

Tuomas Manninen

Kuulokojeiden korjaustoiminta

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Automaatiotekniikka
Insinöörityö
13.1.2012

Tekijä Otsikko	Tuomas Manninen Kuulokojeiden korjaustoiminta
Sivumäärä Aika	33 sivua + 8 liitettä 13.1.2012
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Kappaletavara-automaatio
Ohjaajat	Toimitusjohtaja Juha Hakala Lehtori Kai Virta
<p>Insinööriyön tarkoituksena on selvittää, mitä vaaditaan kuulokojeiden korjaustoiminnalta ja miten kuulokojeiden korjaustoimintaa, toimintatapoja ja menetelmiä voidaan parantaa. Työ tehdään Kuulotekniikka Hakala Oy:lle, joka toimii Siemens- merkkisten kuulolaitteiden virallisena maahantuojana Suomessa. Yrityksen toiminta kattaa maahantuonnin lisäksi kuulontutkimus- ja lääkäripalveluiden tuottamisen ja tarjoamisen.</p> <p>Työssä on tarkoitus luoda kuulolaitteiden korjausohjeistus, jolla voidaan nopeuttaa ja helpottaa vika-analyyysien tekoa ja nopeuttaa korjauksien läpimenoaikaa sekä luoda paremmat toimintamallit kuulolaitteiden korjaukseen.</p>	
Avainsanat	kuulokoje, korjaustoiminta

Author(s) Title	Tuomas Manninen Hearing aid reparation
Number of Pages Date	33 pages + 8 appendices 14 Jan 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automation Technology
Specialisation option	Manufacturing Automation
Instructors	Managing Director Juha Hakala Lecturer Kai Virta
<p>The purpose of this final project is to find out what is required for hearing aid repair operation, and how the hearing aid repair operations, practices and methods can be improved. Project was carried out for Kuulotekniikka Hakala, Ltd., which operates as Siemens official hearing aid importer in Finland. The company's activity covers import of hearing aids and inspection of hearing loss and medical service.</p> <p>The work is intended to establish guidelines for hearing aid repairs, which can accelerate and facilitate the fault analysis and speed up the turnaround time for repairs, as well operational model for hearing aid repairs.</p>	
Keywords	hearing aid, hearing aid repairs

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Kuulolaitteiden ominaisuudet	2
2.1	Kuulolaitteiden yleiset ominaisuudet	2
2.2	Kompressio	3
2.3	Kuulokojeen rakenne	7
2.4	Suuntamikrofonit	8
2.5	Induktiokelan käyttö kuulolaitteissa	9
2.6	Langaton yhteys kuulolaitteissa	10
2.7	Kuulolaitteiden ohjelmalliset ominaisuudet	11
3	Kuulolaitteiden mittaus	12
3.1	Vahvistuksen mittaus	13
3.2	Tulovahvistuksen kalibrointi	13
3.3	Vahvistuskalibraatio	14
3.4	Langattoman yhteyden testaus	14
3.5	Mikrofonien mittaus ja kalibrointi	15
3.6	Kuulolaitteen induktiokelan testaus	16
3.7	Kuulolaitteen tarkastus ja saattaminen mittauskuntoon	16
4	Työmenetelmät	17
4.1	Työympäristö	17
4.2	Työvälineet	17
4.3	Juotoslämpötilat ja oikeanlainen juotosjälki	18
4.4	Johdotus	19
4.5	Kuorikon valmistus ja korvakäytäväkojeiden mallit	21
4.6	Kuulolaitteen vianhaku	24
4.6.1	Kuuloke- ja mikrofoni- viat	25
4.6.2	Langattoman yhteyden viat	26
4.6.3	Vahvistinpiiriviat	26
4.6.4	Akustinen kierto	27
4.6.5	Yleisimmät viat kuulolaitteissa ja niiden syyt	28

5	Kuulolaitteiden korjaustoiminnan ongelmakohdat	29
6	Työn aikana tapahtunut kehitys	29
	Lähteet	30

Liitteet

Liite 1. Juotosvirheet 1

Liite 2. Juotosvirheet 2

Liite 3. Kuorikkomallit

Liite 3. Vianhaku 1

Liite 4. Vianhaku 2

Liite 5. Vianhaku 3

Liite 6. Vianhaku 4

Liite 7. Akustisen kierron syyt

Lyhenteet ja käsitteet

BTE	<i>Behind the ear.</i> Korvantauskoje.
ITE	<i>In the ear.</i> Korvakäytäväkoje.
MPO	<i>Maximum power output.</i> Antotasonrajoitin.
Kompressio	Epälineaarinen äänenvahvistus.
AGC-O	<i>Automatic gain control.</i> Kompressio menetelmä, jolla rajoitetaan lähtösignaalia.
AGC-I	<i>Automatic gain control.</i> Kompressio menetelmä, jolla rajoitetaan tulosignaalia.
SPL	<i>Sound pressure level.</i> Äänenpainetaso.
SCAL	<i>Self Calibration of multi-microphone system.</i> Mikrofonien tasapainotuslaite.
ESD	<i>Electrostatic discharge.</i> Staattinen sähkövarauksen purkautumisilmiö

