattomasti. Ideaalitapauksessa äänen pitäisi tulla kirkkaasti ja häiriöttä kuulokojeeseen, kuin puhuja olisi suoraan korvan juuressa. (6, s. 9–11.)

Induktiosilmukan toimintaperiaate on sama kuin ilmasydämisellä muuntajalla, joka sisältää kaksi sisäkkäin asetettua kela. Kuten kuvasta 2 näkee, ulomman kelan muodostaa tilaan asetettu johdinlenkki eli silmukka, joka muodostaa pystysuuntaisen muuttuvan magneettikentän audiosignaalille. Sähkömotorinen voima indusoituu kuulokojeen vastaanottavaan kelaan, joka voidaan vahvistaa kuunneltavaksi ääneksi vahvistimella. Kuulokojeessa induktiosilmukan toimintaa kutsutaan T-asennoksi, ja mikäli kuulokojeen mikrofoni on käytössä samanaikaisesti, toiminta-asennon nimi on MT-asento. (6, s. 9–11.)



*KUVA 2. Induktiosilmukan toimintaperiaate ulkoreunasilmukalla (7)*

### 3.2 Käyttöympäristö ja vaatimukset

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan F1 mukaan katsomoiden, auditorioiden, juhla-, opetussalien ja vastaavien kokoontumistilojen on sovelluttava myös liikkumis- ja toimintaesteisten käyttöön. Tiloihin asennetussa äänentoistojärjestelmässä tulee olla tele- tai induktiosilmukka tai muu äänensiirtojärjestelmä. (8, s. 10.) Kuuloliiton mukaan induktiosilmukka tulisi asentaa kuulovammaisten avuksi myös tiloihin joissa ei ole äänentoistoa (9). Induktiosilmukka voidaan asentaa lattiaan, kattoon ja seinälle sekä esimerkiksi palvelupisteen pöytärakenteeseen.

Induktiosilmukajärjestelmän laadusta on käytössä standardi IEC-60118-4:2014/12, jonka mukaan on määritetty magneettikentän referenssitasoksi 0 dB = 400 mA/m. Tulokset tulee saavuttaa myös RMS-mittarilla mitattuna, 0,125 s:n aikapainotusta käyttäen ja ”elävällä” puheella. Tavoitetaso tulee saavuttaa koko tilassa istuvan henkilön (1,2 m) ja seisovan henkilön (1,7 m) korkeuksilla. Taustamelun vaatimuksina on signaali-kohinasuhde 47 dB(A) tiloissa, joissa vaaditaan korkeatasoisia kuunteluoimaisuuksia, kuten teatterissa. Muissa tiloissa alin hyväksyttävä arvo on 32 dB. Poikkeuksena voidaan hyväksyä 22 dB:n arvo, mikäli häiriöt ilmaantuvat vain matalilla taajuuksilla. (4.)

Yleisimmin on käytössä neljä erilaista silmukkarakennetta. Yksinkertaisin on ulkoreunasilmukka, jossa kaapeli asennetaan esimerkiksi jalkalistan alle huoneen seiniä myötäillen. Tätä käytetään yleensä pienissä tiloissa, joissa ei ole metallihäviötä aiheuttavia rakenteita. Jännevälän kasvaessa liian suureksi ulkoreunasilmukalle voidaan silmukka rakentaa kahdeksikon muotoon ehkäisemään keskikohdan magneettikentän vaimentumista. Tällaista rakennetta käytetään yleensä tiloissa, joissa istumapaikat on tarkasti määritetty välttämään magneettikentän nollakohta johtimien risteyskohdassa. Mikäli magneettikenttä ei saa kuulua viereisiin tiloihin, voidaan seinän viereen tehdä estosilmukka kumoamaan kenttä vastakkaisvaiheisella kentällä. Estosilmukka rakennetaan tekemällä erittäin kaapea kahdeksikko lähellä seinää. Häiriöherkissä, kuten raudoitettuja seinä- ja lattiarakenteita sisältävissä tiloissa, käytetään vaiheensiirtosilmukkaa, jossa kahteen limittäin sijoitettuun kahdeksikkosilmukkaan syötetään audiosignaali 90 asteen vaiheesiirrossa. Vaiheensiirtotekniikalla saadaan metallissa syntyvät häviöt

ja johtimien risteyskohtien nollakohdat poistettua, koska tiivis ja limittäinen verkko täyttää nollakohdat omalla induktiokentällä. (6, s. 14–15.)

Yleisesti käytettävissä on myös siirrettäviä induktiosilmukoita, kuten yhden ihmisen käytettäväksi tarkoitettu tyynysilmukka, jonka päällä henkilö istuu käytön ajan. Toinen kannettava vaihtoehto on salkkuun pakattu järjestelmä, joka sisältää kuuntelualueen ympärille levitettävän ja kelattavan silmukajohdon, silmukkahvistimen ja mikrofonin. (10, s. 4.)

### **3.3 Yleisiä ongelmakohtia ja haasteita induktiosilmukassa**

Induktiosilmukoiden rakenteelliset ongelmakohdat voidaan jakaa kolmeen osaan syntymekanisminsa mukaan. Vahvistin ja sen säädöt muodostavat ensimmäisen osan, jossa yleensä lähetystasot ovat joko liian matalat tai liian korkeat tai vahvistin sisältää rikkinäisiä osia, jolloin aiheutuu signaalin säröytymistä. Toisena ongelmakohtana on havaittu silmukan geometria, joka voi aiheuttaa vaimentumista. Esimerkkejä tällaisesta voivat olla liian isot silmukat, viereisten tilojen ylikuuluminen ja rakennuksen raudoitukset. Kolmantena ongelmana voivat olla järjestelmän ulkopuoliset häiriölähteet, kuten sähköjakeluverkon ongelmat, hakkurityyppiset teholähteet tai sähkökaapit lähistöllä. Sähköverkon ongelmat ilmenevät yleensä magneettikenttään 50 Hz:n hurinana tai sen kerrannaisina. (6, s. 12–17.)

Rakenteellisten ongelmien lisäksi on huomattu myös käytännön ongelmia jotka voi jakaa kolmeen ryhmään. Ensimmäisenä osana on induktiosilmukan käytön osaamattomuus. Esimerkiksi luennoilla puhujat eivät osaa käyttää tai vieroksuvat mikrofonia, ja tämän johdosta induktiosilmukan kautta ei kuule (1, s. 60). Asiakaspalvelijoiden tietämättömyys induktiosilmukoista on myös nähty ongelmaksi, jolloin käyttäjä ei välttämättä ole saanut varattua sopivaa istumapaikkaa teatteriesitykseen. (2, s. 3.)

Toisena ongelmakohtana on toimimattomuus. Kulttuurilla kaikille -palvelun teettämisen selvityksen mukaan teatteriesityksissä kuulovammaiset kokivat ongelmaksi induktiosilmukoiden puuttumisen ja huonon toimintavarmuuden. Induktiosilmukat oli joko jätetty huoltamatta, ne eivät olleet päällä tai kukaan henkilökunnasta ei

osannut käyttää niitä. Induktiosilmukoiden toimimattomuus koettiin kyselyyn vastanneiden mukaan ärsyttävämpänä kuin niiden puute. Tämä johtui siitä, että induktion puuttumisesta ilmoitettiin selkeästi, mutta luvatus induktion toimimattomuus todettiin yleensä vasta esityksen aikana. Kuuloliiton tutkimuksen mukaan induktiosilmukka löytyy noin 10 %:sta työpaikkojen neuvottelu- ja kokoustiloista, joissa on äänentoistojärjestelmä. (1, s. 22; 2, s. 2.)

Tiedottamattomuus voidaankin nähdä kolmantena ongelmana. Kuulovammaisten mielestä kulttuuripalveluiden tarjoajien tiedottamisessa on paljon parantamisen varaa. Sivuilla tulisi kertoa induktiosilmukan olemassaolosta, sijainnista salissa ja luotettavuudesta, kuten milloin silmukka on viimeksi testattu. (2, s. 3.)

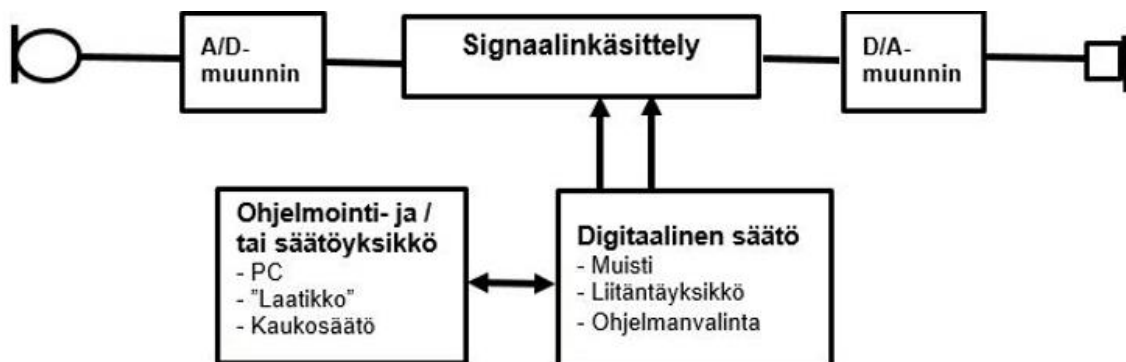
## 4 KUULOKOJEET

Elektroniikan nopea kehitys on mahdollistanut kuulokojeiden fyysisen koon pientymisen sekä uusien ominaisuuksien sisällyttämisen. Tässä luvussa käsitellään tarkemmin kuulokojeiden ominaisuuksia keskittyen pääsääntöisesti korvantauskojeisiin ja induktiosilmukkaan kuulokojeen osana.

### 4.1 Rakenne

Akustinen kuulokoje (kuva 3) koostuu pääasiallisesti mikrofonista, säädettävästä vahvistimesta, kuulokkeesta ja virtalähteestä. Koje on siis pieni vahvistin, jolla pyritään kompensoimaan kuulonalenemaan liittyviä ongelmia akustisella vahvistuksella. Muilla kuulovammaisten apuvälineillä pyritään selventämään ääntä pienentämällä akustista etäisyyttä äänilähteestä eli parantamaan häiriötäisyyttä. Häiriötäisyyttä kutsutaan yleisemmin signaali-kohinasuhteeksi (S/N, signal to noise ratio). Yleisimmin kuulokojeet säädetään tietokoneen avulla, mutta joitakin kojeita voi säätää erityisen säätölaatikon avulla tai kaukosäätimellä. Kuulokojeet jaetaan rakenteensa mukaan seuraaviin ryhmiin:

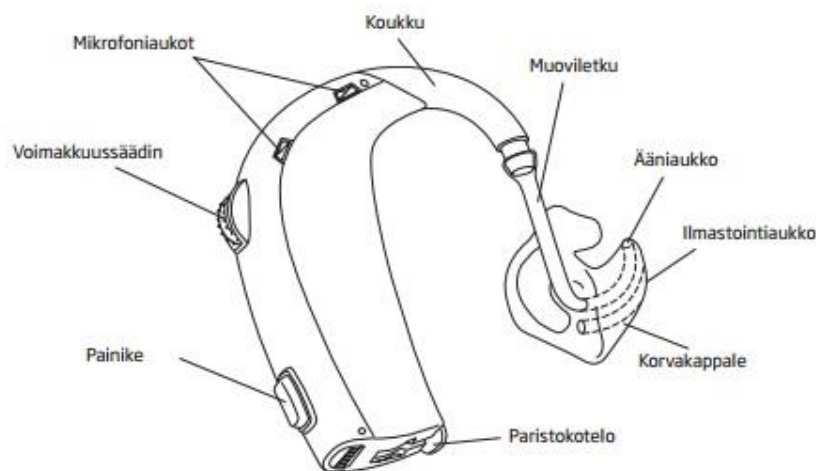
- korvantauskojeet (BTE)
- korvakäytäväkojeet (ITE, ITC)
- silmälasikuulokojeet
- taskukuulokojeet
- luujohtokuulokojeet (BAHA)
- kokleaimplantit (CI). (11, s. 328; 12, s. 23.)



KUVA 3. Digitaalisen kuulokojeen lohkokkaavio (12, s.23)



Korvantauskoje on yleisin käytettävä kuulokojemalli, josta käytetään lyhennettä BTE (Behind-the-ear). Kuvassa 4 on tyypillisen kojeen rakenne, jossa kuulokkeen toistama ääni johdetaan koukun ja pehmeän muoviletkun välityksellä korvakappaleeseen ja sieltä korvaan. Alla olevan kojeen painikkeella voidaan vaihtaa mm. tilanneohjelmia ja käytettävää äänenottotekniikkaa. Kun koje käyttää pelkästään mikrofoneja, kojeen sanotaan olevan M-asennossa. Mikäli kojeen induktiosilmukka on myös käytössä, kojeen sanotaan olevan MT-asennossa, ja kun koje käyttää pelkästään induktiosilmukkaa, kojeen sanotaan olevan T-asennossa. Kojeita on kuitenkin saatavilla myös ilman säätönappeja ja ns. RIE- tai RITE -kojeita (nimi vaihtelee valmistajan mukaan), joissa mikrofoni on sijoitettu korvakappaleeseen. RITE-kojeilla saadaan kojeen kokoa pienemmäksi sekä koukku ja muoviletku korvattua ohuemmalla letkuilla. Korvantauskojeiden etuna korvansisäisiin (ITE, ITC) kojeisiin on pidempi etäisyys mikrofoniin ja lopulliseen äänen antoaukon välillä, jolloin vinkumista ei esiinny niin helposti, mikä mahdollistaa suuremman vahvistuksen. (11, s. 330; 13.)



*KUVA 4. Perinteinen korvantauskoje ääniletkulla ja korvakappaleella (14)*

## 4.2 Ominaisuudet ja niiden ilmoittaminen

Kuulokojeiden suorituskyky ilmoitetaan sähköakustisten mittausarvojen perusteella, joista tärkeimmät ovat vahvistuskäyrä ja suurimman antotason kuvaajat. Mittaukset suoritetaan Suomessa tavallisimmin IEC-118-standardin mukaan ja

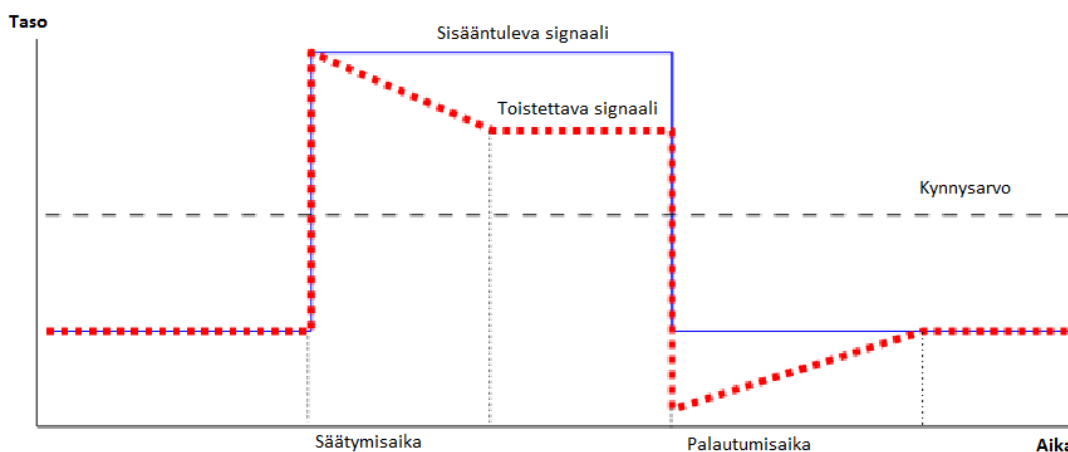
muita käytettyjä normeja on esimerkiksi amerikkalainen ANSI. Standardien mukaan määräytyy, miten koje on kiinnitetty mittalaitteeseen. Esimerkkinä voidaan käyttää IEC-126-standardia, jonka mukaan keinokorvana käytettävän kytkinontelon tilavuus on 2 cm<sup>3</sup>. IEC-711-standardi määrittelee kytkinontelon hieman eri tavalla, jolloin tulokset eroavat IEC-126:sta 5–10 dB. Suomessa on sovittu käytettäväksi asiaankuuluvien yhdistysten kesken mittausarvojen esittämiseen 2 cm<sup>3</sup>:ä ja OES-arvoja. Referenssitaajuudeksi kojeille on yleisesti määrätty 1,6 kHz ja joillekin korkeaäänikojeille 2,5 kHz. Maksimiantotaso ilmoitetaan dB SPL-arvoina, kun ottotaso on 90 dB ja vahvistus maksimissa. Kansainvälisesti yleisesti on myös käytössä IEC-60118- ja IEC-60601-standardit, jotka koskevat laitteiden toimintaa, turvallisuutta ja käyttöä sekä mittauksia, joiden kriteerit kuulokojeiden täytyy täyttää. (15; 16; 17, s. 13; 11, s. 329.)

#### **4.2.1 Kompressio**

Kuulokojeiden vahvistus on nykyisin epälineaarinen. Vahvistus riippuu käytettävistä kompressiomenetelmistä ja taajuuskaistoista. AGC:n eli automaattisen vahvistuksen säädön toimintaperiaatteet jaetaan kahteen tyyppiin, ottosignaalin ja antosignaalin mukaan toimiviin. AGC:n toiminta muuttaa signaalin vahvistuksen lineaarisesta epälineaariseksi asetettujen kynnsarvojen mukaan. Antosignaalin mukaan toimivan AGCo:n toiminta rajoittaa siis signaalin antotasoa ja on samalla viimeinen säätöpiiri ennen kuuloketta. AGCo:n säätymiskynnys määritetään halutun maksimitason mukaan, jolloin kompressiosuhde on pidettävä suurena, jotta rajoitin toimisi oikein. Normaalisti kompressiosuhde on noin 20:1 eli antoäänen ollessa ennen kompressiota 20 dB rajoitetaan kuulokkeelle tuleva signaali 1 dB:n tasoon. Etuina AGCo-rajoittimelle pidetään, ettei se rajoita antotason vahvistusta ja säröytä toistettavaa ääntä verrattuna AGCi:n toimintaan, mutta haittana on suurempi säätymisajan viive. (17, s. 15; 12, s. 31–32.)

Ottotason mukaan säätynyttä AGCia käytetään ottoäänen dynamiikan kompressorina. Käytännössä siis mikrofoniin kautta tuleva äänisignaali kompressoituaan pienemmiksi signaalin vaihteluiksi ennen prosessointia. AGCi:ssä kompressiosuhde on tavallisesti 3:1:n luokkaa. (17, s. 15.)

AGC:n toiminnassa on tärkeää ottaa huomioon myös säätymisaika (kuva 5). Säätymisajalla tarkoitetaan, kauanko AGC:llä kestää kytkeytyä päälle eli vaimentaa asetetun maksimimäärän sallittuihin rajoihin. Palautumisajalla tarkoitetaan AGC:llä vahvistuksen palautumisaikaa. (11, s. 337; 17, s. 15)



KUVA 5. AGC:n säätymis- ja palautumisajan vaikutus vahvistukseen (18)

AGC:n säätymiskynnykset ja kompressiosuhteet voi olla säädetty kiinteiksi kuulokojeen säätövaiheessa. Monikanavaisissa kojeissa äänialue on jaettu moneen kanavaan, jotka voivat sisältää kanavakohtaisia AGCi- ja AGCo-toimintoja. Kojeeet voivat kuitenkin sisältää varmistuksena yhteisen AGCo-kompressorin. (19, s. 2–3.)

Adaptiivisilla toiminnoilla tarkoitetaan signaalin vahvistuksen muuttamista otto-  
signaalin voimakkuuden ja taajuussisällön perusteella (11, s.337). Adaptiivisella kompressiolla säätymis- ja palautumisajat muuttuvat kuunteluominaisuuksien mukaan, jolloin eri kanavilla voidaan käyttää esimerkiksi eri aikavakioita, yhdistettyinä hidas ja nopea säätäminen tai sanan tavunsisäinen kompressio. (19, s. 3.)

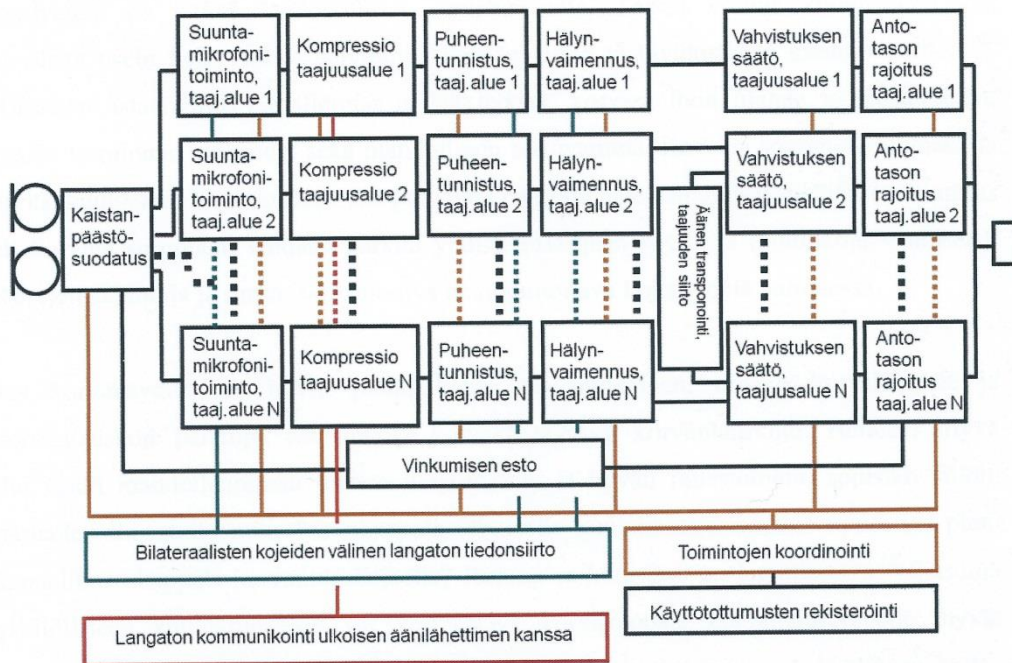
#### 4.2.2 Kierronesto

Kierronestolla pyritään vaimentamaan äänen akustista kiertämistä korvakäytävästä takaisin mikrofoniin. Kiertäminen kuuluu käytännössä vinkumisena. Adap-

tiivinen kierronesto voidaan toteuttaa esimerkiksi vähentämällä hetkellisesti vahvistusta vinkumista aiheuttavalla taajuusalueella tai toistamalla vinkumissignaalin vastakkaisvaiheista signaalia, joka kumoaa vinkumisen. Hyvällä kierronestolla voidaan saada lisättyä kojeen suurinta diskanttivahvistusta 15 dB. Vinkumista voi tapahtua käytettäessä M- tai MT-asentoja. (19, s. 3–4.)

#### 4.2.3 Äänen parannus

Nykyisin digitaalisissa kojeissa käytetään useita erityyppisiä puheen selkeyttämiin ja äänen parantamiseen tarkoitettuja signaalinkäsittelyprosesseja (kuva 6), joiden nimeämiskäytännöt ja toteutustavat vaihtelevat valmistajan mukaan. Puheen selkeyttämiseen ja erotuskyvyn parantamiseen käytetään esimerkiksi taajuuteen pohjautuvia algoritmeja. Muokkauksilla pyritään vaikuttamaan äänen spektraaliseen sisältöön korostamalla ns. spektraalisia vastakohtia. Aikaan perustuvilla algoritmeilla pyritään taas korostamaan puheen ajallisia muutoksia. (19, s. 3–4; 20.)



KUVA 6. Esimerkki monikanavaisen kuulokojeen äänenkäsittelyyn liittyvistä prosesseista (21, s. 83)

Kuulokojeisiin voidaan kuulontutkijan kanssa määritellä erilaisia tilanneohjelmia, joilla saadaan kuhunkin päivittäiseen ääniympäristöön sopivat kuunteluominaisuudet. Tällaisia tilanneohjelmia voi olla esimerkiksi musiikinkuunteluun, autolla ajamiseen ja opetustilanteeseen tarkoitettuja. Tilanneohjelmissa säädetään mm. suuntamikrofonien toimintaa ja korostetaan eri taajuusalueita. Nykyisin on tullut saataville myös automaattisia tilanhallintaominaisuuksia, jolloin koje osaa tunnistaa automaattisesti kuuntelutilanteen ja säätää toimintansa sen mukaan. (19, s. 3–4; 20.)

Suuntamikrofonitoiminto toteutetaan käyttämällä kojeissa kahta tai useampaa mikrofonia. Tällä toiminnolla pyritään selkeyttämään ja parantamaan kuuluvuutta ennalta määrättyyn haluttuun suuntaan, kuten parantamalla kuuluvuutta edestäpäin ja vaimentamalla takaa. Tällöin suuntakuvio on hertan muotoinen. Toiminta perustuu mikrofonien välillä olevien äänten aikaviiveiden laskemiseen. Adaptiivisella toiminnalla pystytään kuitenkin vaimentamaan myös rajattu määrä liikkuvia häiriölähteitä joka suunnasta, jolloin suuntakuvio muuttuu tilanteen mukaan. (19, s. 3–4; 20.)