1 Johdanto

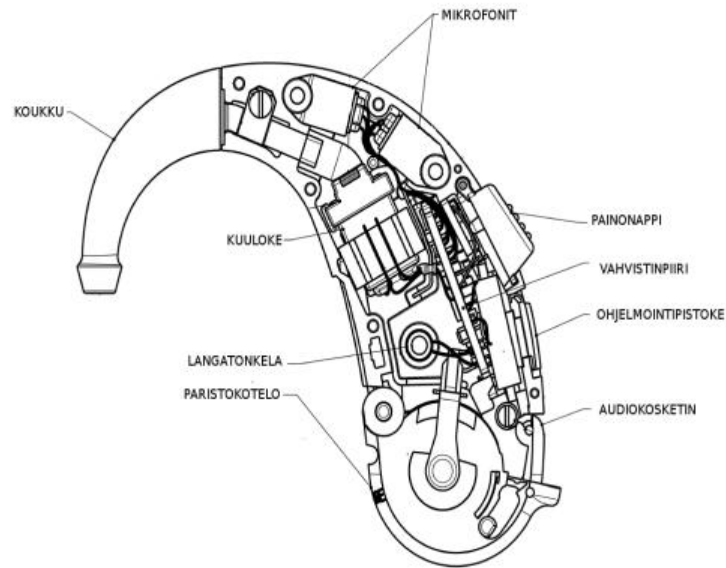
Työssä tutustutaan kuulokojeiden ominaisuuksiin ja korjaustoimintaan. Työllä pyritään vaikuttamaan kuulokojeiden korjaustoiminnan parantamiseen ja kuulokojeiden vianhaun nopeuttamiseen. Samalla huomioidaan kuulolaitteiden ominaisuuksia ja työympäristöä. Tällä pyritään luomaan edellytykset kuulolaitteiden korjaustoiminnalle.

2 Kuulolaitteiden ominaisuudet

2.1 Kuulolaitteiden yleiset ominaisuudet

Kuulolaitteen tarkoituksena on parantaa huonokuuloisen ihmisen puheenymmärtämistä ja muiden ympäristön äänien kuulemistä. Kuulolaitteen käyttäjä joutuu usein vaikeisiin kuuntelutilanteisiin, joissa kuulemistä voidaan yrittää parantaa kuulolaitteen eri ominaisuuksien avulla. Suurimmassa osassa nykyaikaisista kuulolaitteista on joitain seuraavista ominaisuuksista: suuntamikrofonit, induktiokela ja langaton yhteys. Lisäksi kuulolaitteissa on erilaisia puheentunnistus-, melunrajoitus-, akustisen kierroneston ja oppivuusominaisuuksia, jotka tehdään ohjelmallisesti kuulokojeessa.

Nykyään kuulolaitteen digitaalinen kehitys on huimaa eri ohjelmallisten ominaisuuksien osalta. Tämä on mahdollistanut kuulolaitteiden liittämisen matkapuhelimiin ja muihin audiolähteisiin langattomasti. Lisäksi laitteet ovat pienentyneet vuosien varrella, tarjoten näin pienemmässä kojeessa suuremman kojeen ominaisuudet. Tämä vaikuttaa myös korjaustoimintaan huomattavasti, sillä pienemmät laitteet ovat suljetumpia, jolloin nopea vianmääritys nousee entistä suurempaan rooliin.



Kuva 1. Korvantauskojeen halkileikkaus ja komponenttien sijoittelu kuulokojeessa.
[Muokattu lähteestä 18]

2.2 Kompressio

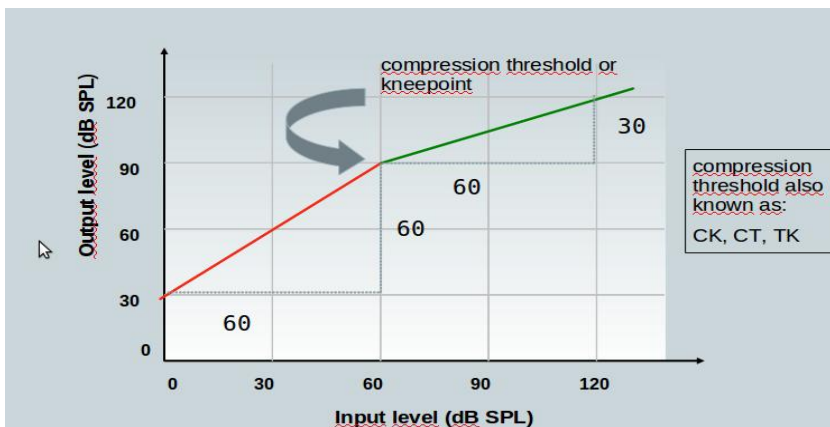
Kuulokojeen yksi tärkeimpiä säädettävyysominaisuuksia on äänen kompressio. Kompressiolla pyritään vaikuttamaan kuulolaitteen vahvistukseen. Vahvistuksella tarkoitetaan lähtö- ja tulosignaalin erotusta. Linearisessa vahvistuksessa kuulolaitteen vahvistus on aina sama riippumatta tulosignaalin voimakkuudesta. Epälinearisessa vahvistuksessa vahvistusta säädetään tuloäänien tason mukaan.

Kompressiossa vahvistukselle annetaan kulmakerroin tuloäänien ja vahvistettavan äänen mukaan. Koville äänille annetaan pienempi kulmakerroin, ettei vahvistuksen taso nousisi liian suureksi. Kovien äänien pienemmällä vahvistuksella saadaan kuulolaitteesta enemmän kokonaisvahvistusta antotasoa rajoittamatta hiljaisten äänien voimakkaammalla vahvistuksella verrattaessa lineaariseen vahvistukseen. Tätä kutsutaan joskus laajaksi dynaamisen alueen vahvistukseksi. [1]



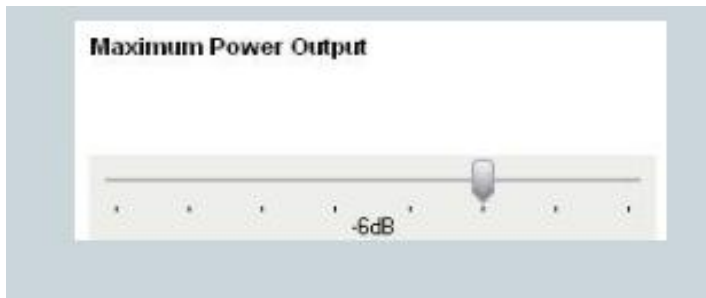
Kuva 2. Kompression määritelmä [1]

Vahvistuksessa kutsutaan kompressiokynnykseksi pistettä, jossa määritellään hiljaisen ja voimakkaan äänen rajapinta.



Kuva 3. Kompressiokynnys [1]

Kompressiota voidaan käyttää myös rajoittamaan kuulolaitteen maksimiantotaso leikkaamalla vahvistettavaa signaalia. Signaalin leikkaaminen poistaa osan tulosignaalista mikä heikentää äänenlaatua. Jotta voidaan vaikuttaa äänen pysymiseen mukavuusrajojen sisäpuolella, joudutaan voimakkaita ääniä kompressoimaan runsaasti esimerkiksi MPO- kytkimen avulla. Äänenpaineen noustessa korkeaksi MPO- kytkin laukeaa ja vaihmentaa kovia ääniä. Tätä kutsutaan yleensä AGC-O (Automatic Gain Control – Output)-kompressioksi. [1]



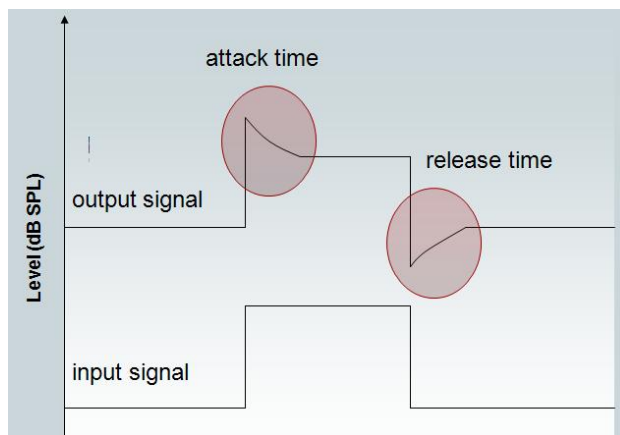
Kuva 4. MPO-kytkin [1]

Kompressiossa voidaan myös käyttää AGC-I:tä , jolla vaikutetaan tulosiinaaliin. AGC-I:n käyttö on paljon monipuolisempaa verrattuna AGC-O:hon. Kompressiota käytettäessä on myös hyvä huomioida kompression vaikutusaika. Kompression vaikutusajassa seurataan tulosiinaalin reagoimisaikoja, joilla saadaan erilaisia haluttuja vaikutuksia muodostettua kuulolaitteen vahvistukseen.

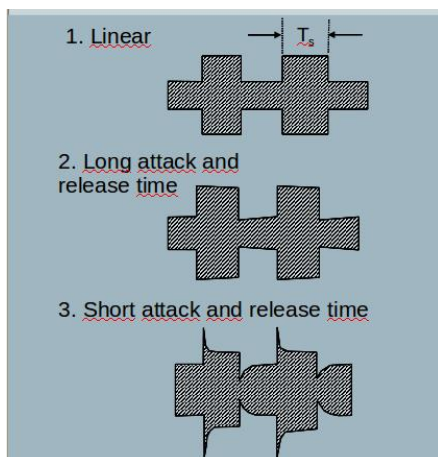
Siemensin kuulokojeissa käytetään kahta kompressiomallia, joita kutsutaan tavu- ja kaksoiskompressioksi. Tavukompression attack- ja release-ajat ovat suhteellisen lyhyitä tehden näin puheesta pehmeämmän ja vokaaleista miellyttävän kuuloiset. Kaksoiskompressiossa käytetään sekä nopeaa että hidasta reagoimisaikaa. Hidas reagoimisaika vaikuttaa keskusteluun, jos toinen puhuu pidempiä aikoja ja toimii automaattisena äänenvoimakkuuden säätimenä. [1]



Kuva 5. Kaksois- ja tavukompressiot, niiden kompressiotasot ja kompressiokyynykset [1]



Kuva 6. Attack- ja Release- aikojen määrittely[1]

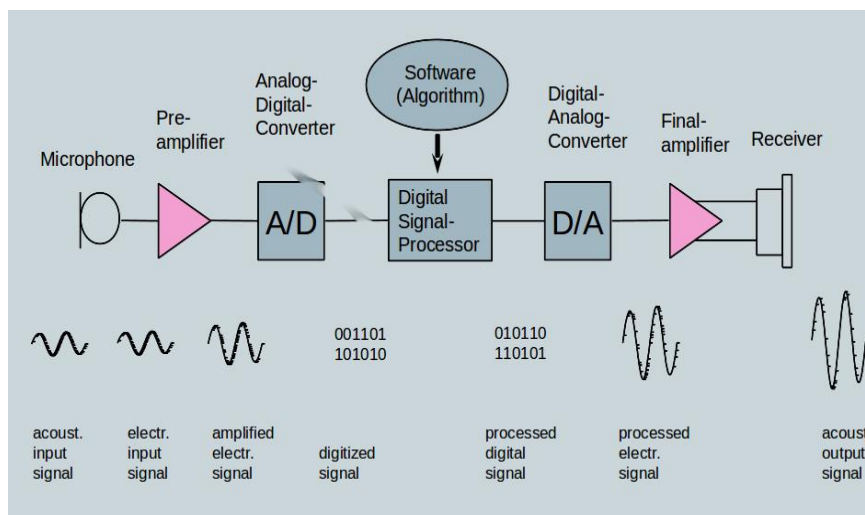


Kuva 7. Reagoimisaikeiden vaikutus vahvistukseen [1]