Kojeen laadukkuuden ja kojeen käyttäjän tarpeen mukaan, kojeet voivat sisältää tiettyjen taajuusalueiden muokkausta joko matalammaksi tai korkeammiksi. Tiettyt kojeet voivat myös laajentaa taajuusaluetta 12 kHz:iin asti, jolloin vahvistus korkeille taajuuksille lasketaan audiogrammin 6–8 kHz:n mukaan. (20.)

#### **4.2.4 Induktiokela**

Kuulokojeiden sisäinen induktiokela kuuluu korvantauskojeissa yleensä vakioominaisuudeksi, mutta kuulokojeen käyttäjän pyynnöstä se voidaan jättää kytke-mättä, jos käyttäjä ei koe tarvitsevansa sitä tai kokee induktiokelan monimutkais-tavan kojeen muuta käyttöä. Markkinoilla on kuitenkin kojeita, kuten korvakäytäväkojeet, joissa induktiokela on joiltakin valmistajilta saavissa vain lisävarus-teena. (17, s. 15; 22.)

Induktiokelan tehokkuus määritellään pohjoismaisissa laatuvaatimuksissa siten, että 31,6 mA/m:n kentässä T- ja MT-asennoilla kuulokojeen antotaso tulee olla saman kuin M-asennolla saatu antotaso 57–67 dB SPL:n (dB sound pressure

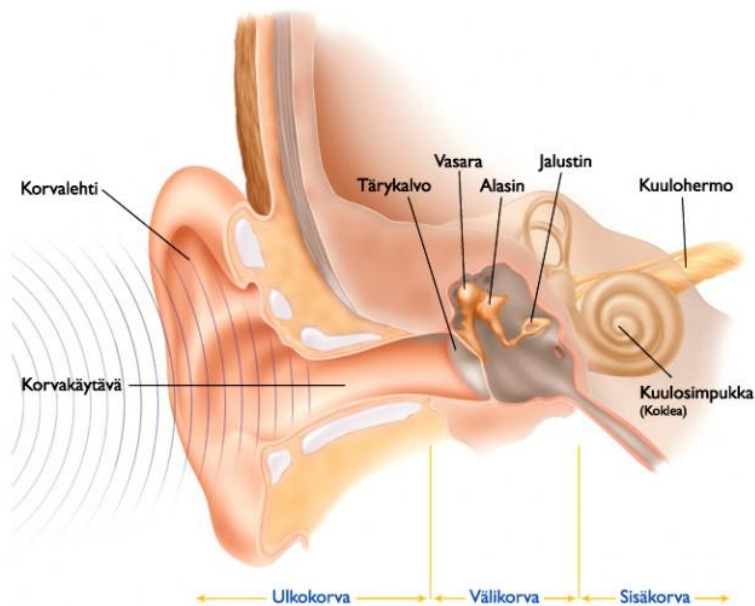
level) ottoäänellä taajuusalueella 1–4 kHz. Taajuusalueella 0,5–1 kHz vastaava ottoäänitaso on 55–65 dB SPL. 100 mA/m:n kentässä vastaavan antotason tulee olla 10 dB korkeampi. Valmistajat ilmoittavat kojeiden datalehdissä herkkyysarvot 10 mA/m:n ja 100 mA/m:n kentissä mitattuina referenssitaajuudella. Laatumääri-tykset soveltuvat myös uusimman IEC-60118-4:2014/12-standardin vaatimuk-siin. (17, s. 16; 4, s.11.)

## 5 KUULO

Kuulokojeen valintaan ja sen säätämiseen vaikuttavat monelta osin kuulovian tyyppi ja vaikeusaste. Tyypillisimmät akustiset piirteet puheessa ovat äänenvoimakkuuden muutokset ja taajuusvaihtelut (24). Puheen ymmärtämiseen vaikuttaa kuitenkin monta muutakin piirrettä kuultavassa äänessä. Tässä luvussa käsitellään kuulemiseen liittyvää teoriaa, kuten korvan rakennetta, puheääntä sekä kuulovikoja.

### 5.1 Korvan rakenne ja toiminta

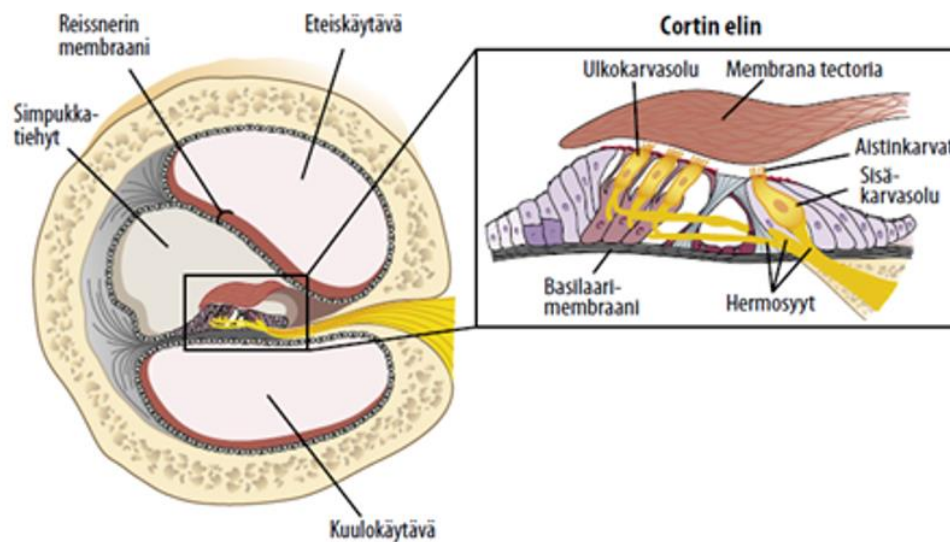
Korva jaetaan kolmeen osaan: ulkokorvaan, välikorvaan ja sisäkorvaan, joiden lisäksi korvan rakenteeseen (kuva 7) kuuluu kuulohermo. Aluksi ääni saapuu ulkokorvaan, johon kuuluu korvalehti ja korvakäytävä, joka päättyy tärykalvoon. Tärykalvon tehtävänä on muuttaa ääni värähtelyksi ja johtaa se kuuloluiden (vasara, alasin ja jalustin) kautta eteisikkunaan. Eteisikkuna jakaa välikorvan ja sisäkorvan, josta värähtely siirtyy simpukassa olevaan nesteeseen. (23; 24.)



KUVA 7. Korvan rakenne (24)

Simpukassa värähtelyt, eli käytännössä aaltoliikkeet nesteessä, etenevät eteisikäytävän ja kuulokäytävän kautta simpukan ikkunaan liikuttaen Cortin elimeen

liittyvää basilaarikalvoa. Korkeataajuuksinen värähtely liikuttaa basilaarikalvoa eteiskäytävän lähellä ja mitä matalampitaajuisempaan värähtelyyn mennään, sitä syvemmällä kuulokäytävässä basilaarikalvo aktivoituu. Cortin elimessä (kuva 8) sijaitsevat kuuloaistinsolut, joiden pinnalla on värekarvoja, jotka ovat taipuneet kohti basilaarikalvoa. Värekarvat liikkuvat basilaarikalvon liikuessa, mikä synnyttää jännitevaihtelun karvasolun kalvolla. Jännitevaihtelu ylläpitää karvasolujen ja simpukkatiehyen sisältämän nesteen välistä potentiaaliero. Lopulta kokemus äänestä syntyy aivokuoren kuulokeskuksessa, jonne potentiaalivaihtelut eli impulssit etenevät kuulohermon säikeiden kautta. Suurin osa nopeasti johtavista hermoradoista sijaitsee sisemmissä karvasoluissa, jolloin ulommat karvasolut ovat hitaampia. Tästä johtuen uloimpiin karvasoluihin kertyy ärsytystä laajemmalla alalta, jonka johdosta ne voivat aistia paremmin heikkoja ääniä. Voimakkaampien äänien korkeudet analysoidaan paremmin sisemmissä karvasoluissa välittäen täsmällisemmin tiedot basilaarikalvon liikkeiden paikasta ja ajoituksesta. (23.)



KUVA 8. Simpukka ja Cortin elin (25)



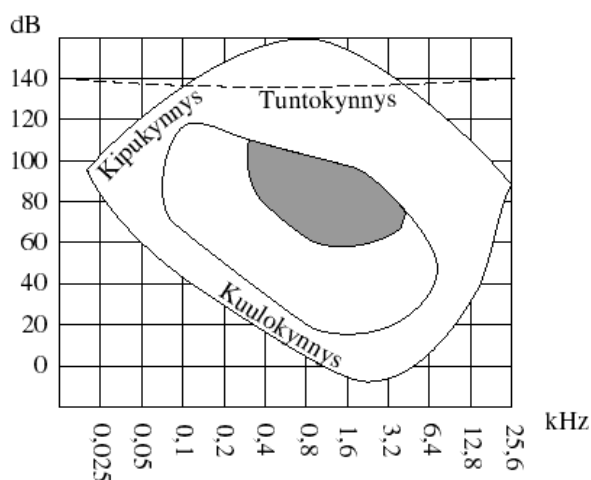
## 5.2 Puheääni ja kuuleminen

Liikkeeseen saatettu ilma muodostaa ”ääniaineeksi”, jotka korva aistii erilaisina värähtelyinä (ääninä), joista tärkeimpänä puheelle on kurkunpää-ääni eli sointiääni. Äänihuulten värähtelyä eli soinnillisten äänten muodostumista kutsutaan fonaatioksi. Tämä aerodynaamis-fysiologinen mekanismi tuottaa jaksollista kompleksista ääniaaltoa, joka on vastakohta siniäänelle. (26, s. 18.)

Energialähteen voiman eli puhujan äänentason vaikuttaa kaksi akustista suurta, puheen kokonaisamplitudi ja äänihuulten värähtelyn perustaajuus, jonka akustinen taajuusarvon termi on  $F_0$ . Sointiäänen perustaajuus ( $F_0$ ) miehillä vaihtelee välillä 60 Hz – 200 Hz ja naisilla välillä 130 Hz – 400 Hz. (26, s. 18.)

Äänenvoimakkuutta mitataan paineena, jonka yksikkö on pascal (Pa). Koska ihmisen kuulokynnys on noin 20  $\mu$ Pa ja kipuraja on noin 60 Pa, on tämän johdosta ryhdytty käyttämään äänenpainetason logaritmistista asteikkoa desibeleinä (dB). Desibeliasteikon vertailutaso (0 dB) on sidottu äänenpaineen 20  $\mu$ Pa:n tasoon, joka tarkoittaa keskivertokuulokynnystä terveellä ihmisellä. (27, s. 24.)

Ihmisen kuuloalue (kuva 9) sijoittuu välille 20 Hz – 20 kHz, jossa puheen ymmärtämiseen tarvittava kaista on 300 Hz – 4 kHz. Ihmisen puhealue näkyy alla olevassa kuvassa harmaana. Kuvasta näkee myös, että taajuusalueen ylä- ja alapäässä kuuloalue sekä kipualue yhtyvät toisiinsa. Kuulo on myös näillä rajataajuuksilla epätarkkaa. (23.)



KUVA 9. Ihmisen kuuloalue (23)

### 5.3 Kuulovikojen vaikutukset puheen havaitsemiseen

Tutkimusten mukaan (Katz – White 1992; Grant – Seitz 2000) kuulovammaisella puheen erottamiseen vaikuttavia tekijöitä ovat ikä, jolloin kuulovika on hankittu, kuulovian tyyppi ja aste sekä audiogrammin muoto. Puheen ymmärtäminen on vaikeinta silloin, kun kuulovika on synnynnäinen. Eriasteiset ja -tyyppiset kuuloviat vaikuttavat eri tavalla puheen havaitsemiseen ja ymmärtämiseen. (28, s. 44.)

Yleisesti kuulovian vaikutukset jaetaan kahteen osaan puheen erottamisen kannalta. Äänien vaimeneminen johtuu kuulokynnyksen muutoksesta, jonka johdosta äänihavaintoon tarvitaan voimakkaampi ärsyke. Äänien vaimenemiset ovat tavallisesti konduktiivisia kuulovikoja eli äänen johtumishäiriöitä. Johtumiskuulovioissa kuulokynnys on yleensä tasaisesti heikentynyt, mutta intensiteetiltään heikommat, suuritaajuiset konsonantit voivat erottua heikommin. Puheen havaitseminen on vaikeinta henkilöillä, joilla kuulokynnys on heikentynyt voimakkaasti jo alle 2 kHz:n taajuuksista ylöspäin. Kuulonaleneman ollessa taajuuksilla 0,5–4 kHz vika on yleensä synnynnäinen, jolloin henkilöt ovat oppineet kuuntelu- ja päättelystrategian. Tällöin puheen havaitseminen ei ole heille ongelmallista. Johtumisvialt ovat helpoiten korjattavia vikoja kuulokojeella. (28, s. 44–45; 29, s. 79.)

Toiseen osaan sisältyy sensoneuraaliset ja sitä ylemmän tason kuulohavainnon prosessointiin liittyvät vialt, jotka aiheuttavat äänien vääristymistä ja puheen erottamiskyvyn heikentymistä. Käytännössä vialt esiintyvät lähinnä sisäkorvassa tai kuulohermossa. Tämän tyyppiset vialt aiheuttavat esimerkiksi eri taajuusalueiden suodattumista vääristäen puheen spektriä ja puheen akustisia ominaisuuksia. Esimerkiksi sensoneuraalinen kuulovamma laskevalla audiogrammilla vaikeuttaa sananalkuisten konsonanttien erottamisessa. Pahimmillaan sensoneuraaliset vialt voivat kuitenkin johtaa kuulon täydelliseen puuttumiseen. Yleensä kuulovammaisille vokaalien erottaminen on vaivattomampaa, joten suomen kieli on helpompi ymmärtää kuin enemmän konsonanttipainotteiset, kuten englannin ja saksan kieli. (28, s. 45–47; 29, s. 80.)

Sentraaliset kuulovialt ovat ensisijaisesti aivorungon tai aivokuoren keskushermostollisia vammoja, jotka aiheuttavat yleensä korkeintaan lieviä kuulokynnyksen

muutoksia. Ärsykkeiden tunnistaminen tai puheen erottaminen on kuitenkin vaikeaa, ja pahimmissa tapauksissa henkilö ei ymmärrä sanallista viestintää ollenkaan. (29, s. 80.)

Jäljellä olevan kuulon sekä äänteiden taajuusominaisuuksien perusteella voidaan arvioida kuulovammaisten henkilöiden havaitsemia yksittäisiä äänteiden piirteitä. Pienien taajuuksien kuuleminen auttaa soinnillisuuspiirteiden havaitsemisessa ja keskitaajuuksien kuuleminen ääntöpaikan tunnistamisessa. Kuulovioissa on yleistä myös huono aika- ja paikkaresoluutio eli taajuuksien erotuskyvyn heikkeneminen ja nopeiden ajallisten tapahtumien erottaminen. Ongelmana voi olla myös kuulon dynaamisen alueen kaventuminen, jolloin kuulokynnys ja kipukynnys ovat lähellä toisiaan. Tämä vaikeuttaa myös kuulokojeen vahvistuksen säätöä. (28, s. 45–46.)

Kuulovammaisille taustahälyllä on suurempi negatiivinen vaikutus puheen ymmärtämisessä kuin normaalikuuloisella. Erityisesti konsonanttien erottaminen vaikeutuu esimerkiksi nimien, numeroiden ja taivutuspäätteiden erottamisessa. Taustahälyiset tilanteet ovat erityisen herkkiä varsinkin kuulokojetta käytettäessä, koska kojeet eivät osaa itsenäisesti erottaa informatiivista tietoa taustamelusta. (28, s. 46–48.)

#### **5.4 Kuulovikojen esiintyvyys ja vaikeusasteet**

Suomessa syntyy vaikeasti tai erittäin vaikeasti kuulovammaisia lapsia vuosittain 50–60 ja yleisesti länsimaissa vaikeita tai erittäin vaikeita kuulovikoja esiintyy noin promillella lapsista. Kuten taulukosta 1 näkee, kuuloviat yleistyvät nopeasti 45 ikävuodesta ylöspäin. Kuuloviat jaetaan vaikeusasteeltaan lieviin, keskivaikeisiin, vaikeisiin ja erittäin vaikeisiin paremman korvan puhealueen kuulokynnysten keskiarvon perusteella. Puhealueen keskiarvo mitataan äänesaudiometriassa mitattujen puhetaajuuksien eli 0,5–4 kHz:n taajuuksien kuulokynnysten keskiarvona. Taulukossa 2 oikeassa laidassa on EU:n vuodelta 1996 ehdotus kuulovikojen luokituksiksi taajuuksien 0,5–4 kHz:n välillä paremman korvan puhealueen keskiarvon mukaan (Better ear hearing level,  $BEHL_{0,5-4kHz}$ ). Keskellä on WHO:n esitys vuodelta 1991, joka perustuu 0,5–2 kHz:n taajuusvälille ( $BEHL_{0,5-2kHz}$ ).

EU:n ehdotusta voidaan pitää parempana, koska se ottaa paremmin huomioon koko puhetaajuusalueen. (29, s. 78–87.)

TAULUKKO 1. Kuulovikojen vallitsevuus pohjoissuomalaisilla ikäryhmittäin EU:n ja WHO:n kuulovikamääritelmän mukaisesti (30)

Ikäryhmä (V)	WHO (BEHL <sub>0,5–2kHz</sub> ) ≥ 26dB	EU (BEHL <sub>0,5–4kHz</sub> ) > 20dB
10	0,2	0,2
15	0,7	0,9
25	0,4	0,8
35	1,2	2,0
45	1,3	6,6
55	4,3	15,9
65	10,0	37,3
75	32,5	64,5

TAULUKKO 2. Kuulovikojen vaikeusasteluokituksia (29, s. 81)

Kuulovian aste	WHO(1991) (BEHL <sub>0,5–2kHz</sub> )	EU:n työryhmä (1996) (BEHL <sub>0,5–4kHz</sub> )
Lievä	26–40 dB	20 dB < BEHL <sub>0,5–4kHz</sub> < 40 dB
Keskivaikea	41–60 dB	40 dB ≤ BEHL <sub>0,5–4kHz</sub> < 70 dB
Vaikea	61–80 dB	70 dB ≤ BEHL <sub>0,5–4kHz</sub> < 95 dB
Erittäin vaikea	≥81 dB	BEHL <sub>0,5–4kHz</sub> ≥ 95 dB

## 5.5 Kuulovikojen määrittäminen

Kuulontutkimuksen tavoitteena on iästä riippumatta selvittää ja paikantaa sairaus tai vaurio, joka on huonokuuloisuuden tai kuulemisvaikeuksien syynä, määrittellä mahdollinen vaurion aiheuttaja sekä määrittellä kuulovaurion laatu ja vaikeusaste. Näiden pohjalta voidaan päätellä kuulovaurion aiheuttaman toimintavajauden haitan laatu ja aste. Kuulontutkimusmenetelmät kuitenkin vaihtelevat hieman tutkittavan iän, kehitystason ja yhteistyökyvyn mukaan. (31, s. 90.)

Kuulontutkimuksilla pyritään mahdollisuuksien mukaan selvittämään seuraavat kuuloon liittyvät piirteet:

- kuuloherkkyys, kuulokynnyksen taso
- kuulon erotuskyky
- kuulon epämiellyttävyysskynnyksen taso, joka rajaa kuulon dynaamisen alueen äänien voimistuessa.

Ääneskynnystutkimus tehdään standardin ISO-8253-1 mukaisesti, jolloin kuulonherkyyden mittaamiseen käytetään aikuisilla taajuusväliä 125 Hz – 8 kHz ja lapsilla 500 Hz – 4 kHz. Tällä saadaan selville se taso, jolla ääni on juuri kuultavissa tai saa aikaan vasteen korvassa tai kuulojärjestelmässä eri taajuuksilla. Erotuskyvyllä tarkoitetaan kykyä erottaa äänten eri taajuuksia, voimakkuuksia ja kestoja toisistaan. Erotuskyvyllä tarkoitetaan myös kykyä erottaa, hahmottaa ja tunnistaa eri äänilähteitä ja puheäänien eri piirteitä. Kuulon dynaamisella alueella saadaan kuva, kuinka paljon ääniä korvalla on mahdollisuus havaita ja erottaa suhteessa äänitason ja taajuuden vaihteluihin. Kuulon dynaaminen alue sijoittuu kuulokynnyksen ja epämiellyttävyysskynnyksen väliin. Puheäänien tasonvaihtelut ovat normaalasti noin 30 dB eli tämä vaaditaan vähintään kuulon dynaamiseksi alueeksi tyydyttävään puheen erottamiseen. Äänen kompressiolla ja epälineaarilla vahvistuksella voidaan kuitenkin parantaa äänen erotuskykyä. Tutkimusääninä käytetään yksinkertaista pelkistettyä ääntä (pure tone), jonka kesto on 1–2 sekuntia. (31, s. 91–92; 32, s. 20.)

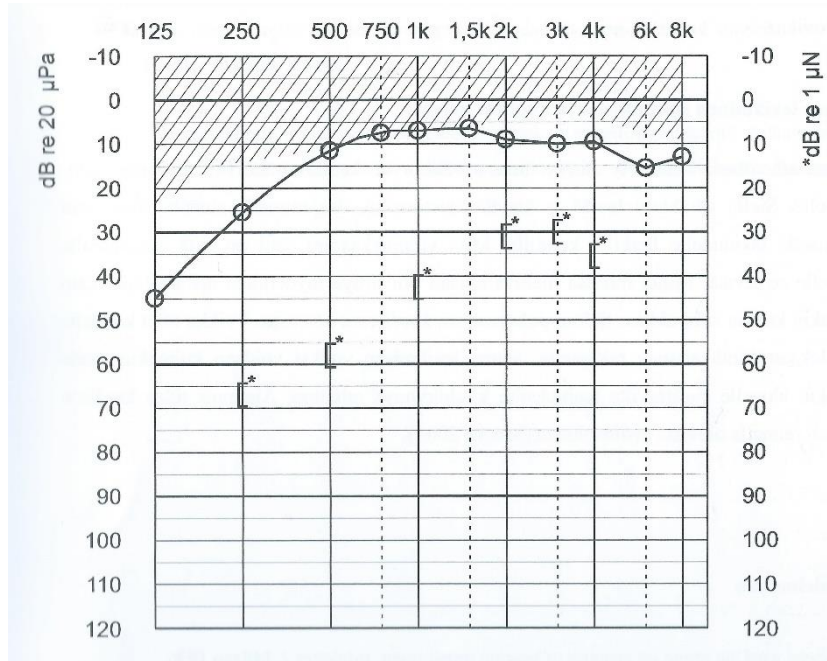
## 5.6 Kuulon diagnostiset mittausmenetelmät

Varsinaisia kuulon ja kuulemisen tutkimuksia kutsutaan psykoakustisiksi kuulon-tutkimuksiksi, joihin kuuluu äänes- ja audiometria eri muodoissaan. Näitä tutki-muksia tehdään kuuloke- ja äänikenttätutkimuksina, jolloin tutkittavana olevat vanhemmat lapset ja aikuiset ovat aktiivisessa roolissa ilmoittaen havaituista ää-nistä. Pienillä lapsilla tutkija havainnoi tutkittavan refleksejä ja reaktioita ääniin. (33, s. 3.)

Äänes-audiometrialla saadaan tarkka taajuuskohtainen kuulokynnys, jolloin ilma- ja luujohtokynnyksiä mittaamalla selviää kuulovian perustyyppi ja vaikeusaste. Esimerkiksi luujohtomittausta käytetään kuvaamaan sisäkorvan kuuloa ja ilma-johtokynnyksiä käytetään kuvaamaan kokonaiskuuloa. Ilma- ja luujohtomittaus-tulosten välisellä erolla (air-bone gap) saadaan selville konduktiivinen kuulovika. (33, s. 4.)

Ilmajohtokynnyksen määrittäminen aloitetaan paremmin kuulevasta korvasta. Kynnysmäärittys tehdään nousevien ja laskevien rajamenetelmällä, perustuen Hughson–Westlake-menetelmään, jossa kynnyksen määrittys tehdään 5 dB:n tarkkuudella ja aloitustaajuus on 1 kHz. 1 kHz:n taajuutta pidetään fysiologisesti ihmisen parhaiten kuultavana taajuutena. Taajuutta nostetaan oktaavin välein (2 kHz, 4 kHz, 8 kHz), jonka jälkeen testataan uudelleen 1 kHz:n taajuus. Tämän jälkeen edetään oktaavin välein pienempiin taajuuksiin 125 Hz:iin asti. Tarvitta-essa voidaan testata myös puolioktaavit, jos vierekkäisten oktaavien välillä on suuri ero kynnysarvoissa. Normaalihajonta kuulokynnyshavainnoissa yksilöiden välillä on 15–20 dB. Luujohtokynnysmittaus tehdään, kun ilmajohtokynnykset ovat 15 dB tai huonommat. 0 dB:n taso tarkoittaa keskimääräistä kuulokynnyksen tasoa, eli -5 dB tarkoittaa keskivertoa normaalia hieman parempaa ja 5 dB hie-man heikompaa kuuloa. Jukka Kokkosen mukaan käytännössä on kuitenkin pa-rempi puhua viitearvosta, kuten eurooppalaisen HEAR-projektin määritelmästä. HEAR-projektin mukaan normaali kuulo voi ulottua 20 dB:n tasolle asti. (32, s. 21–22; 27, s. 24–25.)