2.3 Kuulokojeen rakenne

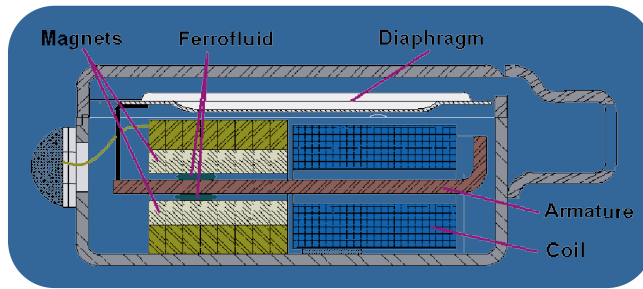
Kuulokoje koostuu yleensä paristosta, vahvistinpiiristä, mikrofonista ja kuulokkeesta. Kuulolaitteen toistama äänentaajuusalue voidaan jakaa osiin, joita jokaista osa-aluetta kutsutaan kanavaksi. Mitä useampia kanavia kuulolaitteessa on, sitä tarkemmin säädettävissä kuulolaite yleensä on. Kuulolaitteen vahvistin koostuu esivahvistimesta, jossa kuulokojeen mikrofonilta tuleva ääni vahvistetaan, jotta se voidaan kanavittain suodattaa ja käsitellä. [2]

Suodatuksen jälkeen jokaisessa kanavassa vahvistetaan kanavan taajuusalueen signaali halutunlaiseksi ja lopuksi jokaisen kanavan signaali yhdistetään ja päätevahvistimella haetaan halutunlainen äänenvoimakkuudentaso.



Kuva 8. Digitaalisen kuulokojeen prosessimalli [2]

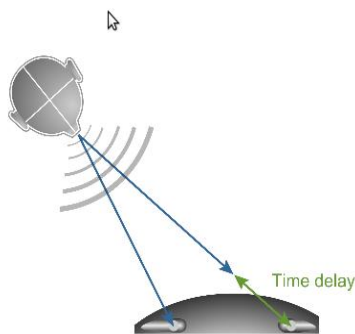
Kuulokojeissa käytettävä mikrofonit ovat useimmiten elektronimikrofoneja niiden kestävyden, laajan taajuusvasteen ja herkkyyden vuoksi. Kuulokkeina useimmiten käytetään D-luokan ferrofluid- kuulokkeita niiden osoittautuessa monitoimisiksi ja luotettaviksi. Ferrofluid- kuulokkeen nimi tulee siitä että kuuloke on täytetty rautahiukkasia sisältävällä öljyllä, jonka tarkoituksena on vaimentaa kuulokkeen liikkeitä ja antaa näin kuulokkeelle parempi äänenlaatu, signaalin pienempi värähtely ja tätä kautta tasaisempi toistokäyrä. Kuuloke koostuu kelasta, johon vahvistin syöttää toistettavaa signaalia, kestopagneetista, rautasydämeestä ja kuulokkeen kalvosta, joka muuttaa rautasydämen liikkeen äänenpaineeksi. [2]



Kuva 9. Ferrofluid-kuulokkeen rakennekuva [2]

2.4 Suuntamikrofonit

Suuntamikrofoneja käytetään kuulolaitteissa parantamaan suuntakuuloa ja poistamaan meluääniä ympäristöstä, joita laajakaistainen mikrofoni ei poista. Suuntamikrofonin käyttö selkeyttää puheenymmärtämistä, jos keskustellaan ympäristössä, jossa on paljon hälyääniä. Suuntamikrofoni on useimmiten sijoitettu peräkkäin, jolloin voidaan äänen vaihe-eron perusteella määrittää tulevan äänen suunta, josta voidaan leikata sivulta ja takaa tuleva ääni pois.

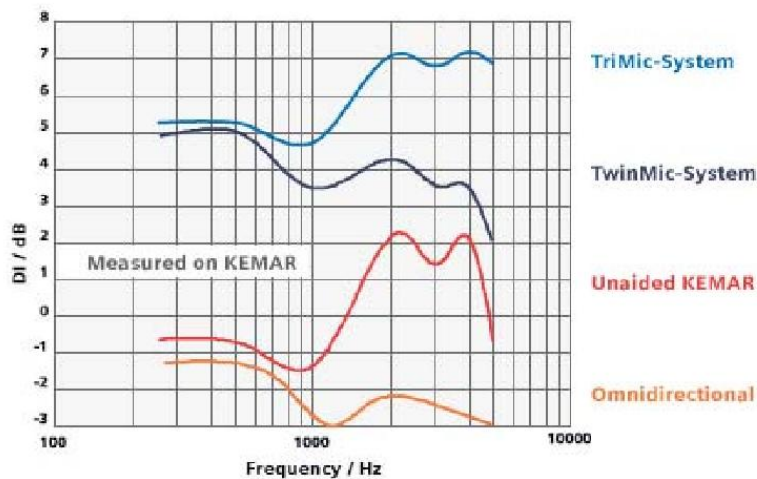


Kuva 10. Suuntamikrofonin toiminta [1]

Automaattinen suuntamikrofoni siirtyilee laajakaistaisen ja suuntamikrofonin välillä mahdollistaen ympäristöääninen kuulumisen kuuntelutilanteessa. Adaptiivinen suuntamikrofoni seuraa liikkuvaa äänilähdettä sen ollessa kuuntelijan etupuolella ja näin vaimentaa yksittäisen liikkuvan melunlähteen.

Monikanavaisella adaptiivisella suuntamikrofonilla voidaan seurata useaa eri äänen taajuuden omaavaa liikkuvaa äänilähdettä ja vaimentaa melun lähteet, jotta haluttava ääni saadaan paremmin esille äänimaailmasta. Tästä voidaan mainita esimerkkinä kuuntelutilanne, jossa keskustellaan torilla ystävän kanssa ja liikenteen melu ja linnut haittaavat kuuntelua. Tällöin monikanavainen adaptiivinen suuntamikrofoniohjelma rajoittaa ohi ajavien autojen ja lentävien lokkien äänen.

Kuulolaitteiden suuntamikrofoneilla pyritään vaikuttamaan kuulolaitteen suuntaavuuteen. Tätä mitataan laitteissa suuntaavuusindeksillä. Suuntaavuusindeksillä mitataan, kuinka paljon mikrofonit ovat herkempiä suoraan edestä tulevalle äänelle kuin muista ilmansuunnista tuleville äänille. Mittaus ilmoittaa dB:ssä, kuinka paljon ääni on vahvempi edestä verrattuna muihin ilmansuuntiin. Kuvasta on havaittavissa kahden ja kolmen mikrofonin sekä laajakaistaisen mikrofonin suuntaavuusindeksit.[3]

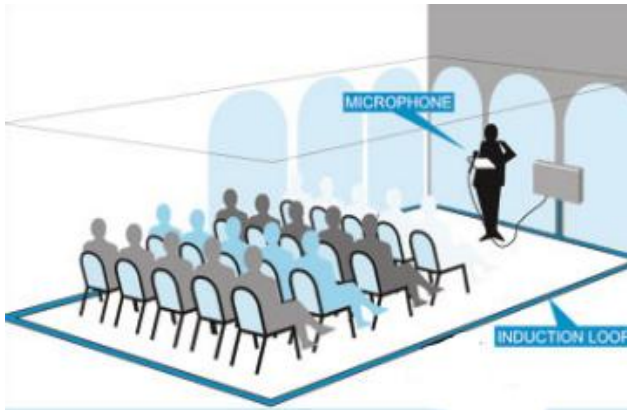


Kuva 11. Mikrofonien suuntaavuusvertailu [4]

2.5 Induktiokelan käyttö kuulolaitteissa

Kuulolaitteissa käytetään induktiokelaa, kun halutaan tuoda kuulokojeeseen ääni sähkömagneettisesta kentästä. Näitä ovat mm. puhelimen kaiuttimen kenttä ja lisäksi useat julkiset tilat, jotka ovat huomioineet huonokuuloiset asiakkaat induktiosilmukalla. Näistä mainittakoon lentokentät, teatterit ja julkisen palvelun toimipisteet.

Kuulolaitteen induktio- ohjelma on useimmiten kytkettävissä päälle kuulokojeesta painonapin avulla tai kojeessa olevan reed-kytkimen avulla. Induktiokuuntelua voidaan käyttää silloin kun kojeessa oleva induktiokela tuodaan sähkökenttään, joka tuottaa audiosignaalia. Induktiokelan huonoiksi puoliksi voidaan mainita häiriöalttius muille vahvoille sähkökentille ympäristössä.



Kuva 12. Induktiokenttä [1]

2.6 Langaton yhteys kuulolaitteissa

Langaton yhteys mahdollistaa kuulolaitteen kytkemisen ulkopuolisiin audiolähteisiin. Tämä tapahtuu useimmiten erillisen kaukosäätimen avulla johtuen useista eri syistä. Kuulolaitteen toiminta-ajan määrittää paristonvaraus, joka vaikuttaa välillisesti laitteista lähtevän langattoman yhteyden kantomatkaan. Siemens-kuulolaitteilla käytetään omaa e2e-yhteyttä kuulolaitteen ja kaukosäätimen välillä, jonka avulla voidaan yhdistää laite useaan eri lähteeseen, joko Bluetooth-yhteyden avulla tai vastaavasti Siemensin omalla salatulla yhteysprotokollalla. Bluetooth-yhteyden huonona puolena mainittakoon yhteyden hitaus, joka on havaittavissa TV:tä katsellessa huulisynkronoinnin katoamisena. Tämä ei ole olennaista kuunneltaessa puhelinta tai radiota, mutta on häiritsevää tekijä lisättäessä ääneen kuva, kuten TV:n katselussa. Käytettäessä Siemensin monitoimilähttimen kanssa erillistä lähetintä, joka käyttää muuta kuin Bluetooth-yhteyttä päästään eroon viiveestä huulisynkronisoinnissa.

Kuulolaitteen langatonta yhteyttä voidaan myös käyttää hyödyksi myös sovitettaessa binauraalisesti kuulokojeet, eli tässä tapauksessa kuulokojeet tulevat molempiin korviin. Binauraalisen sovituksen hyötyinä mainittakoon parantunut suuntakuulo ja puheenymmärtäminen. Langaton yhteys kuulokojeiden välillä mahdollistaa niiden keskinäisen kommunikoinnin, jolloin kuulokojeiden suuntamikrofonit, melunrajoitus ja puheentunnistus toimivat samanaikaisesti mahdollistaen näin parhaan mahdollisen äänen kuuntelutilanteissa. Tämän avulla kuulokojeiden ohjelmat saadaan vaihtumaan samanaikaisesti ilman erillisen kaukosäätimen avustusta. [3]

Langaton yhteys kuulolaitteiden välillä on toteutettu käyttäen kahta erillistä digitaalista tiedonsiirtotaajuutta, 114 kHz ja 120 kHz, siirtonopeuden ollessa noin 215 kbit/s. Tiedon siirrossa apuna käytetään taajuussiertomodulaatiota. Digitaalinen tiedonsiirto ja kapea taajuuskaista ei ole häiriöherkkä. Kuulolaitteiden langattoman kelan lähetysteho on pieni mahdollistaen näin suuren toiminta-ajan kuulolaitteelle. Lähetysteho on vain noin 100 μ W paristonkulutuksen lisääntyessä vain noin 100 μ A.[4]