Audiogrammissa (kuva 10) on kuvattu ilma- ja luujohtokuulo äänenpainetasona (dB SPL). Ilmajohdokynnys (ympyrät) on merkittynä suhteessa värähtelyn paineeseen ja luujohtokynnykset (hakasulkeet) suhteessa värähtelyn voimaan. Varjos- tettu alue kuvaa standardin suurinta sallittua tutkimustilan taustahälyn tasoa. (27, s. 24–25.)



KUVA 10. Ilma- ja luujohtokuulon audiogrammi äänenpainetasoina (27, s. 25)

## 6 MENETELMÄT

Tutkimuksen pohjatietona ja testilaitteiston sekä -ohjelmiston suunnittelussa on käytetty Qlu Oy:n tekemiä alustavia tutkimuksia sekä laitteistoa. Qlu Oy:n sekä Oulun yliopistollisen sairaalan henkilökunta avustivat tarvittaessa mittauksissa, niiden järjestämisessä ja tulosten analysoimisessa.

### 6.1 Tutkimusaineisto

Tutkimusaineistona käytettiin testitilanteessa saatuja tuloksia. Tutkimuksen testi suoritettiin kuulokojeiden käyttäjillä, joilla koje on ollut käytössä vähintään kaksi vuotta. Tutkimuksen testiin valittiin 36 henkilöä, iältään 20–80-vuotiaita, joilla on erilaisia kuulovammoja. Alkuperäisestä suunnitelmasta poiketen kaksi testihenkilöä pystyi käyttämään kojetta vain toisessa korvassa ja kahdella oli käytössä korvakäytäväkoje.

Testihenkilöt valittiin Oulun alueelta potilasrekisteristä. Potentiaalisille testihenkilöille lähetettiin tiedote tutkimukseen osallistumisesta ja tutkimuksen tarkoituksesta (liite 1). Tiedotteen pohja saatiin Eettisen toimikunnan tutkittavan tiedotemallista. Ennen ja jälkeen lomakkeiden lähettämistä valituille soitettiin tutkimukseen osallistumisen varmistamiseksi. Tutkimustilanteeseen saapuessaan vapaaehtoisille kerrottiin uudelleen testin tarkoitus, toimintamalli ja henkilön oikeudet sekä pyydettiin lupa allekirjoituksella suostumuslomakkeeseen (liite 2) tutkimustulosten käyttö varten. Suostumuslomakkeen pohja saatiin Valtakunnallisen lääketieteen tutkimuseettisen toimikunnan (TUKIJA) suostumusasiakirjamallista.

### 6.2 Tutkimustila

Testit suoritettiin OYS:n kuulokeskuksen tiloissa. Tilaksi oli tarkoitus valita äänieristetty huone, joka täyttää ilmajohtotutkimuksen standardit ISO-8253-1 ja ISO-8253-2 ja jonne saa asennettua siirrettävän induktiosilmukan standardit täyttävät olosuhteet. Jouduimme kuitenkin joustamaan induktiosilmukan standardit täyttävistä olosuhteista liian suuren taustakohinan takia, joka oli huoneessa –43 dB(A)-skaalalla. Toivottu taso olisi ollut –47 dB(A)-skaalalla. Käytännön ongelmia



tästä ei ollut, koska testin jälkeen tehtyjen kyselyjen mukaan yksikään testihenkilö ei kuullut ylimääräisiä ääniä testin aikana.

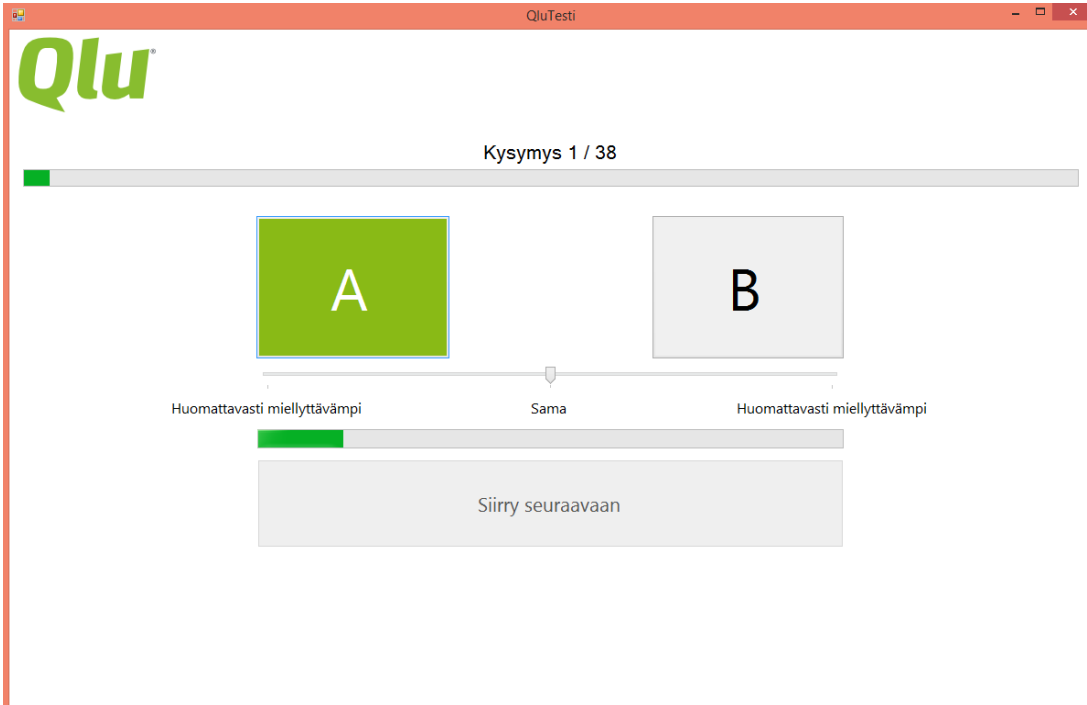
### **6.3 Tutkimuksen vaiheet ja testisovellus**

Tutkittavan kanssa oli ennalta sovittu ajankohta, jolloin tutkimus suoritetaan. Tutkittavan saavuttua paikalle hänelle luettiin uudelleen tutkimuksen tarkoitus, eteneminen ja kesto sekä hänen oikeutensa. Tämän jälkeen tutkittavaa pyydettiin laittamaan allekirjoitus suostumuslomakkeeseen. Suostumuksen saamisen jälkeen tutkittavalle opastettiin laitteiston toiminta tarkoituksenmukaiselta osalta. Tutkittavan kuulokojeen toiminnallisuus ja eheys tarkistettiin ulkoisesti sekä testissä käytettävän laitteiston kanssa. Tutkimuksessa käytettiin Qlu Oy:n tekemää ääninäytteiden testiohjelmia, jolla voidaan vertailla kahta ääninäytettä kerrallaan. Tutkimuksessa tehdyt häiriöt vastaavat yleisiä käytännön tilanteissa ilmeneviä häiriöitä ja ongelmatilanteita. Tutkimus aloitettiin ennalta määrätyn kaavan (liite 3) mukaisesti.

Testin ensimmäisessä vaiheessa (kuva 11) luotiin testisekvenssi, missä toisiaan vastaavia, eri tavalla vääristettyjä signaaleja voitiin verrata pareittain. Niistä testihenkilön tehtävänä oli valita miellyttävämmän äänen tuottava vaihtoehto. (34.) Parivertailuja oli yhteensä seitsemän kappaletta, joista viisi oli puhetta ja kaksi musiikkia. Ääninäytteiden välisen vertailun johtopäätös annettiin näytteiden alla olevan portaattomasti säätävän liukupalkin avulla, jossa liukukontrolli asetettiin oikeaan tai vasempaan reunaan sen mukaan, kumpi näytteistä oli miellyttävämpi. Mikäli toinen näytteistä ei ollut selkeästi miellyttävämpi, oli liukukontrolli mahdollista asettaa myös johonkin muuhun kohtaan säätöväliä. Puolivälissä oleva aloituspaikka tarkoitti nollakohtaa. Liukukontrolli voitiin asettaa nollakohtaan, mikäli näytteiden välillä ei tutkittavan mukaan ollut miellyttävyyseroa.

Ääninäytteet toistettiin painamalla hiirellä laatikoita, joissa on kirjain A tai B. Näytteen toistaminen voitiin pysäyttää painamalla samaa näytettä uudelleen. Toisen näytteen toistaminen voitiin aloittaa painamalla toista näytettä, vaikka toisen toistaminen olisi vielä kesken. Toinen näyte alkoi soida korkeintaan yhden sekunnin viiveellä painalluksesta samasta kohtaa, mihin edellisen toistaminen oli jäänyt. Testihenkilö pystyi kuuntelemaan vertailtavana olevia ääninäytteitä niin monta

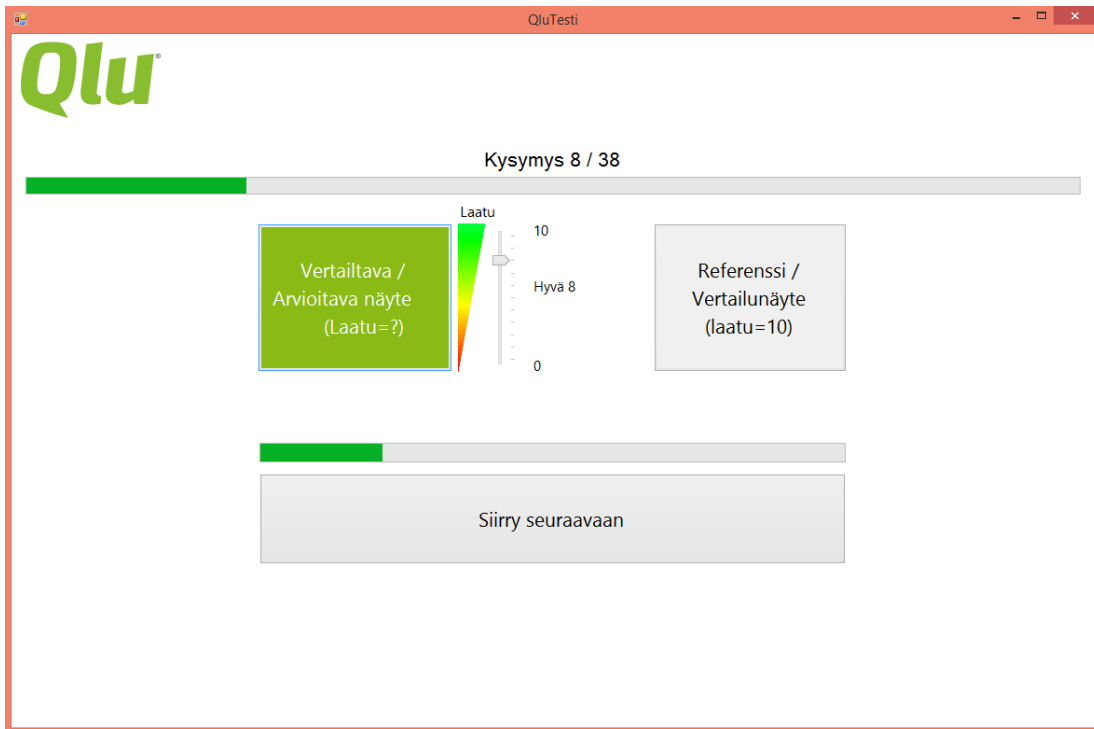
kertaa kuin halusi. Testissä seuraavaan testipariin pääsi painamalla seuraava-painiketta ja etenemisen kyselyssä näki keskellä sivun yläosassa. Tulosten saamisen varmistamiseksi seuraava-painike aktivoitui, kun liukusäädintä oli painettu.



KUVA 11. Käyttöliittymän ensimmäinen osio

Testin toisessa vaiheessa (kuva 12) tutkittava vertaili ääninäytteitä yksitellen muokkaamattomaan standardin mukaiseen referenssinäytteeseen, jonka hän pystyi kuuntelemaan testiohjelman oikeanpuoleisesta näytteestä. Vertailussa referenssinäytteeseen, eli arvosanaan 10 oikeuttavaan näytteeseen, tutkittava vertaili äänenlaatua ja selkeyttä. Arvosana 10 tarkoitti, että ääni kuulosti yhtä selkeältä, erinomaiselta ja samanlaiselta kuin referenssinäyte. Arvosana 0 tarkoitti, että tutkittava sai korkeintaan kolme sanaa selvää ääninäytteestä. Arvosana annettiin vertailtavana olevalle näytteelle ääninäytteiden välissä olevalla liukupalalla, jonka yläpuolella luki "laatu". Arvosana annettiin väliltä 0–12, jossa 11–12 tarkoitti parempaa kuin alkuperäinen, 9–10 tarkoitti erinomaista, 6–8 tarkoitti hyvää, 3–5 tarkoitti heikkoa ja 0–2 tarkoitti kelvotonta äänenlaatua puheen ymmärrettävyyden ja laadun kannalta.

Antaessaan arvosana 11 tai 12 testihenkilö merkitsi testiohjelmaan 10 ja ilmoitti testioperaattorille korkeammasta arvosanasta, joka merkittiin erikseen ylös paperille. Haluttu arvosana korjattiin jälkepäin tuloksiin. Näytteiden kuuntelu tapahtui samalla periaatteella kuin ensimmäisessä vaiheessa. Laatuarvosteluja kuului jokaiseen testipakettiin 31 kappaletta.



KUVA 12. Käyttöliittymän toinen osio

Edellä esitetyt kaksi testissä olevaa arvostelua toimivat siis toisistaan erillisinä vertailuina, jolloin vertailtavina olevat näytteet saattoivat saada saman miellyttävyysarvoin, mutta eroja syntyi laadukkuutta mittaavassa osiossa. Tutkimuksen suorituksen jälkeen testiohjelma tallensi tulokset Excel-taulukkoon (kuva 13).

Question	Sample A	Sample B	A	B	Grade
1	A: Naisääni_-5dB50Hz	B: Naisääni_6dBsärö	100	0	
2	A: Naisääni_särö9dB	B: Naisääni_vaim9dB	0	88	
3	A: Naisääni_+1kHz+12dB	B: Naisääni_+1kHz-12dB	0	96	
4	A: Naisääni_10dB50Hz	B: Naisääni_12dBsärö	50	0	
5	A: Naisääni_-1kHz+6dB	B: Naisääni_6dBvaim	0	91	
6	A: musiikki_-1kHz-12dB	B: musiikki_+1kHz+12dB	35	0	
7	A: musiikki_+1kHz-12dB	B: musiikki_-1kHz-24dB	0	52	
8	A: Naisääni_-5dB50Hz				10
9	B: Naisääni_6dBsärö				8
10	A: Naisääni_särö9dB				4
11	B: Naisääni_vaim9dB				8
12	A: Naisääni_+1kHz+12dB				5
13	B: Naisääni_+1kHz-12dB				9
14	A: Naisääni_10dB50Hz				4
15	B: Naisääni_12dBsärö				3
16	A: Naisääni_-1kHz+6dB				8
17	B: Naisääni_6dBvaim				10
18	A: musiikki_+1kHz+6dB				8
19	B: musiikki_+1kHz+12dB				4
20	A: musiikki_+1kHz-12dB				6
21	B: musiikki_-1kHz-24dB				9
22	Naisääni_+1kHz+6dB				6
23	Naisääni_+1kHz+6dB_9dBvaim				9
24	Naisääni_+1kHz-12dB_9dBvaim				8
25	Naisääni_+1kHz+12dB_9dBvaim				9
26	Naisääni_+1kHz+12dB_15dBvaim				4
27	Naisääni_-1kHz+6dB_15dBvaim				6
28	musiikki2_-1kHz-12dB				4
29	musiikki2_+1kHz-12dB				6
30	musiikki2_+1kHz+12dB				5
31	musiikki2_-1kHz-24dB				8
32	Naisääni_+1kHz-24dB_9dBvaim				5
33	Naisääni_-1kHz+6dB_9dBvaim				8
34	Naisääni_+1kHz+6dB_15dBvaim				8
35	Naisääni_-1kHz+12dB_9dBvaim				9
36	Naisääni_+1kHz-12dB_5dB50Hz_9dBvaim				9
37	Naisääni_+1kHz-12dB_6dBsärö_9dBvaim				5
38	Naisääni_vaim24dB				4

KUVA 13. Tulosten tallentuminen Exceliin

#### 6.4 Käytettävien välineiden ja laitteiston asianmukaisuus

Tutkimuksessa käytettiin yrityksen omaa laitteistoa. Ammattilaiset tarkistivat laitteiston toiminnan ja turvallisuuden.

Laitteisto:

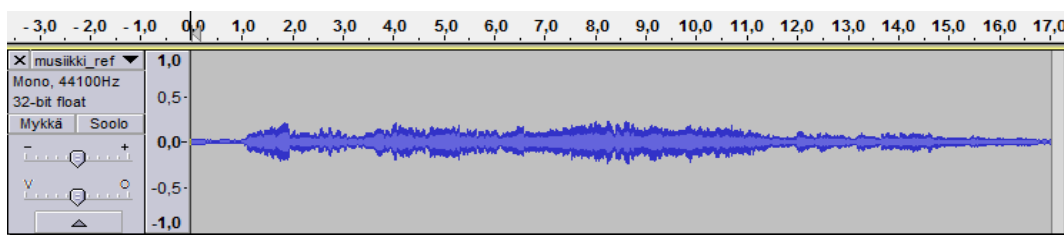
- Ulkoreunainduktiosilmukka, johtimen paksuus 2 x 1 mm

- Päätevahvistin, InterM QD4960
- Digitaalinen signaaliprosessori, Begringer DCX2496 Ultradrive Pro
- Ulkoinen äänikortti, ARX Audibox USB-IO
- Kannettava tietokone + erillinen näyttö 24”
- Magneetikentän mittauslaitteisto
- Testihenkilön omat kuulokojeet.

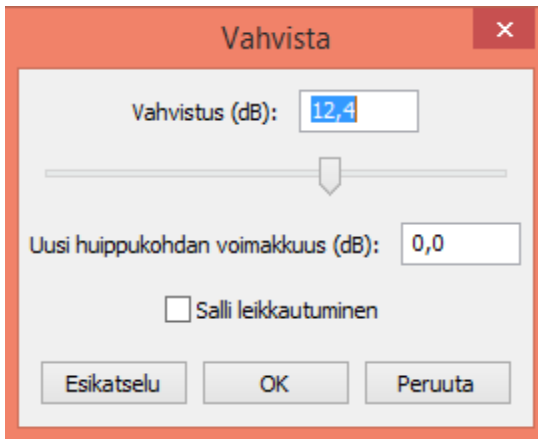
## 6.5 Ääninäytteet

Näytteiden häiriöt ja tyypilliset vikatilat voidaan jakaa kolmeen ryhmään: vahvistimen ominaisuuksista johtuviin, tyypillisiin säätövirheisiin ja tyypillisiin suunnittelu- ja asennusvirheisiin. Testihenkilöt ja näytteet (liite 4) oli jaettu neljään ryhmään. Kaksi testipakettia sisälsi puhenäytteissä uutisenlukua naisäänellä ja kaksi pakettia miesäänellä. Kaikki näytepaketit sisälsivät myös neljä näytettä klassista huilu- ja pianomusiikkia ja neljä näytettä kitara- ja rumpupohjaista jazz-musiikkia. Näytteiden kesto oli noin 17 sekuntia.

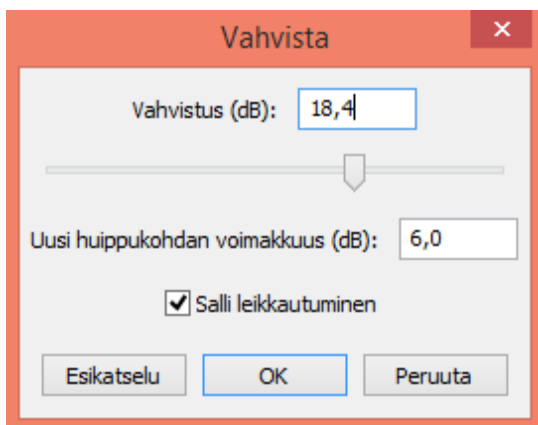
Ääninäytteiden tekemiseen käytettiin Audacity-nimistä avoimeen lähdekoodiin perustuvaa äänen nauhoitus- ja muokkausohjelmaa (35). Vahvistimen ominaisuuksista johtuvat ja tyypilliset säätövirheet toteutettiin säröyttämällä ääninäytettä tai muuttamalla ääninäytteen taajuusvastetta. Ääninäytteiden säröytys toteutettiin yliohjaamalla signaali. Alla olevassa esimerkissä (kuvat 14–21) on toteutettu pieni säröytys vahvistamalla signaalia 6 dB yli maksimiarvonsa eli leikkaantumis-  
pisteen.



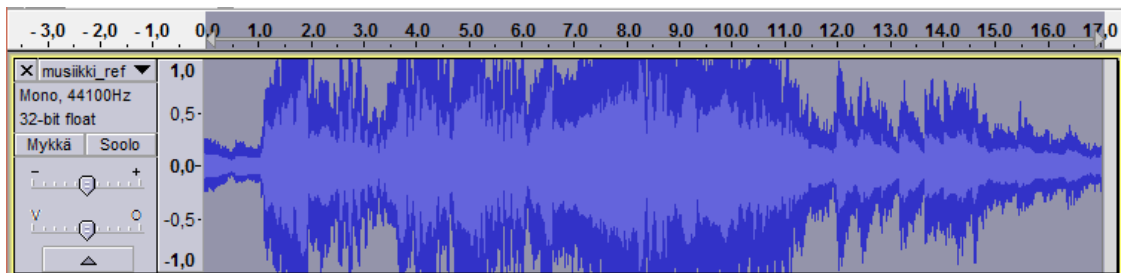
KUVA 14. Alkuperäinen signaali musiikinäytteestä Audacityssä



KUVA 15. Musiikinäytteen suurin vahvistus ilman säröytymistä on 12,4 dB, jonka jälkeen signaali leikkaantuu. Audacity näyttää automaattisesti vahvistusrajan, kun avataan vahvistusefekti valikosta.



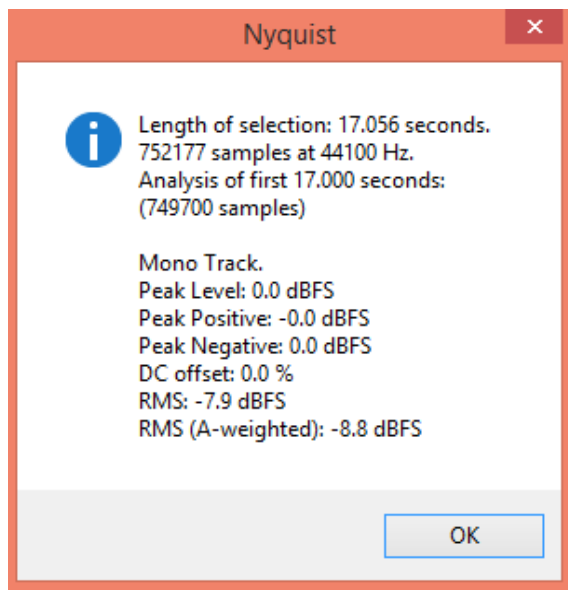
KUVA 16. Nostetaan vahvistusta halutun säröytyksen verran eli 6 dB yli leikkaantumispisteen. Vahvistus on siis 18,4 dB.



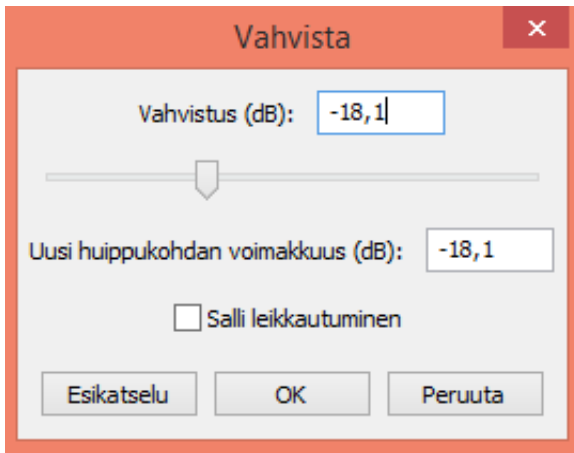
KUVA 17. Vahvistettu signaali

Signaalin vahvistamisen jälkeen analysoitiin muokattu näyte RMS-voimakkuuden ja signaalin huipusta huippuun -arvojen (p–p-arvo) osalta (kuva 18). Muokatut näytteet tallennettiin tässä välissä wav-tiedostoksi ja avattiin uudelleen, jotta saatiin niin kutsuttu terävä leikkaantumisen (36.).

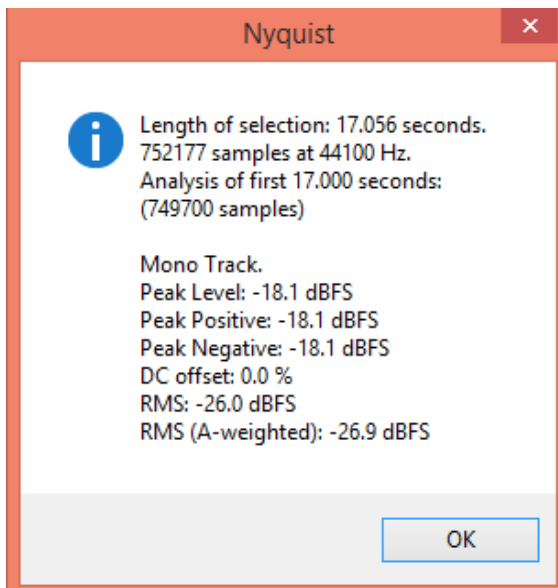
Uudelleenavaamisen jälkeen näytteiden vahvistusta laskettiin (kuva 19) siten, että samasta originaalista lähtöisin olevat signaalit skaalattiin samaan RMS:ään, ettei mikään signaaleista yliohjaa. Eli käytännössä laskettiin p–p- ja RMS- tasojen erotus ja asetettiin RMS-taso matalimpaan näistä erotuksista jokaiselle näytteelle. Tällä saatiin kaikki ääninäytteet kuulostamaan lopulta yhtä voimakkailta. Käytännössä päädyttiin käyttämään näytteissä -26 dB:n RMS-tasoa eli tässä näytteessä vahvistusta piti laskea 18,1 dB. Tätä toimintoa tarvittiin pelkästään, kun tehtiin näytteet pelkällä vaimennuksella.



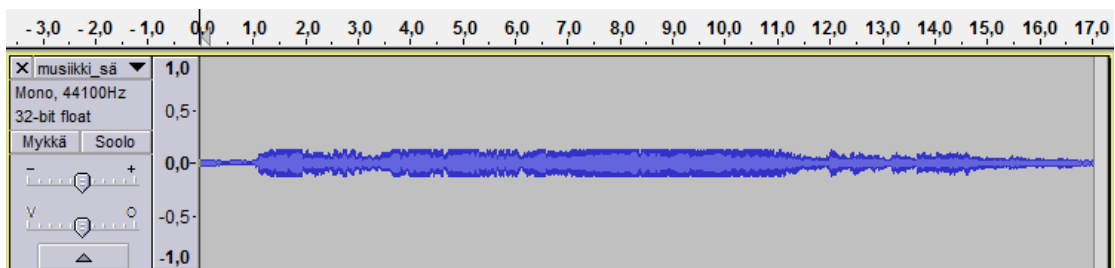
*KUVA 18. Muokatun näytteen analysointi*



KUVA 19. Näytteiden vahvistuksen muokkaaminen p-p- ja RMS-arvojen mukaan.



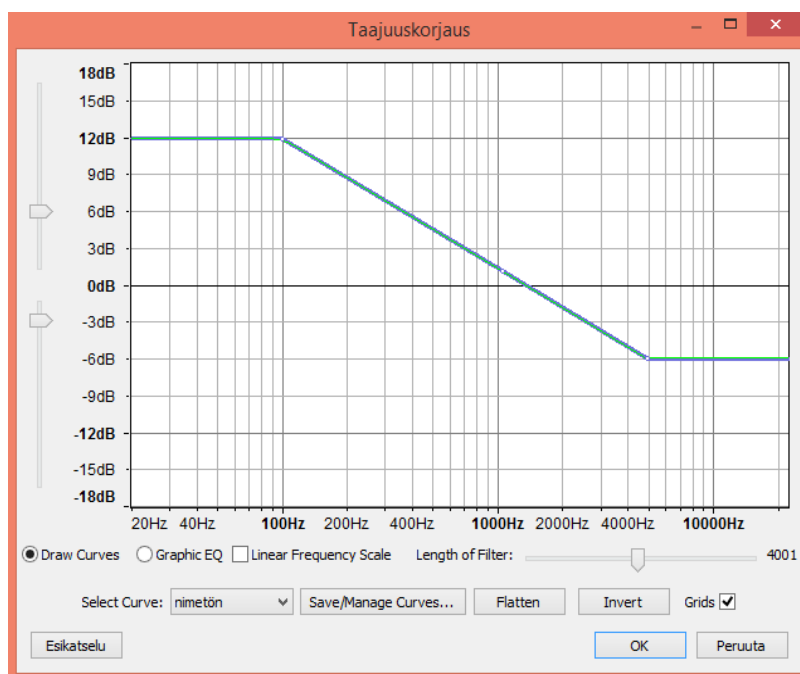
KUVA 20. Valmiin +6 dB säröytetyn musiikinäytteen signaalin statistiikka



KUVA 21. Valmiin +6 dB säröytetyn musiikinäytteen signaali

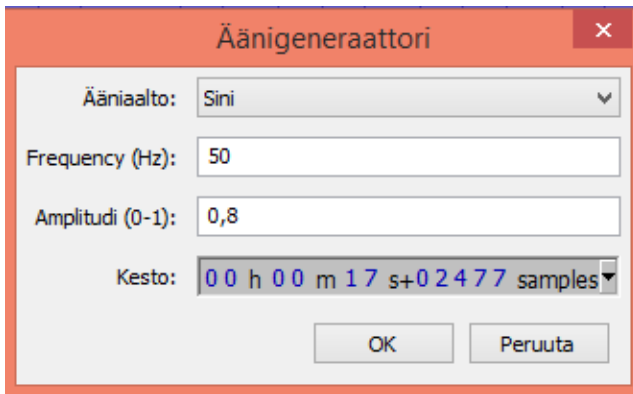


Ääninäytteiden taajuusvastetta muokattiin korostamalla tai vaimentamalla ylä- ja alääniä. Taajuusvasteen muokkaamiseen käytettiin Audacityn taajuuskorjausefektiä. Kuvan 22 esimerkissä käytetty näyte on nimeltään musiikki\_–1 kHz\_+12 dB, jonka tarkoituksena on simuloida vahvistimen virheellistä viritystä aiheuttaen alääänien liiallista korostusta. Näytteessä on korostettu alle 100 Hz:n taajuuksia 12 dB ja vaimennettu yli 5 kHz:n taajuuksia 6 dB verraten 1 kHz:n taajuuteen. Rajojen väliset taajuudet on toteutettu lineaarisella keskiarvoistuksella. Taajuusvasteen muokkaaminen noudattaa samoja periaatteita RMS-skaalauksen suhteen kuin yllä esitetty esimerkki säröytyksestä. Ylä-äänien muokkaus tehtiin samalla periaatteella ja rajataajuuksilla, mutta korostukset päinvastoin.

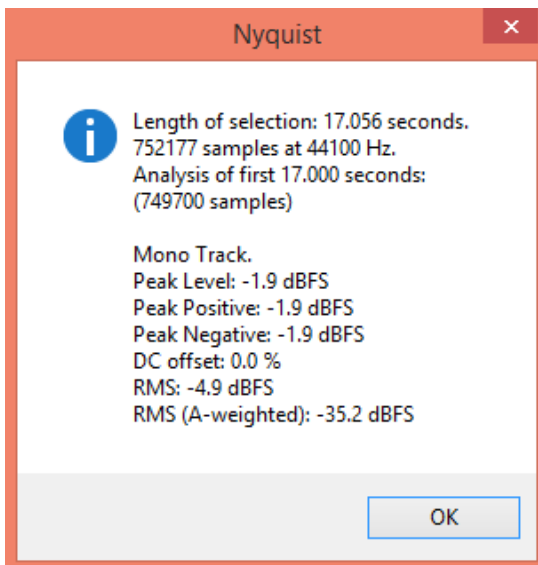


*KUVA 22. Taajuusvasteen muokkaus Audacityllä*

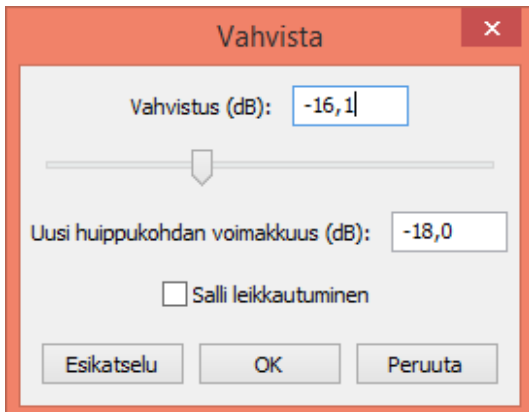
Käytettävän tilan suunnitteluvirheistä osittain johtuvat 50 Hz:n verkkohäiriöt toteutettiin näytteisiin käyttämällä pohjalla näytettä, johon häiriöt haluttiin, ja lisäämällä näytteeseen alustavasti toiselle kanavalle Audacityn äänigeneraattorilla (kuva 23) luotu 50 Hz:n sinisignaali. Alla on esimerkki (kuvat 23–28) 50 Hz:n sinisignaalin lisäämisestä 5 dB:n voimakkuudella referenssimusiikkinäytteeseen. Muokatun näytteen nimi on musiikki\_5dB50Hz.



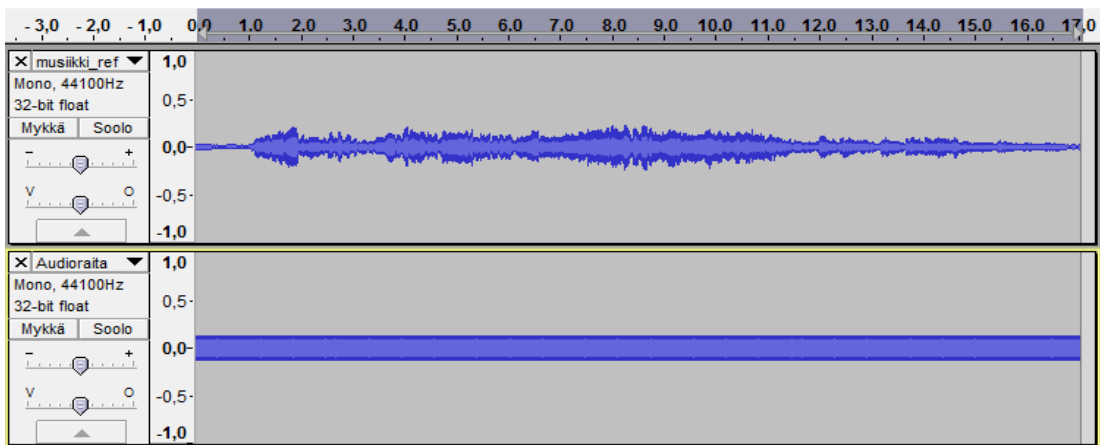
KUVA 23. Audacityn äänigeneraattori 50 Hz:n sinisignaalin tekemiseen



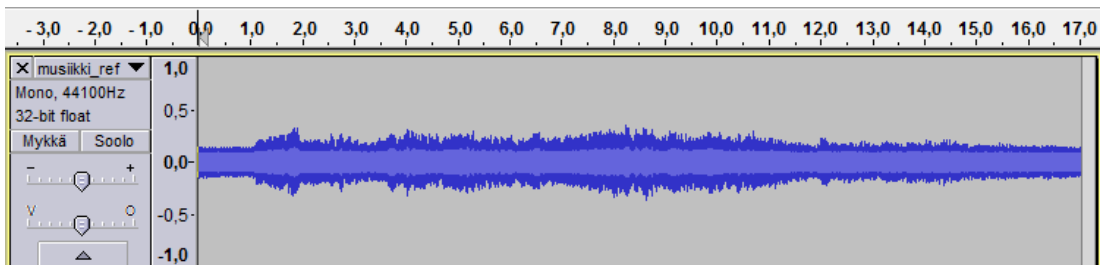
KUVA 24. Analysoidaan tehdyn 50 Hz:n signaalin RMS-teho, joka oli aluksi -4,9 dB.



KUVA 25. RMS-voimakkuus haluttiin häiriölle 5 dB korkeammalle kuin referenssimusiikinäytteen (-26 dB), joten tehollisarvo laskettiin -21 dB:n tasolle pienentämällä vahvistusta 16,1 dB.



KUVA 26. Referenssimusiikinäyte ylempänä ja +5 dB sinisignaali alempana samassa näytteessä eri kanavilla.



KUVA 27. Näyte tallennettiin yksikanavaisena, jolloin kanavat yhdistyivät ja saatiin lopullinen ääninäyte musiikki\_5dB50Hz.

## 6.6 Aikataulu

Opinnäytetyön alkuvalmistelut aloitettiin kesällä 2014 hankkimalla tarvittavat luvat tutkimuksen suorittamiseen sairaalassa ja testihenkilöiden hankintaan. Alkuperäisestä tuntimäärän jaosta poiketen muun muassa testikokoonpanon suunnitteluun ja testihenkilöiden hankintaan jouduttiin lisäämään tuntimäärää, joka aiheutti opinnäytetyölle asetetun 400 tunnin rajan ylittymisen. Tuntimäärän ylitys ei kuitenkaan aiheuttanut suuria ongelmia työn valmistumiselle määräajassa.

- Aineiston keräys 70 h
- Tutkimussuunnitelma 40 h
- Testihenkilöiden hankinta 50 h
- Testikokoonpanon suunnittelu ja testaus 60 h
- Testit 50 h
- Tulosten analysointi 90 h
- Raportin kirjoitus 100 h.

## 6.7 Tulosten analysointi

Kaikista tuloksista ei lähdetty tekemään liian tarkkoja ja pitkälle vietyjä päätelmiä, koska arvostelujen määrä jäi haluttua pienemmäksi. Pientä epätarkkuutta tuloksiin lisäsi lähetystehon pieneneminen osalle testihenkilöistä, jotka kuuluivat testiryhmiin 3 ja 4. Nämä testiryhmät arvostelivat miesääniä. Lähetystehon lasku oli 9 dB, mutta käytännössä ero oli pienempi, koska standardin mukaista tehoa käytettäessä suuri osa testihenkilöistä joutui pienentämään voimakkuutta kojeesta testin alussa, mikäli heillä oli voimakkuuden säätö. Voimakkuuden säädön puuttuessa voimakkuutta laskettiin tietokoneelta tarvittava määrä. Osa testihenkilöistä joutui pienentämään tehoa kojeestaan myös alhaisemmalla lähetysteholla.

Testihenkilöiden antamat tulokset analysoitiin testien jälkeen ja niiden pohjalta muodostettiin tarvittavat kuvaajat ja kaavat, joista voitiin johtaa lopulta induktiosilmukan laatuksikriteeristöön tarvittavat arvot. Laatuksikriteeristön arvot jaettiin neljään eri tasoon: erinomainen (vihreä), hyvä (keltainen) ja heikko (punainen) sekä kelvoton (musta). Erinomainen vastaa induktiosilmukan standardit täyttävää kuuluvuutta. Hyvän ja heikon tason määrittelyt luotiin saatujen tulosten perusteella

(lukuun ottamatta hyvän ylärajaa, joka on määriteltynä erinomaisen alarajana). Yrityksen kanssa sovittiin, ettei tarkkoja kaavoja julkaista opinnäytetyössä, vaan kriteeristön taulukot riittävät tuloksiksi.

Yksittäisten tutkimustulosten yhdistämisessä on käytetty 50 Hz:n verkkohäiriön analysointia lukuunottamatta harmonista keskiarvoistusta. Harmoninen keskiarvo on lukujen käänteisarvojen keskiarvon käänteisarvo, mikä painottaa halutulla tavalla pienempiä arvosanoja. Harmonisen keskiarvon käyttäminen ratkaisi myös ongelman ”liian hyvistä” arvosanoista, joita osa testihenkilöstä antoi, koska referenssinäyte oli heille liian voimakas.

Mies- ja naisäänien yhdistäminen puheääneksi ja huilu- ja pianomusiikin yhdistäminen musiikkinäytteeksi on tehty ottamalla normaali keskiarvo aiemmin laskeutuista harmonisista keskiarvoista, jolloin puhenäytteiden ja musiikkinäytteiden välinen painotus on yhtä suuri. Häiriöiden vaikuttavuuden simuloimiseen jälkikäteen ja laatukriteeristön luomiseen tehdyt kaavat on tehty kuvaajien pohjalta saatujen trendiviivojen laskukaavoista. Trendiviivat on toteutettu joko lineaarisella tai polynomisella laskukaavalla. Testihenkilöiden antamat arvosanat 11–12 on muutettu arvosanaksi 10 selkeämpien tuloksien takaamiseksi.

Erillistä vertailuryhmää ei tarvittu. Tutkimuksia voidaan tarvittaessa laajentaa myöhemmin laajemmalle käyttäjäryhmälle, kuten implantin saaneisiin henkilöihin, tai lisäämällä erilaisia ääninäytteitä. Saadut tulokset analysoitiin ilman henkilötaustan huomioon ottamista, jolla pyrittiin saamaan keskivertokuvaus käyttäjistä. Testeistä ei aiheutunut haittoja tai riskejä tutkittavalle.

## **6.8 Julkaisu**

Tutkimuksen tulokset julkaistaan tässä opinnäytetyössä, jota voidaan käyttää pohjana yrityksen julkaisuihin. Opinnäytetyötä voi käyttää pohjana myös tarkempia jatkotutkimuksia varten, kuten muilla käyttäjäryhmillä ja kielialueilla tehtäviä tutkimuksia varten. Tuloksien pohjalta koottu induktiosilmukan laatukriteeristö tulee Qlu Oy:n käyttöön. Tulokset ovat pääosin julkisia.

## 7 TULOKSET

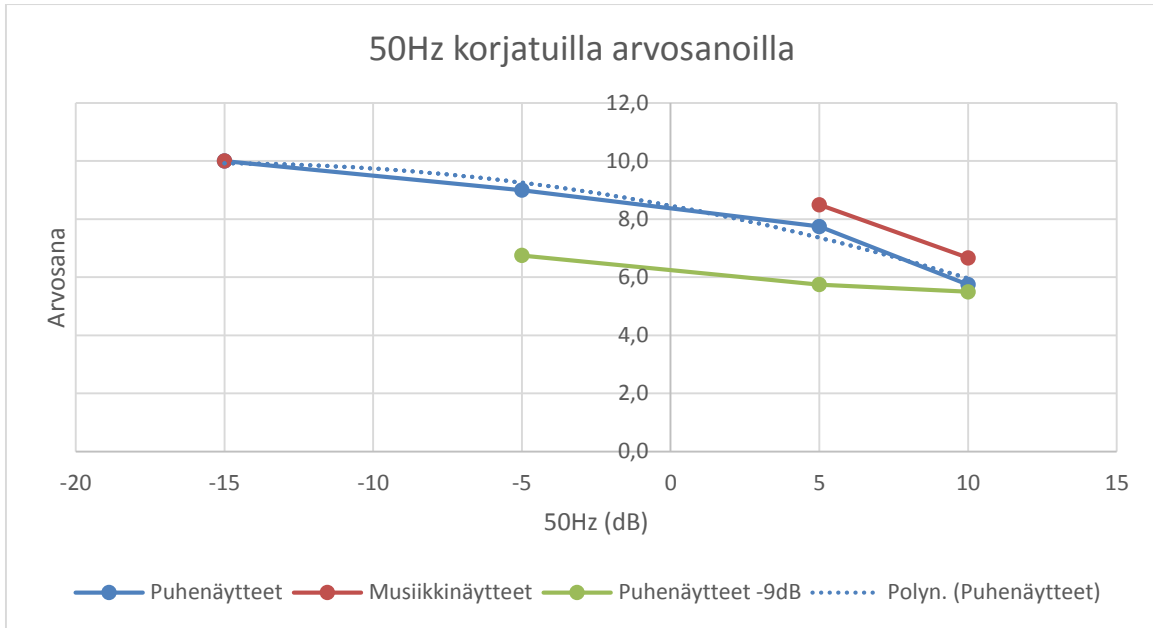
Tuloksien pohjalta tehtyjen yhteenvetojen aikaansaamiseksi on jouduttu tekemään kompromisseja, jotta tuloksista saataisiin yhtenäisempi ja siistimpi kokonaisuus. Yleisesti keskiarvon perusteella laadullisissa arvosanoissa ei huomattu lainkaan eroa alhaisemman ja standardinmukaisen lähetystehon välillä. Pelkällä vaimennuksella olevat näytteet saivat kuitenkin 0,8 pistettä heikomman arvostuksen alhaisemmalla vahvistuksella. 0,8 pistettä sopii kuitenkin virhemarginaaliin, joten varmoja päätelmiä ei voi tehdä. Arvosanoista 10–12 löytyy loppuosasta raporttia oma analyysi. Alaluvuissa on tarkemmin kuvattu tulokset eri häiriöiden vaikutuksista.

### 7.1 50 Hz:n verkkohäiriön vaikutus arvosanaan

Puhtaalla 50 Hz:n häiriön testaamisella tutkittiin häiriön voimakkuuden vaikutusta referenssinäytteen laatuun yhdistetyillä puhenäytteillä, musiikilla ja koko taajuusalueen (RMS) 9 dB:n vaimennuksella. Mies- ja naisnäytteitä ei kannattanut verrata keskenään pienen tulosjoukon takia. Käyttäjätestien yhteydessä tehtyjen kyselyiden ja tulosten analysoinnin perusteella 35 testihenkilöstä 13 havaitsi 50 Hz:n häiriön. Yksi testihenkilö jätettiin arvioinnista pois väärinymmärryksen takia. Jokaista 50 Hz:n näytettä arvio siis 2–4 testihenkilöä riippuen ryhmästä, joiden mukaan tulokset on tehty. Loput testihenkilöistä antoivat erinomaiset arvostukset kyseisille näytteille. Arvosanojen keskiarvo on laskettu normaalilla keskiarvolla.

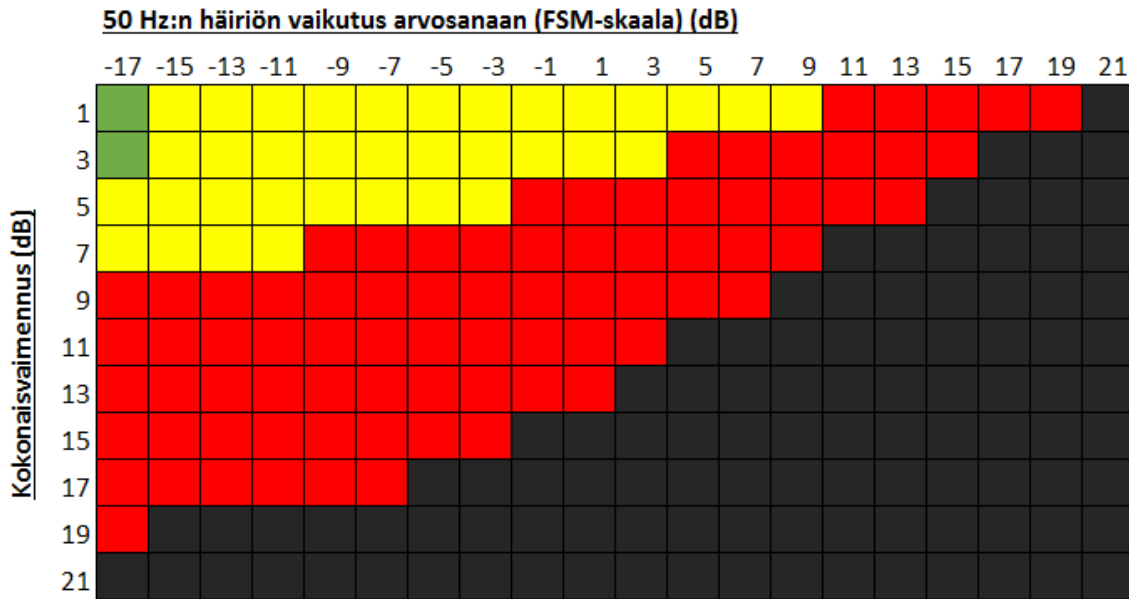
Kuvassa 28 on kuvattuna 50 Hz:n vaikutus arvosanaan. Punaisella on musiikkinäytteiden tulos, sinisellä puhenäytteiden ja vihreällä puhenäytteiden, joita oli myös vaimennettu 9 dB. Sinisellä katkoviivalla on trendiviiva, jonka kautta saatiin yhtälö 50 Hz:n vaikuttavuuden laskemiseen ohjelmallisesti. Trendiviiva on toteutettu polynomisesti, ja se kuvaa vaadittavalla tarkkuudella saatuja tuloksia. Y-akselilla on arvosana ja x-akselilla 50 Hz:n voimakkuus desibeleinä. Näytteissä olevan häiriön voimakkuus näkyy kuvissa palloina eli -5 dB:n, 5 dB:n ja 10 dB:n kohdissa. -15 dB:n voimakkuus on asetettu edustamaan häiriötöntä näytettä paremman kuvan aikaansaamiseksi. Tällä ei kuitenkaan ole merkittävää vaikutusta

saatuun laskukaavaan. Alustavien tulosten perusteella voisi sanoa 50 Hz:n häiriön laskevan yhdellä pisteellä arvosanaa 5 dB:n voimakkuuden kasvun välein. Huomioitavaa kuitenkin on, että käytännössä verkkohäiriö aiheuttaa myös 50 Hz:n kerrannaisia, jotka ovat häiritsevempiä, koska niitä kuulokojeet eivät osaa suodattaa pois, ja joissakin kojeissa vahvistus alkaa vasta 100 Hz:n yläpuolella.