2.7 Kuulolaitteiden ohjelmalliset ominaisuudet

Kuulolaitteet sisältävä paljon ohjelmallisia ominaisuuksia, jotka perustuvat signaalin käsittelyyn erilaisin algoritmein. Näitä ovat mm. melunrajoitustoiminnot, puheen- ja musiikintunnistus ja kierronesto-ominaisuudet. Kierronestoa kuulolaitteissa toteutetaan antamalla vahvistetulle signaalille sormenjälki, jolla voidaan tunnistaa kojeen vahvistama signaali ja taajuusmoduloida kiertävää taajuutta. Kuulolaitteiden ohjelmallisilla ominaisuuksilla voidaan vaikuttaa kuuntelutilanteissa suuntamikrofonin toimintaan, jolla saadaan huomioitua kuunteluympäristön hälyänet ja suuntamikrofonin kautta tuleva suunnattu ääni, jolla saadaan miellyttävä kuuntelukokemus leikkaamatta ympäristöääniä. Kuulolaitteiden kehitys viime vuosina on tuonut kuulolaitteisiin paljon ominaisuuksia, joilla voidaan tarkastella kuuntelutottumuksia ja kuulolaitteiden toimintaympäristöä. Niillä voidaan joko helpottaa itse kuulolaitteen säätöä tai vastaavasti itse kuulolaitteen toimintaa kuulolaitteen itsesäätymisenä. Näistä voidaan mainita mm. kuulolaitteiden melun, musiikin ja puheen tunnistukset, jossa kuulolaitte seuraa käyttäjän tottumuksia kuuntelutilanteessa tai vain kerää käyttötietoa millaisissa ympäristöissä kuulokojetta on käytetty. Kuulolaitteiden nopea digitaalinen kehitys on johtanut siihen, että

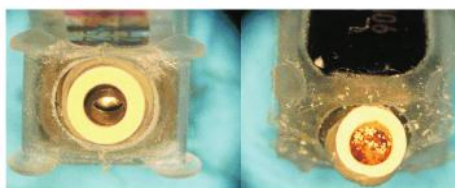
kuunteluympäristöt voidaan erilaisten algoritmien avulla jakaa puhetilanteeseen, puhe-tilanteeseen melussa, tasaiseen taustameluun, vaihtelevaan melutilanteeseen ja musii-kin kuunteluun. Kuulolaitteissa tällä hetkellä pyritään siihen että laite itsessään tunnis-taa kuuntelutilanteet ja käyttäjätottumuksien avulla hakee miellyttävimmän ohjelman ja äänenvoimakkuuden käyttäjälle.

Siemensin kuulolaitteiden yksi mielenkiintoisista ominaisuuksista on mikrofonien koihi-nan vaimennus. Jokaisessa mikrofonissa on hieman kohinaa, ja normaalikuuloinen käyttäjä sen usein myös huomaa. Kuulokojeet jatkuvasti seuraavat tulosignaalia, ja sen tippuessa laskiessa automaattisesti kojeet vähentävät vahvistusta, mikä aiheuttaa koihi-nan voimakkuuden laskun ja näin ollen hiljaisessa tilassa kojeen mikrofonikohinan huomattavan pienentymisen. Kuulolaitteen vahvistus palaa normaaliin kuulolaitteen äänen tulotason noustessa yli 40 dB:n.

Kuulolaitteissa on myös ohjelmallinen tuulenkohinan vaimennin, jolla kuulolaitteen ha-vaitessa tuulesta johtuvaa kohinaa laite pienentää automaattisesti vahvistusta ja kytkee laajakaistaisen mikrofonin käyttöön laskien samalla matalien taajuuksien äänentoistoa. Tästä kehittyneempi versio tämän lisäksi laskee tuulenvoimakkuudelle nopeuden mik-rofonin kohinan voimakkuudesta ja sen mukaan säättää kuulokojeen matalia taajuuksia. [4]

3 Kuulolaitteiden mittaus

Ennen kuulolaitteen mittausta tai kalibrointia tai muuta testausta olisi hyvä varmistua kuulolaitteen mikrofonien ja kuulokkeen puhtaudesta, kuorikon eheydestä ja akustises-ta kierrosta. Kuulolaitteiden mittauksissa noudatetaan Euroopassa standardia IEC60017, joka määrittelee oikeanlaisen käytettävän mittauksen laitteiston ja mittaus-tavan. Amerikassa käytetään ANSI-standardia kuulolaitteiden mittauksissa.



Kuva 13. Likaantunut kuuloke. [15]

3.1 Vahvistuksen mittaus

Vahvistuksen mittauksella saadaan selvitettyä kuulolaitteen kuulokkeen ja mikrofonin toiminta. Mittaus antaa yleensä viitteitä myös muista vioista, joita ovat mm. johdotuksesta ja huonoista kontakteista johtuvista harmonisista yliaalloista. Vahvistuksesta mitataan yleensä 90 dB:n OSPL-arvo, jolla voidaan selvittää kuulokojeen maksimiantotaso. Maksimiantotasosta on huomioitava myös, ettei kuulokoje anna liikaa vahvistusta, mikä voisi vaurioittaa kuuloa, eli kuulolaitteen 90 dB:n OSPL-arvo ei ylitä kuulonvaurioitumisrajaa. 90 dB:n antotasomittauksen lisäksi mitataan 60 dB:n antotaso, joka antaa viitteitä kuulokojeen mikrofonin ja kuulokkeen kunnosta. 60 dB:n antotasomittaus näyttää yleensä mikrofonista johtuvan särön rikkonaisena vahvistuksena yli 2000 Hz:n taajuuksilla. Kuulokeviat löytyvät yleensä tarkastelemalla 60 dB:n vahvistusta tehtaan antamiin vahvistuskäyriin. Mikrofoniviat havaitaan yleensä vaimeina korkeiden taajuuksien vahvistuksina. Kuulolaitteet mitataan huoltoasetuksilla, etteivät kojeen ohjelmalliset ominaisuudet pääse vaikuttamaan tuloksiin. On huomiotava, että kuulolaitetta, jonka vahvistus on yli 45 dB, ei saa mitata tai kuunnella täydellä teholla.[11]