*KUVA 28, 50 Hz:n vaikutus arvosanaan puhe- ja musiikkinäytteillä*

Kuvan 28 mukaan muodostettiin kuva 29, joka havainnollistaa paremmin 50 Hz:n ja kokonaisvaimennuksen (RMS) yhteisvaikutusta arvosanaan. Apuna käytettiin myös RMS-vaimennuksesta saatuja kuvia. Kuvassa näkyy vihreällä erinomainen äänenlaatu, keltaisella hyvä, punaisella heikko ja mustalla kelvoton. Kuvaa käytetään laatukriteeristössä, koska tämän tyyppisillä kuvilla voidaan helposti ja yksinkertaisesti näyttää yrityksen asiakkaille eri häiriöiden yhteisvaikutus laatuun.



KUVA 29, laatukriteeristössä käytettävä taulukko 50 Hz:n ja RMS-vaimennuksen vaikutuksesta arvosanaan

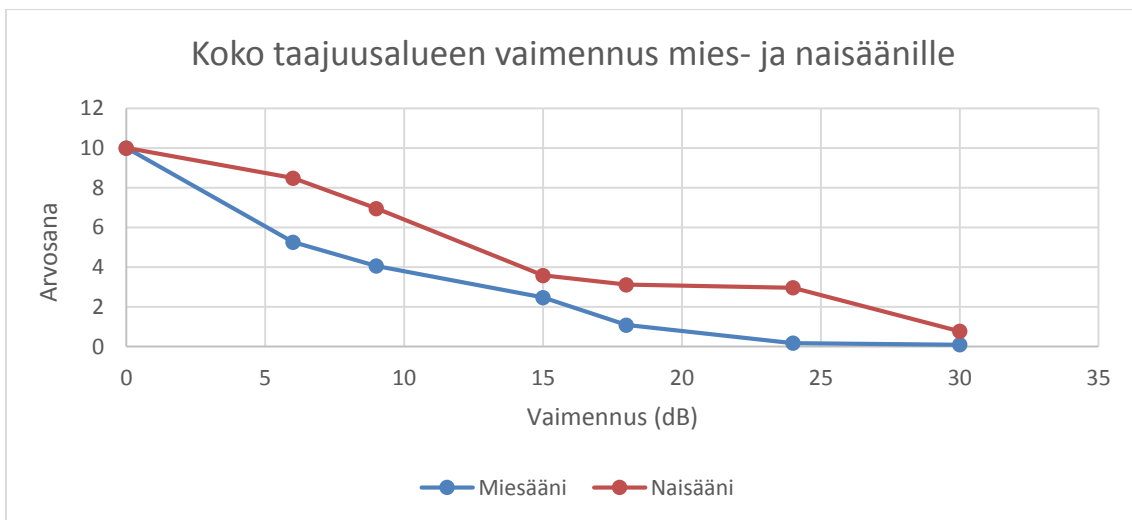
## 7.2 Koko taajuusalueen vaimentumisen vaikutus arvosanaan

Koko taajuusalueen vaimennus (RMS) tehtiin lineaarisesti koko taajuusalueelle kuudella eri vaimennuksella 6–30 dB:n välillä. Tulosten analysointiin pystyttiin käyttämään kaikkia 36 testihenkilöä kahta näytettä lukuun ottamatta, joissa yksi testihenkilö oli arvioinut väärin perustein. Tulosten keskiarvoistuksessa päädyttiin käyttämään harmonista keskiarvoa, koska se painotti halutulla tavalla matalampia arvosanoja.

Tuloksia analysoitiin vertailemalla mies- ja naisäänellä olevaa puhetta keskenään sekä puhenäytteitä musiikinäytteisiin. Kuvassa 30 on miespuhe sinisellä ja naispuhe punaisella, josta voi nähdä keskimäärin noin kahden pisteen paremman ar-



vosanan naisäänellä olevilla näytteillä. Tämä ero johtuu todennäköisesti noin yhden pisteen verran tutkimuspaikalla tapahtuneesta muutoksesta lähetystehossa, ja yhden pisteen muutos voi johtua naisäänen korkeammasta perustaajuudesta, joka lisää äänen selkeyttä matalilla äänenvoimakkuuksilla. Keskihajonta miesäänillä oli tässä vertailussa 1,4 ja naisäänillä 2,0. Voidaan kuitenkin alustavasti todeta naisäänen olevan selkeämpi ja säilyttävän laadukkuuden paremmin vaimempaan kuin miesääni.

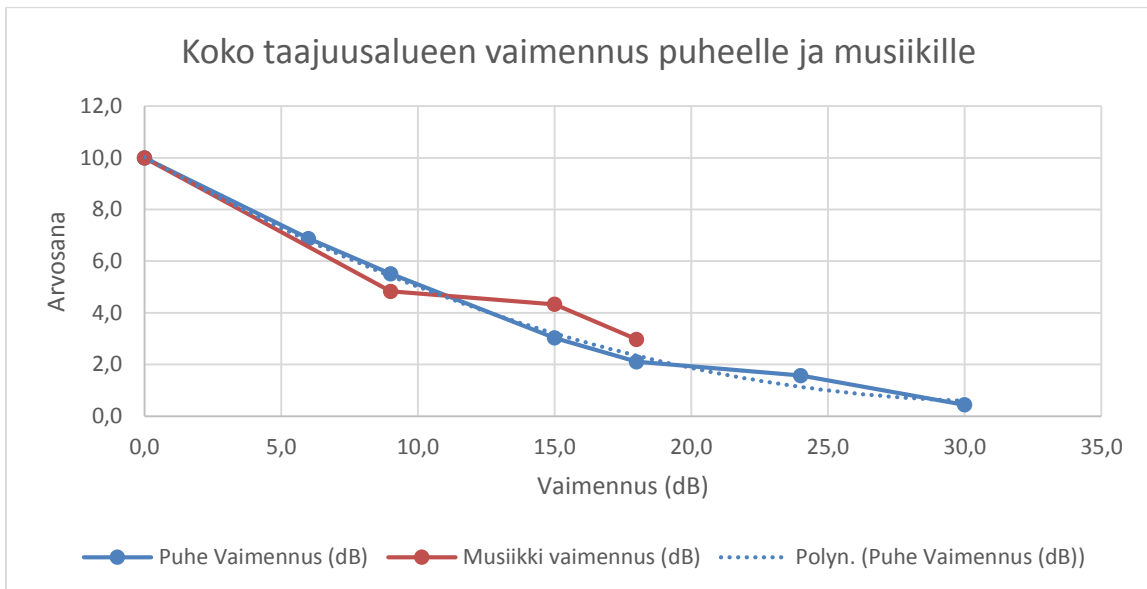


KUVA 30, koko taajuusalueen vaimennus nais- ja miesäänelle

Puheen ja musiikin välisessä vertailussa arvosanat laskettiin mies- ja naisnäytteiden keskiarvoista ottamalla keskiarvo ja samalla lailla tehtiin myös musiikinäytteiden välillä. Kuvassa 31 on punaisella merkitty musiikki- ja sinisellä puhenäytteiden tulokset. Sinisellä katkoviivalla on puhenäytteestä tehty trendiviiva polynomisella funktiolla, joka kuvaa hyvin kuvaajan muotoa. Trendiviiva ei koskaan saavuta täysin nollaa, mutta tämä ei haittaa, koska alle  $-25$  dB:n vaimennukset voi pyöristää nollaan.

Kuten kuvastakin huomaa, puheen vaimennuksen saamat arvosanat tippuivat johdonmukaisesti nollaan noin 30 dB:n kohdalla. Musiikin saamat arvosanat ovat lähes samansuuruisia puheen kanssa, mutta pieni ero  $-15$  –  $-18$  dB:n kohdalla voi tarkoittaa, että matalilla lähetystehoilla musiikista saa paremmin selvää kuin

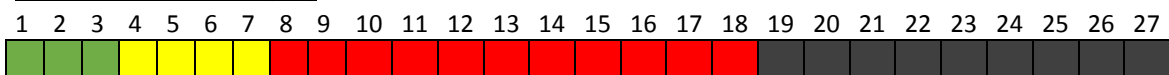
puheesta. Ero on kuitenkin niin pieni, ettei sitä tarvitse ottaa huomioon laatukriteeristöä tehdessä.



KUVA 31, kokonaisvaimennuksen vaikutus laatuun

Kokonaisvaimennuksen havainnollistava kuva 32 muodostettiin kuvasta 31. Värit toimivat samalla periaatteella kuin edellisessäkin laatukriteeristöön tehdyssä kuvassa. Kuva on tehty puhenäytteiden perusteella.

**Kokonaisvaimennus (dB)**

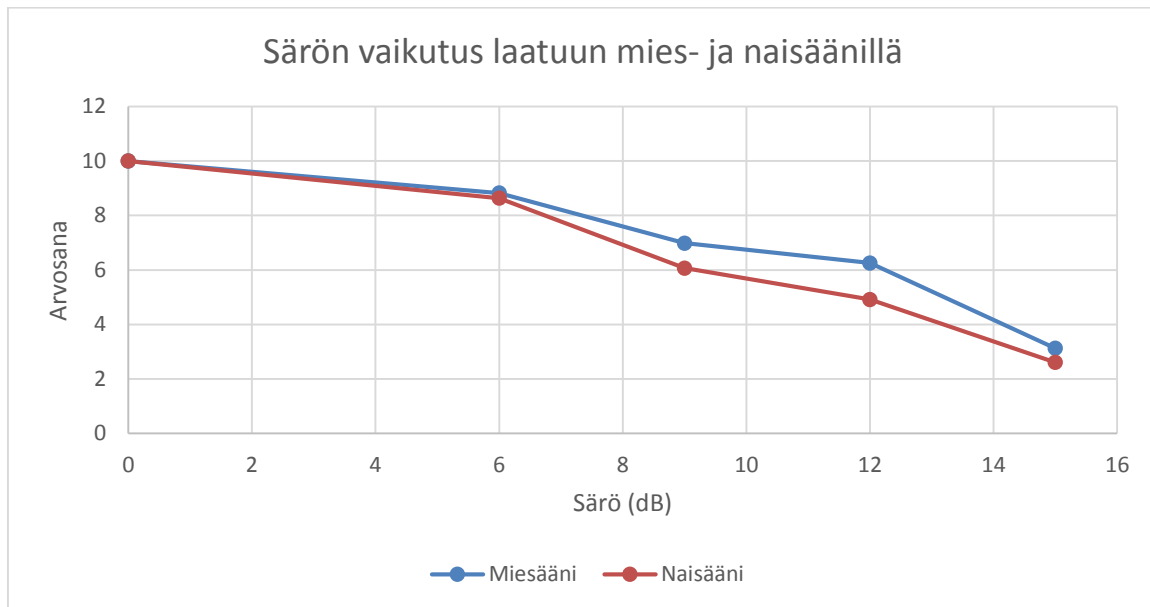


KUVA 32, laatukriteeristön taulukko vaimennuksen vaikutuksesta arvosanaan

**7.3 Särön vaikutus arvosanaan**

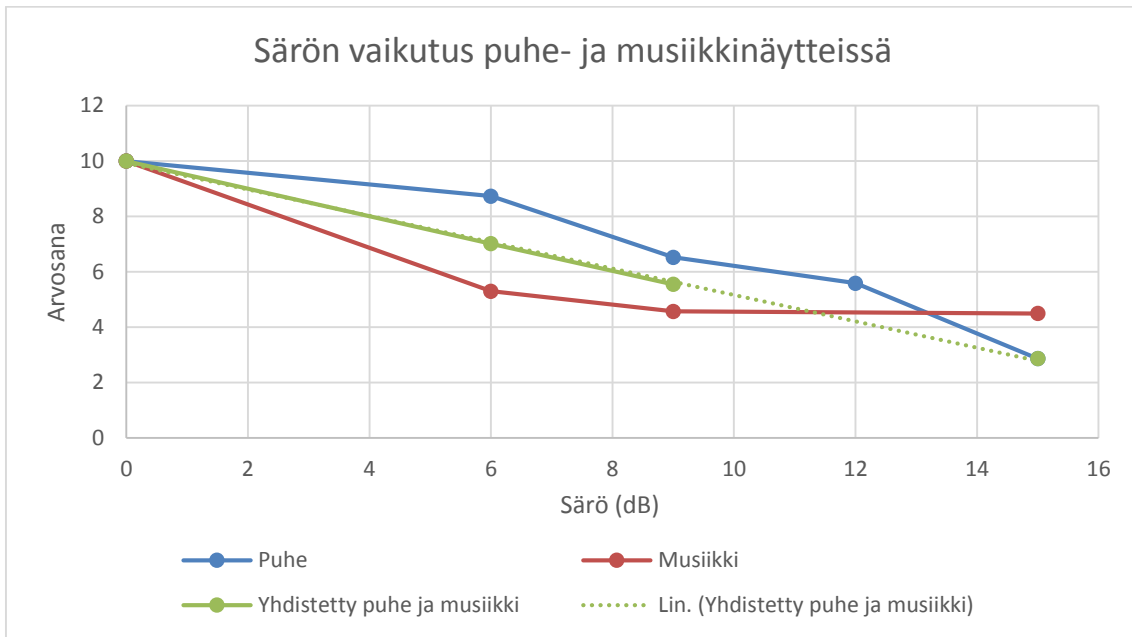
Särön vaikutukset puheeseen ja musiikkiin analysoitiin käyttämällä keskiarvoistukseen harmonista keskiarvoa. Keskihajonta oli miesnäytteillä 1,9 ja naisnäytteillä 1,7. Kuten kuvasta 33 näkee, molemmilla puheäänillä tulokset ovat hyvin johdonmukaiset ja samanlaiset. Kuvassa miesääni on sinisellä ja naisääni punaisella. Pieni ero miesäänien paremmuuteen voi selittyä osaksi matalammalla perustaajuudella, joka ei särähdä yhtä selvästi kuulian korvaan kuin korkeampi nais-

ääni. Osasyys voi olla myös naisäänten korkeampi äänenvoimakkuus useam-  
massa näytteessä, mikä johtui aiemmin selitetystä syystä. Korkeamman äänen-  
voimakkuuden takia säröt erottuvat hieman paremmin. Ero tuloksissa mahtuu  
myös virhemarginaaliin.



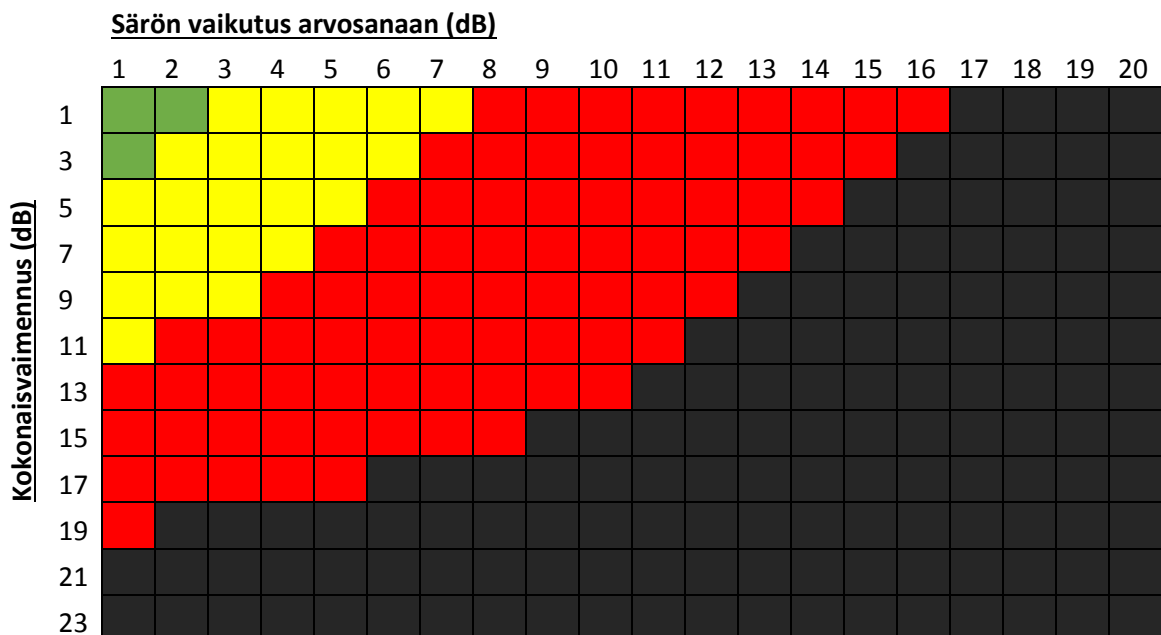
*KUVA 33, Särön vaikutus laatuun mies- ja naisäänellä*

Särön vaikutusta analysoitaessa (kuva 34) puhe- ja musiikinäytteiden välillä huomattiin särön vaikuttavan enemmän musiikinäytteiden laatuun, kun särön voimakkuus oli alle 15 dB. Ilmiön voi selittää särön huomaaminen herkemmin puhtaassa musiikissa, kuin puheäänessä. Laatuksiteeristöön päädyttiin ottamaan puhe- ja musiikinäytteiden keskiarvon mukaan tehty kaava, koska näytteiden välillä oli suuri ero ja keskiarvon kuvaaja (vihreä viiva) oli hyvin lineaarinen 9 dB:iin asti. Päätepisteenä 15 dB:n kohdalla päädyttiin käyttämään puheäänien arvosanaa, joka sopi hyvin lineaariselle suoralle ja samalla antoi kriittisemmän kuvan särön vaikutuksesta. Vihreällä katkoviivalla oleva trendiviiva päädyttiin tekemään lineaarisesti.

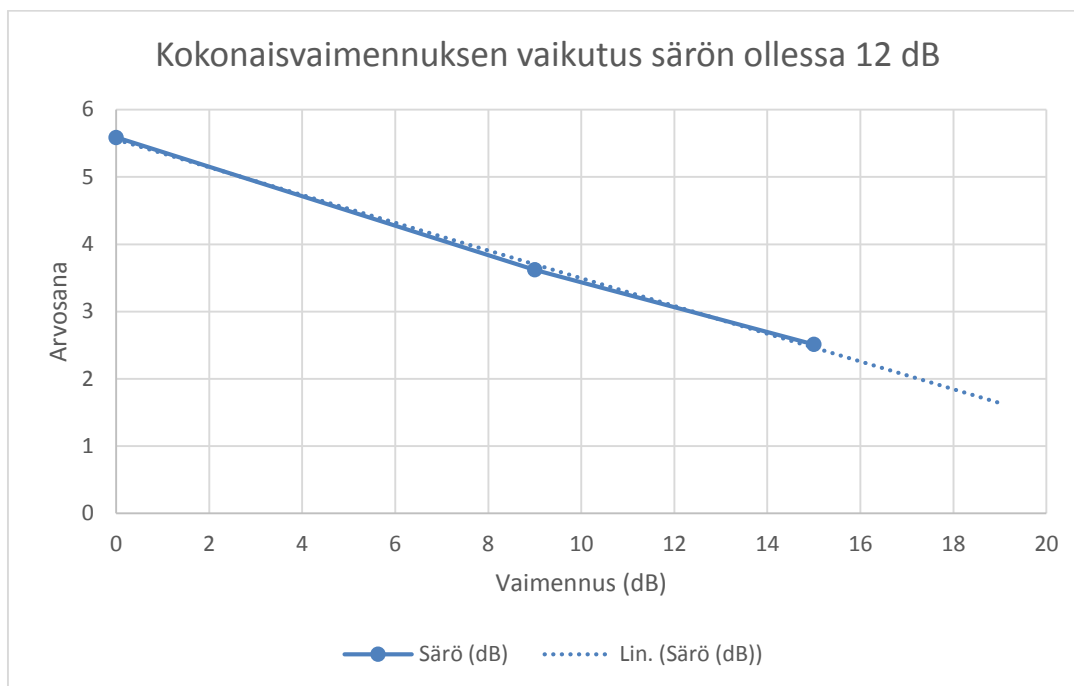


KUVA 34, Särön vaikutus laatuun

Laatukriteeristön kuva 35 särön ja RMS-vaimennuksen yhteisvaikutuksesta laatuun saatiin muodostettua käyttämällä kuvaa 34, kuvaa 31 RMS-vaimennuksesta sekä kuvaa 36, joka on tehty käyttämällä RMS-vaimennettuja näytteitä särön ollessa niissä 12 dB.



KUVA 35, laatukriteeristön taulukko särön ja RMS-vaimennuksen yhteisvaikutuksesta



KUVA 36, RMS-vaimennuksen vaikutus, kun särö on 12 dB

#### 7.4 Korkeiden taajuuksien korostuksen vaikutus arvosanaan

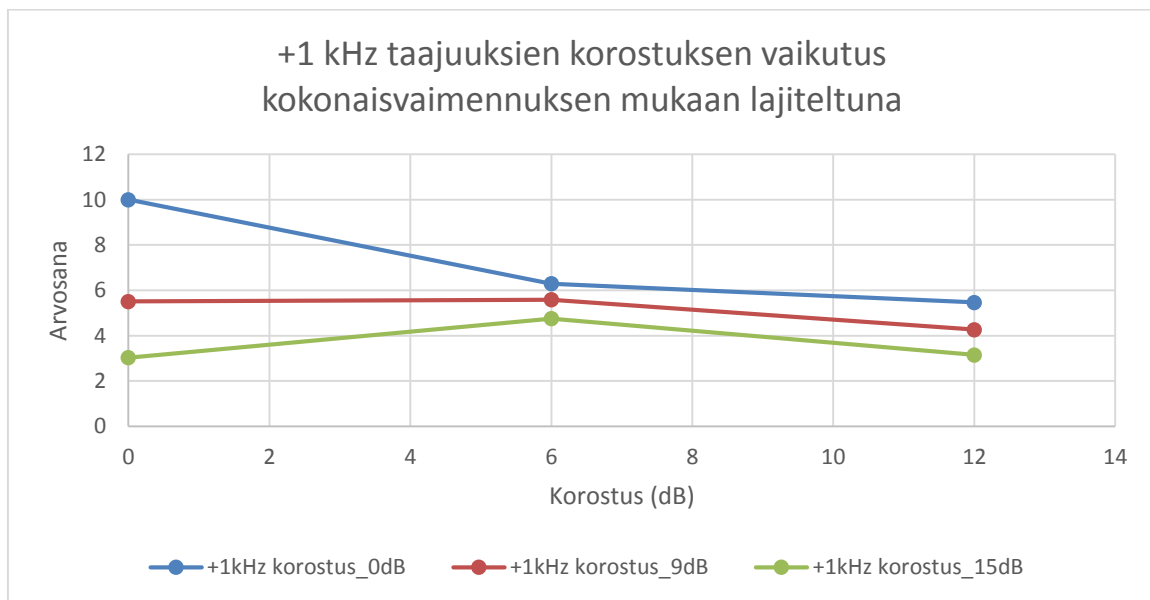
Korkeiden taajuuksien (+1 kHz) korostusten tuloksissa ei ollut merkittävää eroa mies- ja naisäänien välillä ja musiikista ei ollut tarvittavaa määrää kunnollisten vertailujen tekemiseksi. Mies- ja naisäänien keskihajonta oli molemmissa 2,1. Analysoinnissa keskityttiin vertailemaan näytteiden kokonaisvaimennuksen merkitystä ja suhdetta korkeiden taajuuksien korostukseen. Kuten kuvassa 37 on nähtävissä, korkeiden taajuuksien vaikutus arvosanaan riippuu kokonaisvaimennuksesta.

Mikäli kokonaisvaimennusta (sininen viiva) ei ole, +1 kHz:n taajuuksien korostus laskee arvosanan hyvä alarajalle jo 6 dB:n korostuksella. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että ääni muuttuu kuulijalle liian teräväksi. Korkeammalla korostuksella on vain lievä negatiivinen vaikutus arvosanaan.

Kokonaisvaimennuksen ollessa 9 dB (punainen viiva) alle 6 dB:n korkeiden äänien korostuksella ei ole vaikutusta arvosanaan. Yli 6 dB:n korostuksella on lievä negatiivinen vaikutusta arvosanaan. Kuvaajan muoto johtuu todennäköisesti

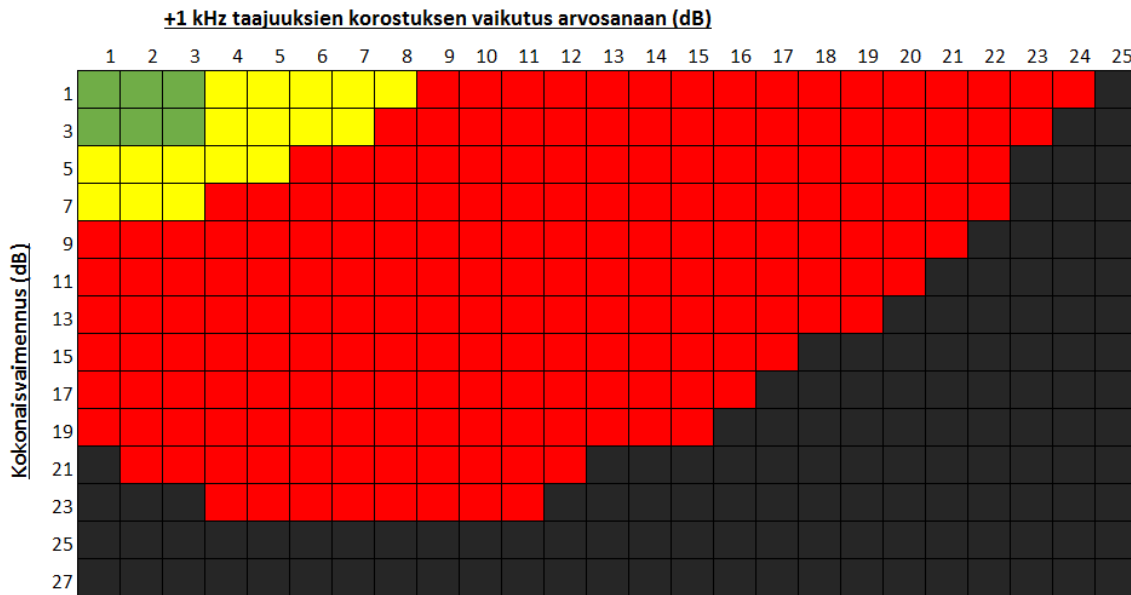
siitä, että äänen terävyys ei enää vaimeammalla kokonaisteholla kuulosta yhtä häiritsevältä kuin ilman kokonaisvaimennusta.