3.2 Tulovahvistuksen kalibrointi

Tulovahvistuksen kalibroinnilla pyritään tarkastamaan ja säätämään kuulokojeelle tulevan äänen tasoa. Kuulokojeen vahvistin vahvistaa yleensä mikrofonille tulevan äänen kuulokkeelle ja sitä kautta korvaan. Tulovahvistuksen kalibroinnissa unohdetaan kuuloke ja tarkastellaan huolto-ohjelmalla tuloäänen tasoa. Tuloäänenä yleensä käytetään 70 dB:n referenssiäntä, jolla 1000 Hz:n taajuudella saadaan tarkastettua kuulokojeen toiminta. Tuloäänenkalibroinnissa tarkastellaan kuulolaitteen mikrofonin ja vahvistimen välistä yhteyttä.

Kuulolaitteen tulovahvistuksen kalibroinnissa pyritään vaikuttamaan esivahvistimeen, joka on nähtävissä pelkistetyssä kuulolaitemallissa. Digitaalisen kuulolaitteen prosessimallikuvasta on nähtävissä esivahvistin ennen signaalin AD-muunnosta, johon tulovahvistuksen kalibraatiolla pyritään vaikuttamaan. [11]

3.3 Vahvistuskalibraatio

Vahvistuskalibraatiolla pyritään mukauttamaan kuulolaitteen antama vahvistus referenssivahvistukseen, jolla saadaan seurattua kuulolaitteen vahvistimen, mikrofonin ja kuulokkeen toimintaa. Tällä toiminnolla siis seurataan kuulokojeen vahvistimen toistoa. Vahvistuskalibraatiolla pyritään vaikuttamaan lopulliseen käsiteltyyn signaaliin päätevahvistimella DA-muuntimen jälkeen ennen kuin signaali viedään kuulokkeelle.

3.4 Langattoman yhteyden testaus

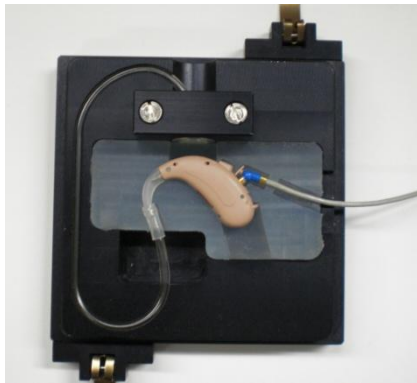
Kuulolaitteen langattoman yhteyden testaus tapahtuu langattoman yhteyden testipen-
kissä, jossa kuulolaitteen langattoman yhteyden kantama ja ohjelmallinen toiminta tarkastetaan. Langattoman yhteyden testauksessa on huomioitava kuulokojeen langattoman kelan suuntaus ja käytettävän langattoman kelan sukupolvi. Langattomassa testauksessa tarkastellaan kuulolaitteiden välistä kommunikointia sekä kuulolaitteen ja kaukosäätimen välistä kommunikointia.



Kuva 14. Langattoman yhteyden testipenkki [9]

3.5 Mikrofonien mittaus ja kalibrointi

Suuntamikrofonien mittaus suoritetaan vahvistusmittauksena, jossa huolto-ohjelmalla poistetaan toinen mikrofoni käytöstä mittauksen ajaksi. Molempien mikrofonien taajuusalueelta seurataan 500 Hz – 1000 Hz taajuusaluetta, jossa dominoivan etumikrofonin vahvistuksesta vähennetään takamikrofonin tulos. Otannat otetaan 100 Hz:n välein ja mittauksista otetaan keskiarvot. Yleensä hyväksyttävä mikrofonien otannan keskiarvo on noin 0,5 dB +/- 0,15 dB. Mikrofonien mittaus on syytä suorittaa aina mikrofonien vaihdon yhteydessä ja silloin, kun on syytä epäillä mikrofonien epätasapainoisuutta tai muuta vikaa. Mittaus antaa suuntaa mikrofonien nykytilasta. Mikrofonit voidaan tasapainottaa käyttämällä SCAL-kalibraattoria, jolla kuulolaite suljetaan tiiviiseen koteloon ja käytetään kuulolaitteen tuottamaa ääntä kalibroimaan ja tasapainottamaan kuulolaitteen mikrofonit. Kuulolaitteiden etumikrofoni on yleensä kiinteä, jonka perusteella kalibroidaan takamikrofoni. SCAL-kalibrointi ilmoittaa myös mikrofonien likaantumisesta johtuvista ongelmista. Useimmiten kuulolaitteiden mikrofonit ovat valikoituja pareja, jolloin ainoastaan toisen mikrofonin vaihto ei onnistu, vaan joudutaan vaihtamaan molemmat mikrofonit. Valikoidulla parilla tarkoitetaan mikrofonien epätasapainoa, jota mikrofonien kalibroinnilla ei voida kompensoida. [13][8][11]



Kuva 15. BTE-kojeen SCAL-mittaus ja ITE-kojeen kalibraattori [13]

3.6 Kuulolaitteen induktiokelan testaus

Kuulolaitteen induktiokelan toiminnan koestaminen tapahtuu analysaattorin avulla, jossa kuulolaitetta varten on rakennettu vakiovirtainen induktiosilmukka. Kuulolaite asetetaan induktiosilmukan keskelle niin, että kuulolaitteen induktiosilmukka on kentän myötäinen ja keskellä induktiokenttää.