Kuten 15 dB:n RMS-vaimennuksella (vihreä viiva) voi huomata, +1 kHz:n taajuuksien korostuksen hyödyt tulevat esiin. Kuultavan äänen ollessa erittäin heikko on tärkeää puheen selkeys. Korostus lisää tiettyyn pisteeseen asti puheen selkeyttä, koska suurin osa puheen ymmärtämiseen tarvittavista taajuuksista on yli 1 kHz. Korostuksen ollessa 6 dB arvosana on 15 dB:n vaimennuksella parantunut kaksi pistettä. Korostuksen noustessa 12 dB:iin on arvosana kuitenkin laskenut takaisin alkuperäiseen kolmeen pisteeseen, jossa se oli ilman korostusta.



*KUVA 37, korkeiden taajuuksien korostuksen vaikutus arvosanaan puhenäytteillä*

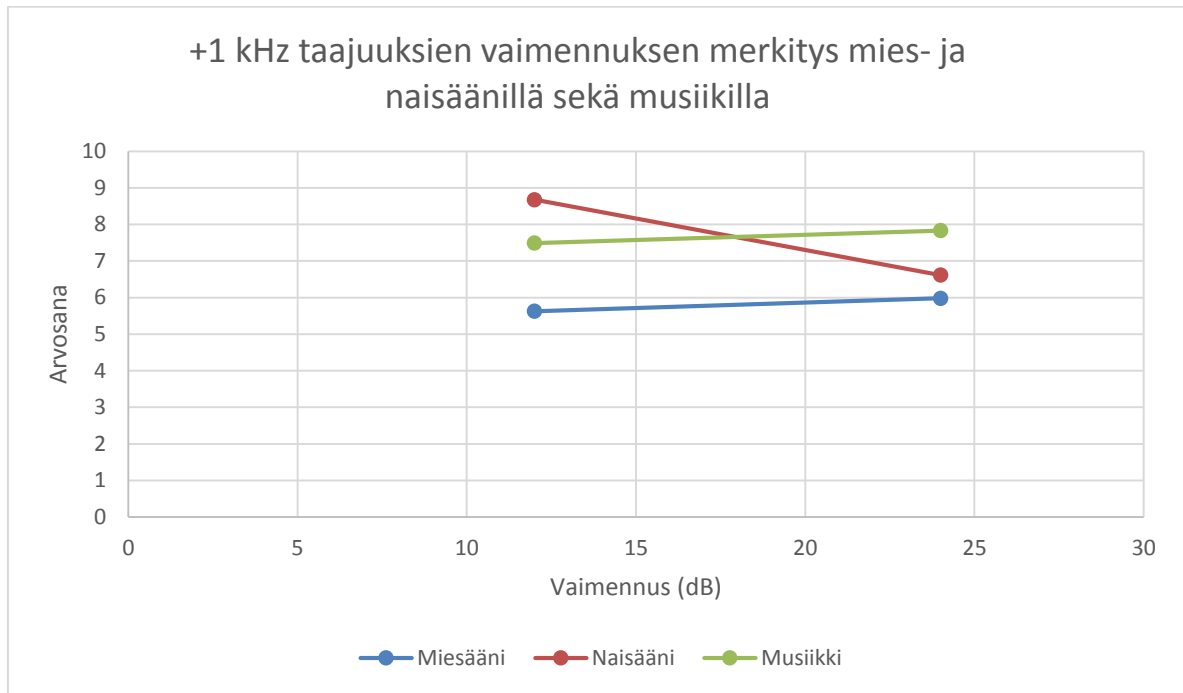
Laatukriteeristön kuvassa 38 korkeiden taajuuksien ja kokonaisvaimennuksen yhteisvaikutuksesta laatuun on koostettu käyttämällä kuvia 31 ja 37.



KUVA 38, laatukriteeristön taulukko korkeiden taajuuksien korostuksen ja RMS-vaimennuksen vaikutuksesta laatuun

### 7.5 Korkeiden taajuuksien vaimennuksen vaikutus arvosanaan

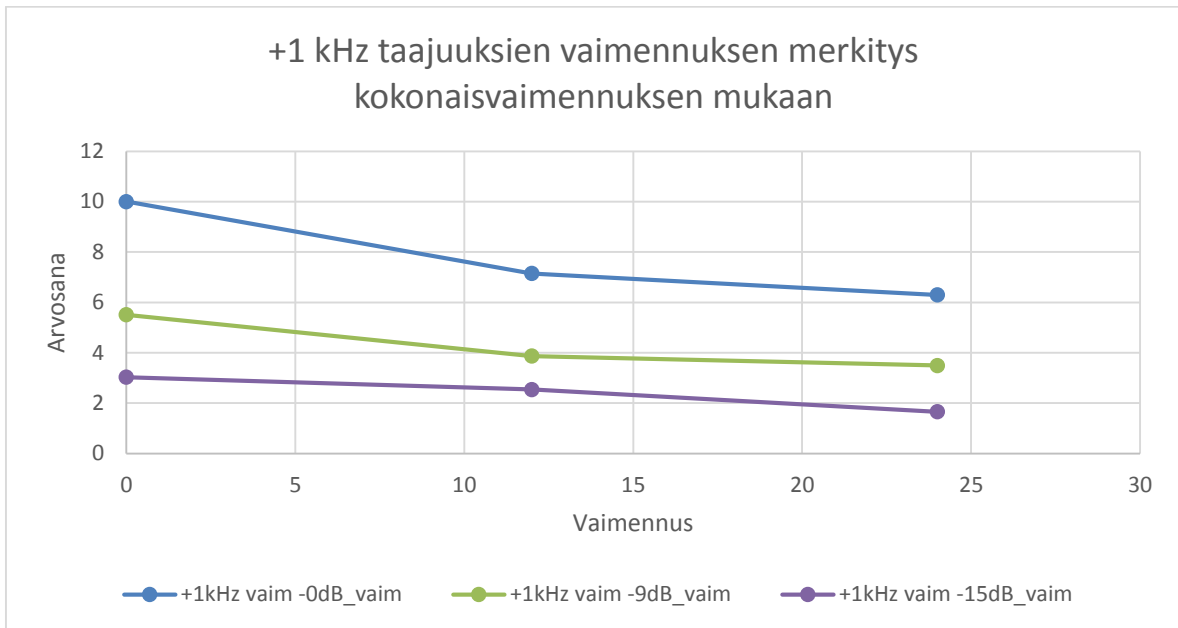
Korkeiden taajuuksien vaimennuksessa verrattiin aluksi mies- ja naispuhetta sekä musiikkia keskenään (kuva 39). Tämä johtui siitä, että miesäänen (sininen) ja musiikin (vihreä) korkeiden taajuuksien vaimentamisella oli samanlainen vaikutus laatuun. Korkeiden taajuuksien vaimentuminen jakoi myös testihenkilöiden mielipiteet, koska osa piti matalampitaajuisia ääntä miellyttävän pehmeänä ja osa taas ei pitänyt äänen väristä. Keskihajonta oli miesäänillä 1,9, naisäänillä 1,8 ja musiikilla 1,7. -12 dB:n ja -24 dB:n näytteet on testattu eri testiryhmillä, mikä voi selittää kuvaajien muodot näin pienillä testijoukolla. Näytteiden keskiarvoistukseen käytettiin harmonista keskiarvoistusta.



*KUVA 39, korkeiden taajuuksien vaimennus mies- ja naisäänellä sekä musiikilla*

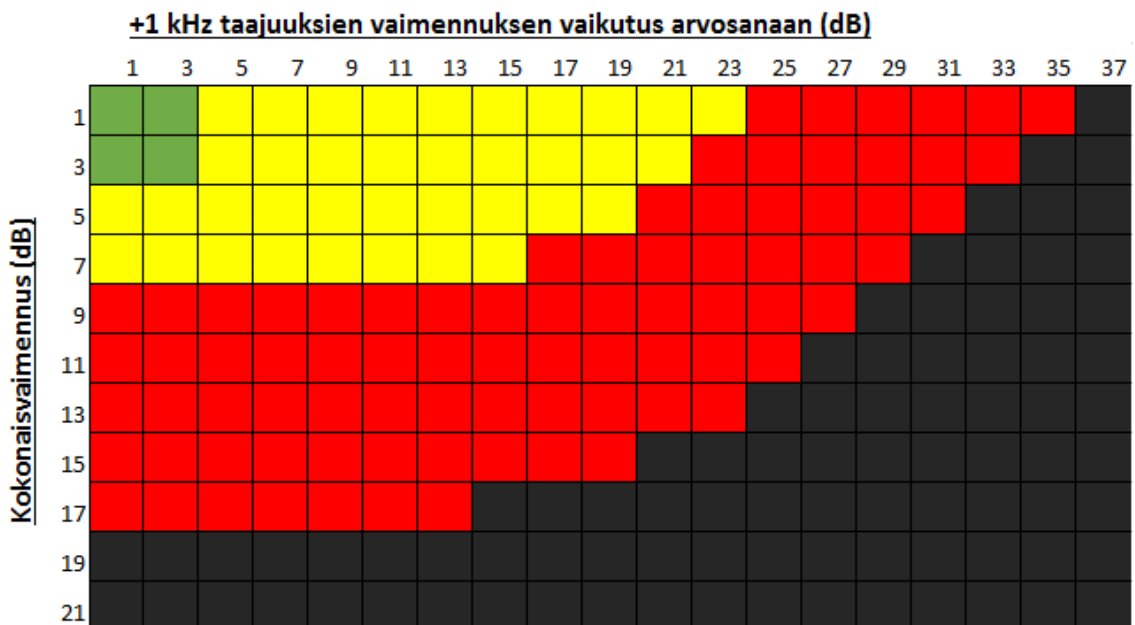
Mies- ja naisääninäytteiden yhdistäminen puheääneksi (kuva 40) antaa selkeämmän ja varmemman kuvan siitä, millä tavalla korkeiden taajuuksien vaimentuminen vaikuttaa todellisuudessa arvosanaan. Muutokset arvosanaan ovat varsin lineaariset ja johdonmukaiset eri tehollisarvoilla ja ylätaajuuksien vaimentumisilla. Ilman RMS-vaimennusta (sininen viiva) arvosanan lasku on hieman jyrkempää -12 dB:iin asti verraten tehollisarvollisesti vaimennettuihin (vihreä ja violetti viiva).





KUVA 40, korkeiden taajuuksien vaimennuksen vaikutus puhenäytteillä

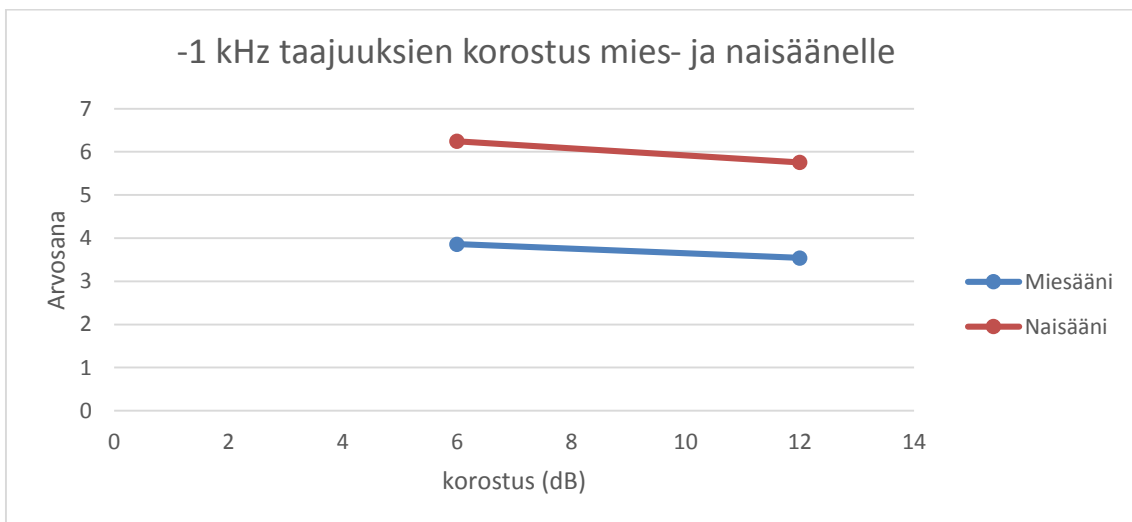
Laatukriteeristön kuvassa 41 on kuvattu korkeiden taajuuksien vaimentumista ja kokonaisvaimennuksen yhteisvaikutusta laatuun. Kuvan muodostamiseen on käytetty kuvia 31 ja 40.



KUVA 41, Laatukriteeristön taulukko korkeiden taajuuksien vaimentumisen ja RMS-vaimentumisen vaikutuksesta laatuun

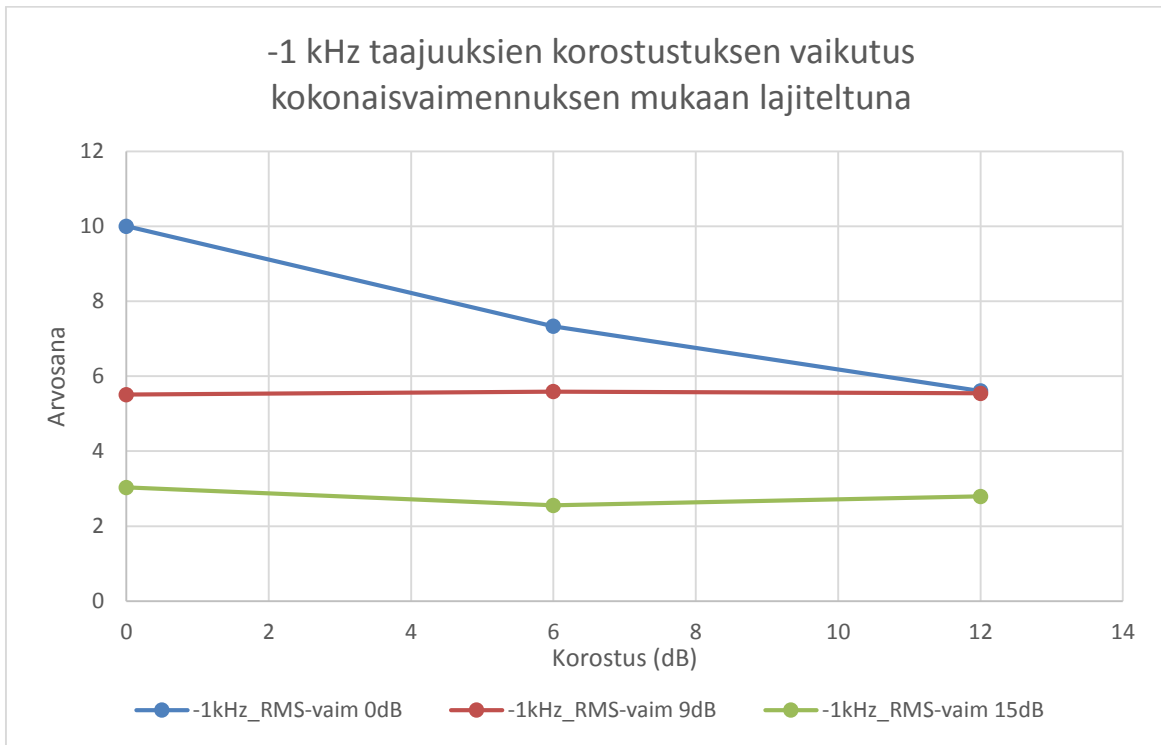
## 7.6 Matalien taajuuksien korostuksen vaikutus arvosanaan

Matalien taajuuksien (-1 kHz) korostuksen vaikutusta arvosanaan vertailtiin aluksi mies- ja naisäänen välillä. Kuten kuvasta 42 huomaa, korostuksesta riippumatta naisäänellä (punainen viiva) on keskimäärin 2 pistettä parempi arvosana kuin miesäänellä (sininen viiva). Huomioitavaa on kuitenkin, että viivat ovat täysin samansuuntaiset. Kuvan arvot on muodostettu keskiarvoistamalla RMS-vaimennetut ja vaimentumattomat näytteet keskenään, joten tuloksessa näkyy pelkistetty matalien taajuuksien korostuksen vaikutus arvosanaan. Naisäänellä keskihajonta oli keskimäärin 2,1 ja miesäänellä 2,4.



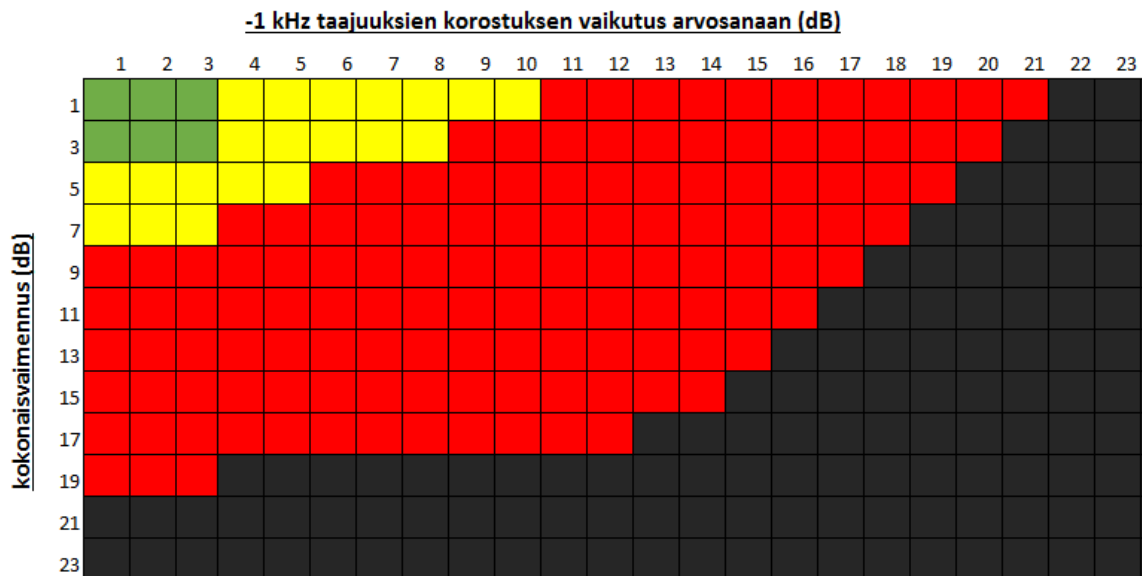
*Kuva 42, matalien taajuuksien korostuksen vaikutus arvosanaan mies- ja naisäänen välillä*

Kuvassa 43 on esitetty matalien taajuuksien korostuksen merkitys RMS-vaimennukseen. Kuvassa puhenäyte ilman kokonaisvaimennusta on sinisellä, 9 dB:n vaimennuksella punaisella ja 15 dB:n vaimennuksella vihreällä. Kuten kuvastakin huomaa, matalien taajuuksien korostuksella arvosanaan on merkitystä käytetyillä mittapisteillä vain ilman kokonaisvaimennusta tai kun kokonaisvaimennus on pieni.



KUVA 43, matalien taajuuksien korostuksen vaikutus arvosanaan puhenäytteillä

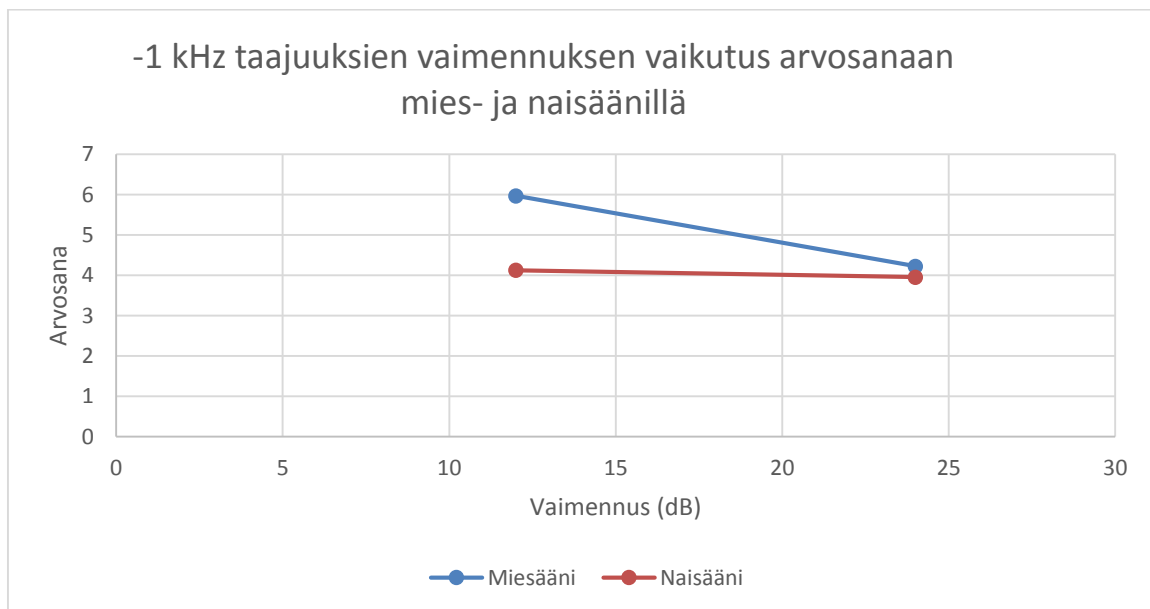
Laatukriteeristöön tarkoitettussa kuvassa 44 on matalien äänien korostuksen ja kokonaisvaimennuksen yhteisvaikutuksesta äänenlaatuun. Kuva on tehty kuvien 31 ja 43 perusteella.



Kuva 44, laatukriteeristön taulukko matalien taajuuksien korostuksen ja RMS-vaimennuksen yhteisvaikutus arvosanaan

## 7.7 Matalien taajuuksien vaimennuksen vaikutus arvosanaan

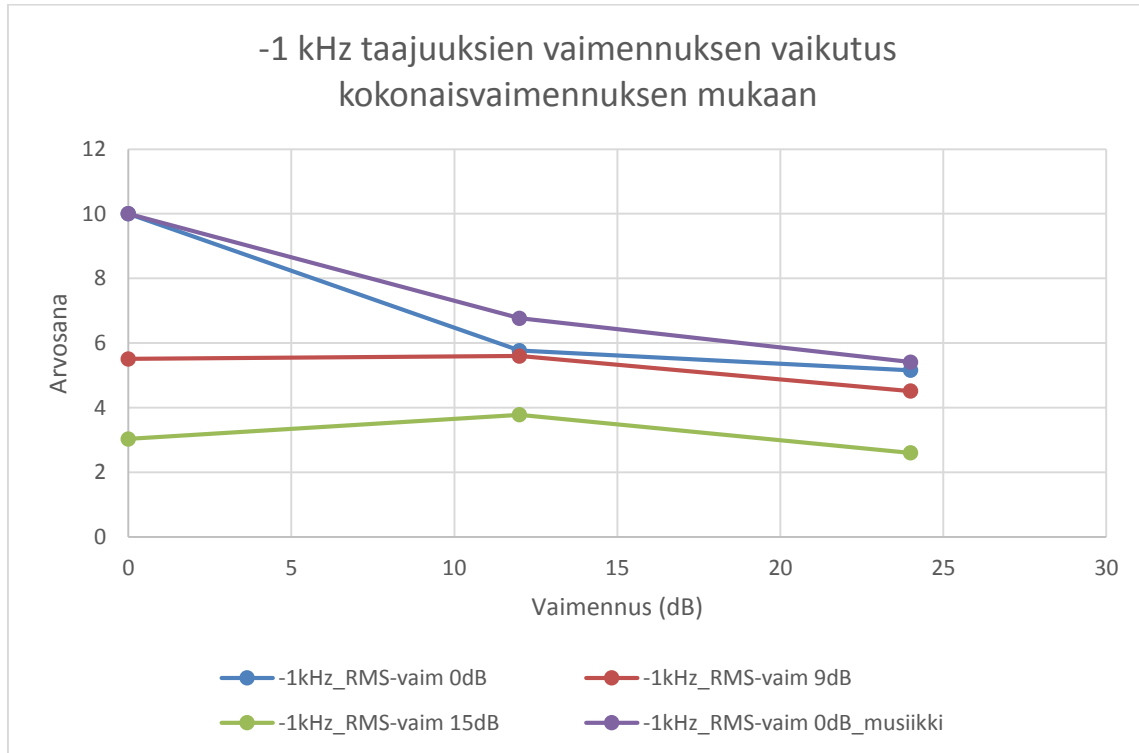
Matalien taajuuksien vaimentamisen vaikutuksia verrattiin aluksi mies- ja naisäänten välillä. Kuvassa 45 on pelkistetty ero mies- ja naisäänten välillä, se on tehty samalla periaatteella kuin korostusten kanssa edellisessä kappaleessa. Poikkeuksellisesti tässä vertailussa miesääni kuulosti matalien äänten vaimentamisen jälkeen paremmalta kuin naisääni. Miesäänellä arvosana kuitenkin laski lähes samalle tasolle kuin naisääni, kun alataajuuksia vaimennettiin 24 dB. Naisäänellä arvosana pysyi samassa vaimennuksen suuruudesta riippumatta. Naisäänellä keskihajonta oli keskimäärin 2,3 ja miesäänellä 2,1.



*KUVA 45, matalien taajuuksien vaimentamisen vaikutus mies- ja naisäänillä*

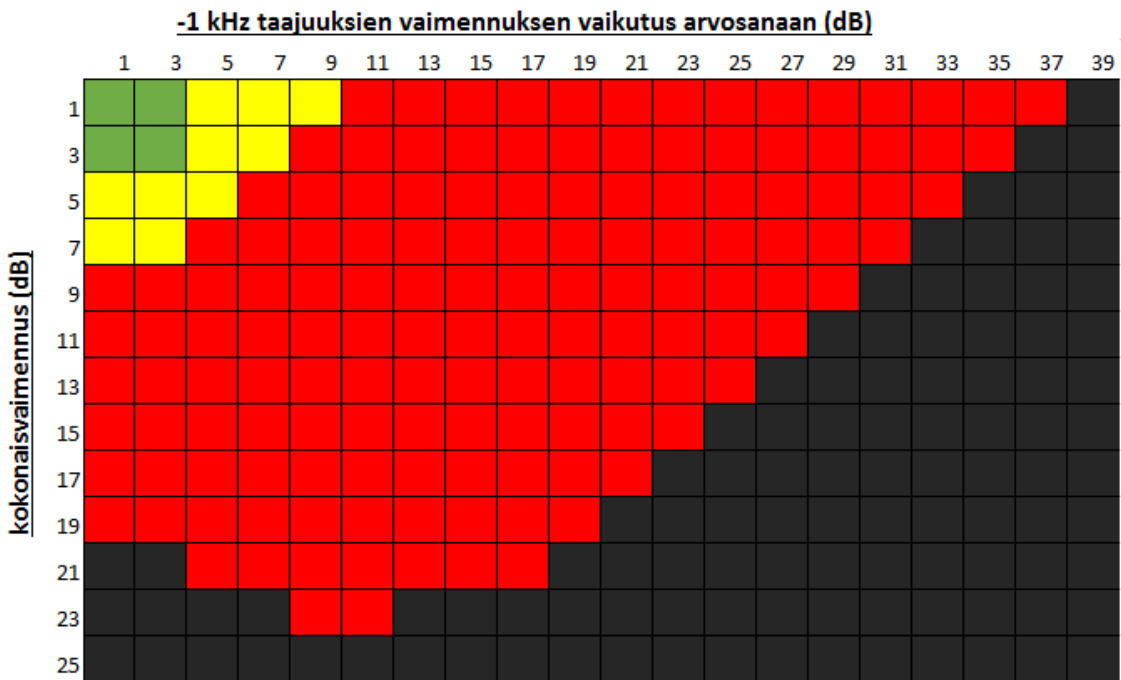
Matalien taajuuksien vaimentumisesta analysoitiin lopulta saman kaavan mukaisesti kuin korostuksiakin. Kuvassa 46 on esitetty alle 1 kHz:n taajuuksien vaimentamisen vaikutuksia arvosanaan jaoteltuna RMS-vaimennuksen mukaan. Kuvassa musiikinäyte ilman RMS-vaimennusta on violetilla viivalla, puhe ilman RMS-vaimennusta sinisellä, 9 dB:n RMS-vaimennuksella punaisella ja 15 dB:n RMS-vaimennuksella vihreällä. Kuten kuvastakin huomaa, suurin negatiivinen merkitys matalien taajuuksien vaimentumisella arvosanaan on silloin, kun näytteellä ei ole kokonaisvaimennusta. RMS-vaimennuksen ollessa 9 dB, alle 1 kHz:n vaimennuksella on merkitystä arvosanaan, kun vaimennus on yli 12 dB. RMS-

vaimennuksen ollessa 15 dB, alle 12 dB:n osavaimennuksella on näytettä parantava vaikutus, mutta tämän jälkeen laatu heikkenee. Musiikinäytteeseen alle 1 kHz:n vaimennuksella näyttäisi olevan hieman lievempi vaikutus kuin puheeseen. Musiikilla keskihajonta oli 2,3.



*KUVA 46, matalien taajuuksien vaimennuksen vaikutus arvosanaan puhenäytteillä*

Laatukriteeristöön tarvittava kuva 47 tehtiin kuvien 31 ja 46 puhenäytteiden pohjalta.



KUVA 47, laatukriteeristön taulukko matalien taajuuksien ja RMS-vaimennuksen yhteisvaikutus arvosanaan

## 7.8 Häiriöiden miellyttävyyssvertailun tulokset

Eri häiriötyyppien keskinäisissä paremmuusvertailuissa tulokset on yhdistetty mies-, nais- ja musiikinäytteisiin käyttäen normaalia keskiarvoa. Pääosin tulokset jakautuivat yksiselitteisesti, kun erot näytteiden välillä olivat suuret. Alla on listattu tärkeimmät huomiot:

- +1kHz-24dB-ääninäytettä pidettiin selvästi parempana kaikissa näyteryhmissä verrattuna 15 dB RMS-vaimennettuun.
- 9 dB:n säröllä ja 9 dB:n RMS-vaimennuksella olleiden näytteiden vertailussa musiikki- ja naisnäytteissä vaimennetut olivat selkeästi miellyttävämpiä, mutta miesäänellä säröytetty oli selkeästi miellyttävämpi.
- Mies- ja naisnäytteillä matalataajuiset näytteet olivat miellyttävämpiä kuin korkeataajuiset.

- 50 Hz:n häiriöllä olleet näytteet olivat kaikki selkeästi parempia kuin särötetyt näytteet.

## 7.9 Yli 10 pisteen arvosanat

10 pisteen arvosanoja ja sitä parempia tuli yllättävän paljon ja laaja-alaisesti kaiken tyyppisistä ääninäytteistä. Kaikkiaan 10–12 pisteen arvosanoja tuli 69:stä eri näytteestä, joista 37:ssä oli arvosana 11 tai 12. 50 Hz:n häiriöllä tuli odotetusti paljon erinomaisia arvosanoja, mutta yllättävää oli, että joukossa oli myös arvosanoja 11 ja 12. Tarkempaa selitystä testihenkilöt eivät antaneet arvosanoille 11–12, mutta yksi testihenkilö kuvasi +5 dB:n 50 Hz:n näytettä pyöreämmäksi.

+6 dB:n ja +9 dB:n särötetyt näytteet saivat myös arvosanan 10 usealta henkilöltä, mikä tarkoittaa, ettei tietyllä kuulovammalla särön vaikutusta huomaa yhtä selkeästi. Särötetyn taajuuden ylimääräiset taajuuskomponentit esiintyvät kaksinkertaisella taajuudella, minkä johdosta puheäänen särökomponentit sijaitsevat käytännössä kuultavien puhetaajuuksien yläpäässä. Toisin sanoen, jos kuulovamma vaimentaa voimakkaasti yli 2 kHz:n taajuuksia, särö ei haittaa yhtä voimakkaasti tai lainkaan.

Yli 1 kHz:n taajuuksien korostukset saivat vain yksittäisiä yli 10:n arvosanoja, kuten myös alle 1 kHz:n vaimennukset, jotka tekevät samalla tavalla näytteen perusäänestä korkeamman. Syyksi yli 10:n arvosanaan pidettiin äänen parempaa selkeyttä.

Äänen perustaajuutta madaltavat näytteet saivat merkittävästi enemmän arvosanoja 11 ja 12 kuin edellä mainitut. Testihenkilöistä yhteensä kymmenen antoi arvosanaksi yli 10 ja yleisin syy tälle oli pehmeämpi ja miellyttävämpi ääni.

Huomioitavaa on, että useat testihenkilöt kuitenkin kommentoivat testin aikana ylä- tai aläänien korostusnäytteiden yhteydessä tietyn näytteen olevan miellyttävämpi kuin referenssi. Henkilöt antoivat kuitenkin näytteille arvosanaksi 10, koska ne poikkesivat referenssinäytteistä. Jokainen taajuusalueita korostava näyte sai siis useita erinomaisia arvosanoja.

## 7.10 Vertailu käytössä olevaan luokitukseen

Verrattaessa uusia laatukriteeristön arvoja (taulukko 3) käytössä oleviin ohjeisiin (taulukko 4) on eroja paikoitellen huomattavissa. Vertailusta jätetään pois erinomaisen luokittelu, koska se määräytyy standardin mukaan. Tason arvot ovat pysyneet melko samanlaisina, joten suosittelen ainoana muutoksena laskemaan vaimennuksen vaatimusta heikon alarajasta 3 dB. Taajuusvasteen osalta hyvän rajoja ei tarvitse muuttaa ennen lisätutkimuksia, mutta heikon rajoja voi muuttaa 10 dB heikommaksi jokaisen raja-arvon kohdalla. Särön merkitys laadulle ei myöskään ole yhtä suuri heikossa äänenlaadussa kuin on luultu.

*Taulukko 3, uusi pelkistetty ohjeistus*

Uusi ohjeistus			
Arvosana	Taso	Taajuusvaste (-1 kHz)	Taajuusvaste (+1 kHz)
Erinomainen	±3 dB	±3 dB	±3 dB
Hyvä	±7 dB	> -9 dB ja < 10 dB	> -24 dB ja < 8 dB
Heikko	> -18dB ja < 16dB	> -35 dB ja < 21 dB	> -35 dB ja < 24 dB
Kelvoton	> -18 dB tai > 16 dB	< -35 dB tai > 21 dB	< -35 dB tai > 24 dB

*Taulukko 4, käytössä oleva laatukriteeristön ohjeistus (37)*

Käytössä oleva ohjeistus			
Arvosana	Taso	Taajuusvaste (-1 kHz)	Taajuusvaste (+1 kHz)
Erinomainen	±3	±3	±3
Hyvä	> -9 dB ja < 6dB	> -10.5dB ja < 5dB	> -10.5dB ja < 5dB
Heikko	> -15 dB ja < 6dB	> -18dB ja < 6dB	> -18dB ja < 6dB
Kelvoton	< -15 dB tai > 6 dB	< -18dB tai < 6dB	< -18dB tai < 6dB



## 8 POHDINTA

Opinnäytetyöllä pyrittiin selvittämään, miten yleisimmät häiriötyypit induktiosilmukassa vaikuttavat kuullunymmärtämiseen ja kuinka voimakkaina häiriöt voivat esiintyä, jotta puhe pysyy vielä ymmärrettävänä. Tavoitteena oli luoda yhtenäinen induktiosilmukan laatukriteeristö kuulokojeen tyypistä ja kuulovammasta riippumatta.

Tulokset olivat käyttäjien välillä paikoitellen ristiriitaisia, joten kompromisseja joutui tekemään tuloksia koostaessa. Tuloksista saatiin tehtyä jokaiselle häiriötyypille taulukot, joissa näkyy yhteisvaikutus laatuun kokonaisvaimennuksen kanssa. Saadut tulokset toimivat hyvänä pohjana lisätutkimuksille, joita tarvitaan tulosten varmistamiseksi.

Opinnäytetyö osoittautui haastavammaksi kuin aluksi uskoin. Työssä pohjimmallaan haasteena oli lopulta keksiä tieteellinen ja toimiva keino määrittää tarkat raja-arvot laatukriteeristön eri luokituksille. Ääninäytteitä tehtiin aluksi kymmeniä hieman erilaisella muokkausperiaatteella. Niitä olisi voinut käyttää yrityksen oman arvosteluperiaatteen mukaisesti. Kuitenkin yrityksen omalla arvostelutavalla ei olisi mielestäni voinut tehdä tarkkoja määritelmiä raja-arvoista, tai se olisi vaatinut huomattavasti enemmän näytteitä testattavaksi. Mielestäni tässä tutkimuksessa käytetty menetelmä, jossa pääpaino oli testihenkilöiden antamissa arvosanoissa, oli ainut keino määrittää tarkat rajat ja simuloida tuloksia jälkeinpäin tietokoneella.

Tätä opinnäytetyötä voidaan pitää hyvänä pohjana jatkotutkimuksille, joilla voidaan vielä varmistaa määritettyjen raja-arvojen paikkansapitävyys. Tutkimuksen tulokset olivat yleisesti ottaen odotetun kaltaiset, mutta tulosten analysointi osoittautui haastavaksi suurten vaihteluiden ja osittain ristiriitaisten arvostelujen takia. Testihenkilöiden vähäinen osallistujamäärä nosti myös virherajoja. Tulokset päädyttiin kuitenkin keskiarvoistamaan harmonisella keskiarvolla, jolla varmistuttiin laatukriteeristön sopivuudesta mahdollisimman laajalle käyttäjäjoukolle.

Testihenkilöiltä saadun palautteen perusteella testi oli sopivan pituinen, mielenkiintoinen ja hyvän opastuksen jälkeen helppokäyttöinen. Musiikkinäytteet olivat hyvä lisä puhenäytteiden välissä, mutta niitä tarvitsisi lisää, jotta niitä voitaisiin käyttää yhtä laajasti analysoinnissa kuin puhenäytteitä. Jazz-musiikkinäyte kuitenkin koettiin standardinmukaisella voimakkuudella useasti liian voimakkaaksi ja epämiellyttäväksi, mikä vaikeutti arvostelua testihenkilöiden mielestä. Huomioitavaa on myös, että kaikki kuulokojeen käyttäjät eivät pidä musiikista lainkaan ja kokevat sen epämiellyttävänä, joten olisi hyvä, jos testin voisi suorittaa ilman musiikkinäytteitä.

Testiohjelman viimeistä versiota ei saatu toimimaan tutkimuksessa käytetyllä tietokoneella, joten arvosanat 11 ja 12 piti kirjata erikseen paperille ja lisätä tuloksiin jälkikäteen. Jatkotutkimuksissa uusinta versiota käytettäessä tulosten analysoinnin kannalta pitäisi kuitenkin näkyä tulosraportissa arvosana 10 näiden kohdalla. Arvosanat 11 ja 12 voisivat näkyä erillisenä merkintänä, että näyte arvioitiin paremmaksi kuin referenssi. Uudempaan testiohjelmaan olisi hyvä suurentaa tekstejä ja varsinkin liukupalkkeja vähintään kaksinkertaiseksi. Liukupalkit olisi myös hyvä saada toimimaan suoraan näppäimistöllä, koska vanhemmat henkilöt eivät ole tottuneet käyttämään hiirtä ja tietyt sairaudet estävät myös käytön. Testiohjelma myös kaatui noin joka kolmannen testin aikana tuntemattomasta syystä, mikä esti näytteiden kuuntelemisen. Ohjelman pystyi kuitenkin rullaamaan loppuun asti, jolloin jo arvostellut näytteet tallentuivat raporttiin. Ohjelmassa voisi siis olla myös automaattinen välitallennus varmuuden vuoksi. Mikäli halutaan, että testistä olisi saatavissa lyhempi versio, olisi tämä syytä toteuttaa tekemällä alkuun valikko, mitä näytekategorioita käydään läpi. Tällä saadaan helpotettua ainakin analysointia ja saadaan kokonaisempi kuva, miten tietty henkilö arvioi tietyn häiriön. Liitteestä 5 löytyy lista, mitä ääninäytteitä voisi olla lisää jatkotutkimuksia varten. Tärkeämpää on kuitenkin saada nykyisille näytteille suurempi tulosjoukko.

Testissä käytetty tutkimushuone osoittautui riittävän hyväksi, koska siinä ei kuulunut testihenkilöille ylimääräisiä ääniä mikrofoniin eikä induktion kautta. Jatkotutkimukset olisi hyvä tehdä myös erittäin hiljaisessa huoneessa, koska suurella osalla kuulokojeiden käyttäjistä on MT-asento.

Tutkimuksen vahvuus oli siinä, että nyt yritys pystyy tuloksissa esitettyjen taulukoiden perusteella määrittelemään eri häiriöiden yhteisvaikutuksia laatuun. Analysoinnin yhteydessä koostettiin lisäksi lukuisia tässä työssä käyttämättömiä taulukoita ja kuvaajia, joita yritys pystyy hyödyntämään jatkossa. Pohdinnassa ei oteta kantaa 50 Hz:n häiriön rajojen muuttamiseen, koska tutkimuksessa ei testattu verkkohäiriön kerrannaisten vaikutusta laatuun. Vaikka opinnäytetyön tuloksissa on tyydytty esittämään vain taulukot induktiosilmukan häiriöiden vaikutuksesta laatuun, on yrityksellä tarvittavat tiedot ja osa kaavoista valmiina jatkokehitystä varten. Opinnäytetyötä voidaan siis pitää onnistuneena, sillä siitä saatiin uutta tietoa kriteeristön kehittämiseen ja häiriöiden vaikutuksista laatuun.

## LÄHDELUETTELO

1. Hietala, Juha – Lavikainen, Anniina 2010. Huonokuuloisena työelämässä - Työympäristön toimivuus ja yhdenvertainen osallistuminen. Kuuloliitto ry. Saatavissa: [http://www.kuuloliitto.fi/document.php?DOC\\_ID=292&SEC=7ced9a9ebc769d808b521ddc7787b492&SID=1](http://www.kuuloliitto.fi/document.php?DOC_ID=292&SEC=7ced9a9ebc769d808b521ddc7787b492&SID=1). Hakupäivä 3.9.2014.
2. Kähkönen, Kirsi 2011. Kuulovammaisten ihmisten kokemuksia teatteripalveluiden käyttäjinä. Kuuloliitto. Saatavissa: [http://www.kuulokynnys.fi/document.php?DOC\\_ID=656&SEC=381028c479e29c635230b5b66d0eebe8&SID=3](http://www.kuulokynnys.fi/document.php?DOC_ID=656&SEC=381028c479e29c635230b5b66d0eebe8&SID=3). Hakupäivä 3.9.2014.
3. Bäckman, Janne 2009. Huonokuuloisten induktiosilmukka: Mahdollisuus vai välttämätön paha? Plaani 2009 (pdf). Saatavissa: [http://www.induktiosilmukka.fi/userData/gn-resound-induktiosilmukka/pdf/danalink.fi\\_datafiles\\_userfiles\\_File\\_Lehtijutut\\_SilmukkajuttuPlaani-2\\_2009.pdf](http://www.induktiosilmukka.fi/userData/gn-resound-induktiosilmukka/pdf/danalink.fi_datafiles_userfiles_File_Lehtijutut_SilmukkajuttuPlaani-2_2009.pdf). Hakupäivä 3.9.2014.
4. Electroacoustics – Hearing aids –Part 4: Induction-loop systems for hearing aid purposes – System performance requirements. IEC 60118-4:2014-12. IEC. Saatavissa: [http://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:38:0:::FSP\\_LANG\\_ID,FSP\\_APEX\\_PAGE,FSP\\_ORG\\_ID,FSP\\_PROJECT:25,20,1301,IEC%2060118-4%20Ed.%203.0](http://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:38:0:::FSP_LANG_ID,FSP_APEX_PAGE,FSP_ORG_ID,FSP_PROJECT:25,20,1301,IEC%2060118-4%20Ed.%203.0). Hakupäivä 26.3.2015.
5. Kartoituspalvelut. Qlu Oy. Saatavissa: <http://www.qlu.fi/fi/palvelut/kartoituspalvelu>. Hakupäivä 5.12.2014.
6. Rautio, Tapio 2014. Audiojärjestelmän äänenlaadun automatisoitu kartoitus. Oulu: Oulun yliopisto, sähkötekniikan koulutusohjelma. Diplomityö.

7. Rasa, Jukka 2007. Esteetön kuunteluympäristö. Luentomateriaali, Esteettömyysseminaari. Kuulonhuoltoliitto ry. Saatavissa: [http://www.socom.fi/dokumentit/Vanhusty/taas/Esteettoemyysseminaari\\_Luentomateriaali\\_Jukka\\_Rasa.pdf](http://www.socom.fi/dokumentit/Vanhusty/taas/Esteettoemyysseminaari_Luentomateriaali_Jukka_Rasa.pdf). Hakupäivä 3.9.2014.
8. Ympäristöministeriön asetus esteettömästä rakennuksesta. 2004. Ympäristöministeriö. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/data/normit/28203-F1su2005.pdf>. Hakupäivä 3.9.2014.
9. Induktiosilmukka 2014. Kuuloliitto ry. Saatavissa: <http://www.kuuloliitto.fi/fin/kuulo/apuvalineet/induktiosilmukka/>. Hakupäivä 3.9.2014.
10. Rasa, Jukka 2012. Esteetön kuunteluympäristö. Kuuloliitto ry. Saatavissa: [http://www.kuulokynnys.fi/document.php?DOC\\_ID=625&SEC=be184d1a2c091a4fb7adc86443e01b8e&SID=3#esteetn\\_kuunteluymprist\\_esite.pdf](http://www.kuulokynnys.fi/document.php?DOC_ID=625&SEC=be184d1a2c091a4fb7adc86443e01b8e&SID=3#esteetn_kuunteluymprist_esite.pdf). Hakupäivä 3.9.2014.
11. Kronlund, Lars 2000. Tekninen kuulonhuolto. Teoksessa Kuulon ja kielen kuntoutus. Vuorovaikutuksesta kommunikointiin. Toim. Eila Lonka – Anna-Maija Korpijaakko-Huuhka. Helsinki: Helsingin yliopiston Tutkimus- ja koulutuskeskus Palmenia. S. 327–352.
12. Kronlund, Lars 1997. Kuulokojeiden perusteknologia. Teoksessa Tekninen Audiologia osa 1. Toim. Altti Salmivaara – Pekka Aarnio – Timo Lehtonen. Helsinki: Suomen Kuuloalan Tukkukauppiat ry. S. 21–36.
13. Korvantauskojeet. GN Resound 2015. Saatavissa: <http://www.gnresound.fi/tuotteet/kojetyypit-mallit/BTE-kojeet>. Hakupäivä 12.2.2015.
14. Käyttöohje BTE13 SP. Oticon Oy. Saatavissa: <http://www.oticon.fi/~asset/cache.ashx?id=5940&type=14&format=web>. Hakupäivä 12.2.2015.

15. Arlinger, Stig. International Standards in Audiology. International standards concerning hearing aids. Saatavissa: <http://www.isa-audiology.org/standards.asp>. Hakupäivä 12.2.2015.
16. Fachot, Morand 2013. Ensuring safer design for hearing aids. Saatavissa: [http://www.iec.ch/etech/2013/etech\\_0513/store-1.htm](http://www.iec.ch/etech/2013/etech_0513/store-1.htm). Hakupäivä 12.2.2015.
17. Lehtonen, Timo 2005. Mitä kuulokojeen datalehti kertoo ja miten sitä on tulkittava. Teoksessa Tekninen audiologia 2005. Toim. Martti Sorri – Timo Lehtonen. Helsinki: Suomen audiologian yhdistys ry. S. 13–20.
18. Compressors 101 Basics. 2008. Keskustelufoorumi. Saatavissa: <http://forums.dv247.com/tips-n-tricks-general-production/1207-compressor-101-a.html>. Hakupäivä 15.2.2015.
19. Kronlund, Lars 2005. Kuulokojeiden epälineaariset ja adaptiiviset toiminnot. Teoksessa Tekninen audiologia 2005. Toim. Martti Sorri – Timo Lehtonen. Helsinki: Suomen audiologian yhdistys ry. S. 2–5.
20. Kuulokojeiden tekniikka. Kuulohansa Oy. Saatavissa: <http://www.kuulohansa.fi/tekniikka.htm>. Hakupäivä 12.2.2015.
21. Kronlund, Lars 2013. Kuulokojeet: tarjolla oleva tekniikka ja ominaisuudet. Teoksessa Tekninen audiologia 2013. Toim. Johannes Hautamäki – Sari Mykkänen. Helsinki: Suomen audiologian yhdistys ry. S. 81–84.
22. Yksilöllisesti valmistetut korvakäytäväkojeet. Kuulohansa Oy. Käyttöohje. Saatavissa: [http://www.kuulohansa.fi/pdf/kayttoohjeet/ITE-kojeet\\_yleisohje.pdf](http://www.kuulohansa.fi/pdf/kayttoohjeet/ITE-kojeet_yleisohje.pdf). Hakupäivä 12.2.2015.
23. Kuulo. Korvan rakenne. BioMag Laboratory HUS Medical Imaging Center, Helsinki University Central Hospital. Saatavissa: <http://www.biomag.hus.fi/braincourse/L7.html>. Hakupäivä 21.11.2014.

24. Kuuleminen. 2009. Kuuloliitto ry. Saatavissa: <http://www.kuuloliitto.fi/fin/kuulo/kuuleminen>. Hakupäivä 21.11.2014.
25. Jero, Jussi – Aarnisalo, Antti 2011. Tulevaisuuden hoitokeinoja sisäkorvasairauksissa. Sisäkorvan nestetäyteiset tilat ja Cortin elin. Lääketieteellinen Aikakauskirja Duodecim vol. 127 nro 8. S. 848–853. Saatavissa: <http://www.terveysportti.fi/xmedia/duo/duo99478.pdf>. Hakupäivä 21.11.2014.
26. Määttä, Taisto. 2002. Puheen akustiset piirteet. Teoksessa Tekninen audiologia 2002. Toim. Martti Sorri – Timo Lehtonen. Helsinki: Suomen audiologian yhdistys ry. S. 17–35.
27. Kokkonen, Jukka. 2013. Audiogrammien tulkinta ja niiden luotettavuus. Teoksessa Tekninen audiologia 2013. Toim. Johannes Hautamäki – Sari Mykänen. Helsinki: Suomen audiologian yhdistys ry. S. 24–27.
28. Aulanko, Reijo – Lonka, Eila 2000. Kuulon ja kielen kuntoutus. Teoksessa Vuorovaikutuksesta kommunikointiin. Toim. Eila Lonka – Anna-Maija Korpijaakko-Huuhka. Helsinki: Helsingin yliopiston Tutkimus- ja koulutuskeskus Palmenia. S.44–50.
29. Sorri, Martti 2000. Kuulovikojen tyypit, etiologia ja esiintyvyys. Teoksessa Kuulon ja kielen kuntoutus. Vuorovaikutuksesta kommunikointiin. Toim. Eila Lonka – Anna-Maija Korpijaakko-Huuhka. Helsinki: Helsingin yliopiston Tutkimus- ja koulutuskeskus Palmenia. S.78–88.
30. Uimonen, S – Huttunen, K – Jounio-Ervasti, K – Sorri, M 1999. Do we know the real need for hearing rehabilitation at the population level? Hearing impairments in the 5- to 75-year-old cross-sectional Finnish population. British Journal of Audiology 33. S. 53–59.

31. Jauhiainen, Tapani 2000. Lasten kuulon tutkiminen. Teoksessa Kuulon ja kielen kuntoutus. Vuorovaikutuksesta kommunikointiin. Toim. Eila Lonka – Anna-Maija Korpijaakko-Huuhka. Helsinki: Helsingin yliopiston Tutkimus- ja koulutuskeskus Palmenia. S. 89–100.
32. Luostarinen, Leena. 2013. Äänesaudiometriatutkimuksen suorittaminen ja virhelähteet. Teoksessa Tekninen audiologia 2013. Toim. Johannes Hautamäki – Sari Mykkänen. Helsinki: Suomen audiologian yhdistys ry. S. 20–23.
33. Valtonen, Hannu. 2013. Yleiskatsaus: Diagnostiset menetelmät. Teoksessa Tekninen audiologia 2013. Toim. Johannes Hautamäki – Sari Mykkänen. Helsinki: Suomen audiologian yhdistys ry. S. 2–5.
34. Haho, Mikko – Nikula, Juha 2013. Induktiosilmukan Qlu-laatukriteeristön luominen. Toimintasuunnitelma/Luonnos. Qlu Oy.
35. Tietoja Audacitystä. Saatavissa: <http://audacity.sourceforge.net/about/>. Hakupäivä 16.3.2015.
36. Rautio, Tapio 2014. Testisysteemi. Vastaanottaja: Tommi Kähkönen. Sähköpostiviesti 5.11.2014.
37. Haho, Mikko – Nikula, Juha – Rautio, Tapio 2014. Qlu: mittaustulosten tulkintaohje 1v0. Ohje. Qlu Oy.



## TUTKIMUSTIEDOTE

Hyvä vastaanottaja.

Teitä pyydetään mukaan tutkimukseen, jossa tutkitaan miten yleisimmät häiriötyypit induktiosilmukassa vaikuttavat kuulonymmärtämiseen ja kuinka voimakkaina häiriöt voivat esiintyä puheen pysyessä vielä ymmärrettävänä. Olemme arvioineet, että soveltuisitte mukaan tutkimukseen, koska teillä on tutkimukseen soveltuvat kuulolaitteet ja tarvittava määrä kokemusta niiden käytöstä. Tämä tiedote kuvaa tutkimusta ja Teidän osuuttanne siinä. Tutkija soittaa Teille muutaman päivän kuluessa tiedotteen saatuanne ja pyytää suostumustanne tutkimukseen.

**Osallistumisen vapaaehtoisuus**

Osallistuminen tähän tutkimukseen on vapaaehtoista. Voitte kieltäytyä osallistumasta tutkimukseen tai keskeyttää osallistumisenne syytä ilmoittamatta milloin tahansa. Teidän ei tarvitse osallistua tähän tutkimukseen saadaksenne hoitoa.

Lukekaa rauhassa tämä tiedote. Jos Teillä on kysyttävää, voitte olla yhteydessä tutkimuksesta vastaavaan lääkäriin tai muuhun tutkimuksen henkilökuntaan.

**Tutkimuksen toteuttaja**

Tutkimuksesta vastaavana lääkärimä toimii kuulokeskuksen osastonylilääkäri Jaakko Laitakari ja vastaavana tutkijana Tommi Kähkönen, opiskelija. Toimeksiantajana on Qlu Oy. Tutkimus toteutetaan Oulun ammattikorkeakoulun opinnäytetyönä.

**Tutkimuksen tausta ja tarkoitus**

Esteettömällä kuunteluympäristöllä pyritään takaamaan yhdenvertaiset kuunteluolosuhteet kaikille, mutta julkisissa tiloissa se on todettu monilta osin puutteelliseksi. Esteettömän kuunteluympäristön tulee olla akustisesti toimiva ja sen tulee olla varustettuna kuuntelujärjestelmillä, kuten induktiosilmukalla. Induktiosilmukka on yleisin järjestelmä, jolla mikrofonia tai muusta äänilähteestä ääni saadaan siirrettyä suoraan kuulokojeeseen.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää, miten yleisimmät häiriötyypit induktiosilmukassa vaikuttavat kuulonymmärtämiseen ja kuinka voimakkaina häiriöt voivat esiintyä puheen pysyessä vielä ymmärrettävänä.

Lopputuloksena pyritään luomaan laatukriteeristö helpottamaan informaation saamista julkisissa paikoissa käytettävissä olevista kuuntelujärjestelmistä ja niiden laadusta. Tämän voi nähdä auttavan myös Teitä parempien palveluiden muodossa. Tutkimuksesta ei aiheudu Teille mitään haittoja.

Tutkimukseen valitaan noin 50 18–80 -vuotiasta kuulokeskuksesta kuulokojeen saanutta henkilöä. Testihenkilöillä tulee olla käytössä korvantauskoje ja toivottavaa on, että T-asetto on heille tuttu.

### **Tutkimusmenetelmät ja tutkimuksen toimenpiteet**

Tutkimukseen sisältyy 1 käynti OYS:n kuulokeskuksessa. Tutkimukseen osallistuminen kestää noin 30 – 45 minuuttia. Kuulokojeenne toiminta tarkastetaan, käymme läpi tutkimuksen tarkoituksen ja etenemisen, jonka jälkeen tehdään varsinainen kuuntelutesti. Testit suoritetaan äänieristetyssä huoneessa.

Testissä luodaan toisiaan vastaavia, eri tavalla vääristettyjä signaaleja, joita voi verrata pareittain keskenään. Kahdesta vaihtoehdosta Teitä pyydetään valitsemaan aina selkeämmän kokemuksen tuottava vaihtoehto sekä miellyttävämmän vaihtoehdon. Tutkimuksessa tehdyt häiriöt vastaavat yleisiä käytännön tilanteissa ilmeneviä häiriöitä ja ongelmatilanteita. Testissä edetään Teidän haluamaan tahtiin ja välissä voidaan pitää myös taukoja, mikäli niin haluatte.

### **Tietojen luottamuksellisuus ja tietosuoja**

Tutkimuksessa henkilöllisyytenne sekä muut tunnistettavat tiedot ovat ainoastaan tutkimuksen henkilökunnan tiedossa, ja he kaikki ovat salassapitovelvollisia. Kaikkia Teistä kerättäviä tietoja käsitellään siten, ettei yksittäisiä tietojanne pystytä tunnistamaan tutkimukseen liittyvistä tutkimustuloksista, selvityksistä tai julkaisuista.

Tutkimustuloksia käytetään opinnäytetyössä tutkimusmateriaalina. Tutkija säilyttää tutkimukseen liittyvää tietoja luottamuksellisesti niin kauan kunnes tutkimus on päättynyt. Tutkimuksesta syntyvä laatukriteeristö jää Qlu Oy:n käyttöön.

### **Tutkimuksen kustannukset ja taloudelliset selvitykset**

Tutkimukseen liittyvät toimenpiteet ovat Teille maksuttomia. Tutkimuskäynneistä aiheutuvia mahdollisia ansionmenetyksiä ja matkakustannuksia ei pystytä valitettavasti korvaamaan.

### **Lisätietoja**

Jos Teillä on kysyttävää tutkimuksesta, voitte olla yhteydessä vastaavaan tutkijaan Tommi Kähköseen.

### **Yhteystiedot**

Jaakko Laitakari

Tommi Kähkönen

Tutkimuksesta vastaava lääkäri

Tutkimuksesta vastaava henkilö

Erikoislääkäri

Opiskelija

PPSHP, kuulokeskus

Oulun ammattikorkeakoulu

## SUOSTUMUS KÄYTTÄJÄTUTKIMUKSEEN

Minua on pyydetty osallistumaan käyttäjätesteihin Qlu Oy:n teetättämään tutkimukseen induktiosilmukan laatukriteeristön kehittämiseksi.

Olen saanut, lukenut ja ymmärtänyt tutkimuksesta kertovan tiedotteen. Tiedotteesta olen saanut riittävän selvityksen tutkimuksesta ja sen yhteydessä suoritettavasta tietojen keräämisestä, käsittelystä ja luovuttamisesta. Tiedotteen sisältö on kerrottu minulle myös suullisesti ja olen saanut riittävän vastauksen kaikkiin tutkimusta koskeviin kysymyksiini. Tiedot antoi Tommi Kähkönen, \_\_\_/\_\_\_/ 2015. Minulla on ollut riittävästi aikaa harkita osallistumistani tutkimukseen.

Minulle kerrotaan, mistä minua koskevia tietoja hankitaan. Annan luvan itseäni koskevien, tutkimuksen kannalta tarpeellisten tietojen keräämiseen Qlu Oy:n tutkimusrekisteriin.

Kaikki minusta tutkimuksen aikana kerättävät tiedot käsitellään luottamuksellisina. Tutkimuksessa kerätyt tiedot koodataan siten, ettei henkilöllisyyden selvittäminen ole myöhemmin mahdollista ilman purkukoodia. Purkukoodi säilytetään suljettuna tutkijan tai Qlu Oy:n arkistossa.

Tässä tutkimuksessa kerättäviä tietoja voidaan käsitellä muualla kuin tiedot keränneen tutkijan tai Qlu Oy:n tiloissa ja laitteissa. Tällöin tiedot ovat koodatussa muodossaan. Annan luvan siirtää tiedot tutkimuksen suorittamista varten Euroopan unionin alueella tai sen ulkopuolisiin maihin. Tutkimuksessa kerätyt tiedot voidaan tarvittaessa luovuttaa myös toisen yrityksen alkuperäistä tarkoitusta vastaavaan käyttöön esimerkiksi tilanteissa, joissa kaikki tai osa tutkimuksen kehitystyöstä tehdään toisessa yrityksessä.

Tässä tutkimuksessa kerättävä tieto voi olla hyödyksi myös selvitettäessä tekniikan uutta käyttötarkoitusta, josta tämän suostumuksen antamisen hetkellä ei ole tietoa. Hyväksyn, että minusta kerättäviä tietoja voidaan viranomaisen luvalla käyttää tällaiseen tarkoitukseen.

Ymmärrän, että osallistumiseni tähän tutkimukseen on täysin vapaaehtoista. Minulla on oikeus milloin tahansa tutkimuksen aikana ja syytä ilmoittamatta keskeyttää tutkimukseen osallistuminen. Tutkimuksesta kieltäytyminen tai sen keskeyttäminen ei vaikuta jatkohoitoni. Olen tietoinen siitä, että minusta keskeyttämiseen mennessä kerättyjä tietoja käytetään osana tutkimusaineistoa

**Allekirjoituksellani vahvistan osallistumiseni tähän tutkimukseen ja suostun vapaaehtoisesti tutkimushenkilöksi.**

\_\_\_\_\_  
Allekirjoitus

\_\_\_\_\_  
Päiväys

\_\_\_\_\_  
Nimen selvennys

\_\_\_\_\_  
Syntymäaika

\_\_\_\_\_  
Osoite

**Suostumus vastaanotettu**

\_\_\_\_\_  
Tutkijan allekirjoitus

\_\_\_\_\_  
Päiväys

\_\_\_\_\_  
Nimen selvennys

**Alkuperäinen allekirjoitettu tutkimushenkilön suostumus sekä kopio tutkimushenkilötiedotteesta jäävät tutkijan arkistoon. Tutkimushenkilötiedote ja kopio allekirjoitetusta suostumuksesta annetaan tutkimushenkilölle.**

## INDUKTIOSILMUKAN KUUNTELUTESTIOHEET

**Parivertailu (kohdat 1–7):**

- Vertaillaan kahta, eritavalla muokattua ääninäytettä keskenään
- Näytteitä vertaillaan niiden miellyttävyyden mukaan, esimerkiksi:
  - Kummalla äänellä jaksaisit/haluaisit kuunnella pidempään teatterissa
  - Vähemmän ärsyttäviä piirteitä (häiriöitä, säröä, liian vaimea)
- Mielpide annetaan soittopainikkeiden alla olevalla liukusäätimellä
- Liukusäädin asetetaan oikeaan tai vasempaan reunaan, riippuen kumpi näytteistä on miellyttävämpi.
- Liukusäätimen voi asettaa nollakohtaan (sama), mikäli näytteiden välillä ole miellyttävyyseroa.
- Liukusäätimeen pitää koskea ennen kuin pääsee seuraavaan vertailuun
- 5 paria puhetta ja 2 paria musiikkia
- Näytteitä soitetaan painamalla kerran hiirellä
- Näytteitä voi kuunnella niin monta kertaa kuin haluaa ja toiston voi keskeyttää painamalla hiirellä samaa näytettä uudelleen tai vaihtaa toiseen näytteeseen painamalla kerran hiirellä toista näytettä

**Laatuvertailu (kohdat 8–34)**

- A-näytettä verrataan referenssi näytteeseen
- Referenssinäyte on alkuperäinen, standardin mukainen eli ”paras mahdollinen”
- Laatuun vaikuttaa puheen/ musiikin äänenvoimakkuus, häiriöiden voimakkuus ja häiritsevyys, puheen ymmärrettävyys
- Referenssinäyte on laadultaan arvosanan 10 arvoinen
- Arvosanat:
  - 9–10=erinomainen (ei ongelmia, puhdas ja selkeä ääni, yhtä hyvä kuin alkuperäinen)
  - 6–8=hyvä (saa hyvin selvää, kuitenkin olisi parantamisen varaa/pientä häikkää)
  - 3–5=heikko (Pitää keskittyä tarkkaan puheen ymmärtämiseen/epämiellyttävä)
  - 0–2=kelvoton (Vain muutamista sanoista saa selvää, erittäin häiritsevä, käyttökelvoton)
- Arvosanat annetaan näytteiden välissä olevalla liukusäätimellä
- Vertailunäytteelle voi antaa myös arvosanan 11 tai 12, mikäli se on selkeämpi ja kaikin puolin parempi kuin referenssinäyte.

## TESTIRAKENNE

<b>Testirakenne</b> <span style="color: blue;">Sinisellä olevat myös parivertailussa</span>	
<b>Ryhmä 1, Naisäänet</b>	
<b><u>Parivertailu</u></b>	
A: Naisääni_-5dB50Hz	B: Naisääni_6dBsärö
A: Naisääni_särö9dB	B: Naisääni_vaim9dB
A: Naisääni_+1kHz+12dB	B: Naisääni_+1kHz-12dB
A: Naisääni_10dB50Hz	B: Naisääni_12dBsärö
A: Naisääni_-1kHz+6dB	B: Naisääni_6dBvaim
A: musiikki_-1kHz-12dB	B: musiikki_+1kHz+12dB
A: musiikki_+1kHz-12dB	B: musiikki_-1kHz-24dB
<b><u>Laatutestissä</u></b>	
A: Naisääni_-5dB50Hz	
B: Naisääni_6dBsärö	
A: Naisääni_särö9dB	
B: Naisääni_vaim9dB	
A: Naisääni_+1kHz+12dB	
B: Naisääni_+1kHz-12dB	
A: Naisääni_10dB50Hz	
B: Naisääni_12dBsärö	
A: Naisääni_-1kHz+6dB	
B: Naisääni_6dBvaim	
A: musiikki_+1kHz+6dB	
B: musiikki_+1kHz+12dB	
A: musiikki_+1kHz-12dB	
B: musiikki_-1kHz-24dB	
Naisääni_+1kHz+6dB	
Naisääni_+1kHz+6dB_9dBvaim	
Naisääni_+1kHz-12dB_9dBvaim	
Naisääni_+1kHz+12dB_9dBvaim	
Naisääni_+1kHz+12dB_15dBvaim	
Naisääni_-1kHz+6dB_15dBvaim	
musiikki2_-1kHz-12dB	
musiikki2_+1kHz-12dB	
musiikki2_+1kHz+12dB	
musiikki2_-1kHz-24dB	
Naisääni_+1kHz-24dB_9dBvaim	
Naisääni_-1kHz+6dB_9dBvaim	
Naisääni_+1kHz+6dB_15dBvaim	
Naisääni_-1kHz+12dB_9dBvaim	
Naisääni_+1kHz-12dB_5dB50Hz_9dBvaim	
Naisääni_+1kHz-12dB_6dBsärö_9dBvaim	
Naisääni_vaim24dB	

<b>Ryhmä 2, Naisäänet</b>	
<b><u>Parivertailu</u></b>	
A: Naisääni_+1kHz-24dB	B: Naisääni_vaim15dB
A: Naisääni_vaim9dB_-5dB50Hz	B: Naisääni_5dB50Hz
A: Naisääni_+1kHz-12dB_15dBvaim	B: naisääni_särö15dB
A: Naisääni_-1kHz+12dB	B: Naisääni_-1kHz-12dB
A: Naisääni_+1kHz-12dB_5dB50Hz	B: Naisääni_+1kHz-12dB_6dBsärö
A: musiikki_+1kHz-24dB	B: musiikki_vaim15dB
A: musiikki_10dB50Hz	B: musiikki_särö_15dB
<b><u>Laatutestissä</u></b>	
A: Naisääni_+1kHz-24dB	
B: Naisääni_vaim15dB	
A: Naisääni_vaim9dB_-5dB50Hz	
B: Naisääni_5dB50Hz	
A: Naisääni_+1kHz-12dB_15dBvaim	
B: naisääni_särö15dB	
A: Naisääni_-1kHz+12dB	
B: Naisääni_-1kHz-12dB	
A: Naisääni_+1kHz-12dB_5dB50Hz	
B: Naisääni_+1kHz-12dB_6dBsärö	
A: musiikki_+1kHz-24dB	
B: musiikki_vaim15dB	
A: musiikki_10dB50Hz	
B: musiikki_särö_15dB	
Naisääni_-1kHz-12dB_15dBvaim	
Naisääni_-1kHz+12dB_15dBvaim	
Naisääni_-1kHz-12dB_9dBvaim	
Naisääni_-1kHz-24dB_9dBvaim	
Naisääni_12dBsärö_9dBvaim	
Naisääni_10dB50Hz_9dBvaim	
musiikki2_+1kHz-24dB	
musiikki2_10dB50Hz	
musiikki2_vaim15dB	
musiikki2_särö_15dB	
Naisääni_-1kHz-24dB	
Naisääni_5dB50Hz_vaim9dB	
Naisääni_vaim18dB	
Naisääni_+1kHz-24dB_15dBvaim	
Naisääni_-1kHz-24dB_15dBvaim	
Naisääni_12dBsärö_15dBvaim	
Naisääni_vaim30dB	



<b>Ryhmä 3, Miesäännet</b>	
<b><u>Parivertailu</u></b>	
A: Miesääni_-5dB50Hz	B: Miesääni_6dBsärö
A: Miesääni_särö9dB	B: Miesääni_vaim9dB
A: Miesääni_+1kHz+12dB	B: Miesääni_+1kHz-12dB
A: Miesääni_10dB50Hz	B: Miesääni_12dBsärö
A: Miesääni_-1kHz+6dB	B: Miesääni_6dBvaim
A: musiikki_särö_6dB	B: musiikki_-1kHz+6dB
A: musiikki_vaim9dB	B: musiikki_särö_9dB
<b><u>Laatutestissä</u></b>	
A: Miesääni_-5dB50Hz	
B: Miesääni_6dBsärö	
A: Miesääni_särö9dB	
B: Miesääni_vaim9dB	
A: Miesääni_+1kHz+12dB	
B: Miesääni_+1kHz-12dB	
A: Miesääni_10dB50Hz	
B: Miesääni_12dBsärö	
A: Miesääni_-1kHz+6dB	
B: Miesääni_6dBvaim	
A: musiikki_särö_6dB	
B: musiikki_-1kHz+6dB	
A: musiikki_vaim9dB	
B: musiikki_särö_9dB	
Miesääni_+1kHz+6dB	
Miesääni_+1kHz+6dB_9dBvaim	
Miesääni_+1kHz-12dB_9dBvaim	
Miesääni_+1kHz+12dB_9dBvaim	
Miesääni_+1kHz+12dB_15dBvaim	
Miesääni_-1kHz+6dB_15dBvaim	
musiikki2_särö_6dB	
musiikki2_-1kHz+6dB	
musiikki2_vaim9dB	
musiikki2_särö_9dB	
Miesääni_+1kHz-24dB_9dBvaim	
Miesääni_-1kHz+6dB_9dBvaim	
Miesääni_+1kHz+6dB_15dBvaim	
Miesääni_-1kHz+12dB_9dBvaim	
Miesääni_+1kHz-12dB_5dB50Hz_9dBvaim	
Miesääni_+1kHz-12dB_6dBsärö_9dBvaim	
Miesääni_vaim24dB	

<b>Ryhmä 4, Miesäännet</b>	
<b><u>Parivertailu</u></b>	
A: Miesääni_+1kHz-24dB	B: Miesääni_vaim15dB
A: Miesääni_vaim9dB_-5dB50Hz	B: Miesääni_5dB50Hz
A: Miesääni_+1kHz-12dB_15dBvaim	B: Miesääni_särö15dB
A: Miesääni_-1kHz+12dB	B: Miesääni_-1kHz-12dB
A: Miesääni_+1kHz-12dB_5dB50Hz	B: Miesääni_+1kHz-12dB_6dBsärö
A: musiikki_+1kHz-12dB_5dB50Hz	B: musiikki_+1kHz-12dB_6dBsärö
A: musiikki_5dB50Hz	B: musiikki_vaim18dB
<b><u>Laatutestissä</u></b>	
A: Miesääni_+1kHz-24dB	
B: Miesääni_vaim15dB	
A: Miesääni_vaim9dB_-5dB50Hz	
B: Miesääni_5dB50Hz	
A: Miesääni_+1kHz-12dB_15dBvaim	
B: Miesääni_särö15dB	
A: Miesääni_-1kHz+12dB	
B: Miesääni_-1kHz-12dB	
A: Miesääni_+1kHz-12dB_5dB50Hz	
B: Miesääni_+1kHz-12dB_6dBsärö	
A: musiikki_+1kHz-12dB_5dB50Hz	
B: musiikki_+1kHz-12dB_6dBsärö	
A: musiikki_5dB50Hz	
B: musiikki_vaim18dB	
Miesääni_-1kHz-12dB_15dBvaim	
Miesääni_-1kHz+12dB_15dBvaim	
Miesääni_-1kHz-12dB_9dBvaim	
Miesääni_-1kHz-24dB_9dBvaim	
Miesääni_12dBsärö_9dBvaim	
Miesääni_10dB50Hz_9dBvaim	
musiikki2_+1kHz-12dB_5dB50Hz	
musiikki2_+1kHz-12dB_6dBsärö	
musiikki2_5dB50Hz	
musiikki2_vaim18dB	
Miesääni_-1kHz-24dB	
Miesääni_5dB50Hz_vaim9dB	
Miesääni_vaim18dB	
Miesääni_+1kHz-24dB_15dBvaim	
Miesääni_-1kHz-24dB_15dBvaim	
Miesääni_12dBsärö_15dBvaim	
Miesääni_vaim30dB	

## UUDET ÄÄNINÄYTTEET

Uudet ääninäytteet pitäisi tehdä mies-, nais- ja musiikinäytteille sekä jokaiselle eri vaimennukselle. Lista on kuitenkin ehdotus jatkotutkimuksia varten ja tärkeämpää on saada nykyisille näytteille isompi tulosjoukko.

<b>Lista tarvittavista ääninäytteistä</b>			
<b>50 Hz+ kerrannaiset (dB)</b>	<b>Särö (dB)</b>	<b>± 1kHz korostus (dB)</b>	<b>±1 kHz vaimennus (dB)</b>
-20	18	9	-6
-10		15	-35
-5			
0			