Kuulolaite mitataan 1000 Hz, 1600 Hz ja 2500 Hz taajuudelta ja tuloksen keskiarvosta voidaan päätellä vertaamalla mitattua arvoa tehtaan antamaan HFA-MASL-arvoon. Saadun tuloksen perusteella voidaan kuulolaitteen induktiokelan arvoa kalibroida ylöspäin ja alaspäin ja voidaan myös havaita viallinen kela.[11]

Huomioitavaa kuulolaitteen induktiosilmukkaa kalibroitaessa on tarkastaa käytettävä induktiokentän virta, jos käytetään 1 mA/m tai 10 mA/m ero on tällöin + 20 dB vahvistuksessa. [10]

3.7 Kuulolaitteen tarkastus ja saattaminen mittauskuntoon

Kuulolaitteen saattaminen mittauskuntoon alkaa yleensä kuulolaitteen kuuntelulla, jolloin kuulolaitteeseen asetetaan uusi paristo mittausta ja kuuntelua varten. Kuuntelu paljastaa yleensä suurimmat viat kuulokojeesta. Tehdään kuulokojeelle visuaalinen tarkastus, jossa keskitytään kuoren vikoihin, kuulokojeen likaisuuteen, paristokontakteihin ja lukuliittimien puhtauteen ja eheyteen. Mikäli mitattava laite on korvakäytäväkoje, varmistutaan, että kuulokojeen koukun suodatin on vapaa liasta. Varmistutaan ennen mittauksia kuulokkeen ja mikrofoniin puhtaudesta. Mikäli on syytä epäillä suurta virrankulutusta, mitataan kuulokoje virtamittarilla tai paristoadapterilla. Kuulolaitteen virrankulutus on yleensä 0,5mA:n ja 1,4mA:n välillä, minkä avulla voidaan määrittellä suuntaa antava paristonkesto aika kuulokojeelle. Nykyisin kuulokojeissa käytettävät paristot ovat ilma sinkkiparistoja, joiden varaus on 100mA:n ja 700 mA:n välillä. [5]

4 Työmenetelmät

4.1 Työympäristö

Kuulolaitteiden huolto- ja korjaustoiminnassa on huomioitava vahvistinpiirin ja muiden elektronisten osien herkkyys sähkömagneettisille purkauksille, jolloin käsiteltäessä kuulolaitteiden suojaamattomia virtapiirejä ja komponentteja on huomioitava ESD-määräykset ja käytettävien laitteiden ja ympäristön oikeanlainen suojaus. ESD-vauriot ovat useimmiten kuulolaitteissa näkymättömiä, mutta voivat vaurioittaa komponentteja suurijännitteisillä purkauksilla ja aiheuttaa kojeelle myöhemmin kosteuden yhteydessä korroosio-ongelmia.

Staattisten purkauksien vuoksi työpiste on hyvä varustaa maadoitetulla työalustalla ja jännitteenpoistorannekkeella ja käytettävä juotosasema on hyvä maadoittaa ja käyttää asusteita, joiden pintamateriaali ei kerää haitallista sähkövarausta, kuten villa.[5]

4.2 Työvälineet

Kuulolaitteiden korjaus ja valmistus vaatii työvälineet, joilla työn tekeminen onnistuu ja laitteet joilla voidaan havaita ja korjata viat. Yksi tärkeimmistä laitteista on riittävän suurivahvistuksinen mikroskooppi, jonka vahvistus saisi olla vähintään kymmenkertainen, jotta juotoksien muoto ja juotosvirheet voitaisiin havaita helposti vahvistinpiiriltä ja muilta komponenteilta. [5]

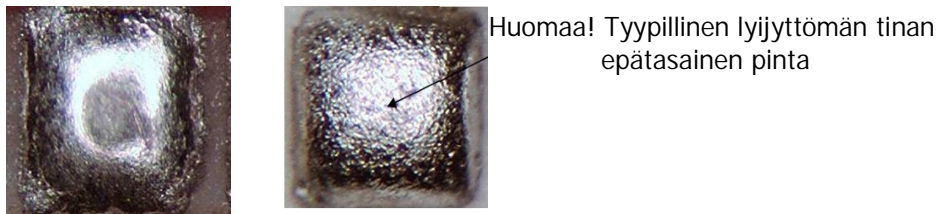
Lisäksi tarvitaan säädettävä juotosasema, joka noudattaa ESD-määräyksiä ja on maadoitettavissa. Aseman säätöalueen tulisi riittää 400 °C asti ja toimia lyijyttömän tinan kanssa. Juotosaseman lämpötilan tulisi olla nopeasti palautuva ja säätyä alle 25 ms:ssa takaisin oikeaan juotoslämpötilaan. Lisäksi tarvitaan kunnolliset pinsetit, sivuleikkurit, kirurginveitset, virtamittari ja stetoclip-kuulokkeet, jolla voidaan kuunnella kuulolaitetta. [6][16]

Näiden lisäksi tarvitaan huolto-ohjelmisto ja analysaattorit, joilla voidaan tarkastaa kuulolaitteen toiminta. Kuulolaitteiden puhdistukseen voidaan käyttää isopropanolialkoholia, harjaa ja puhdistettua paineilmaa. Kuulolaitteita ei tulisi missään nimessä puhdistaa itse puhaltamalla, koska hengitysilma sisältää kosteutta ja muita haitallisia partikkeleita.

Juotosaseman kolvin tipin saa säilymään pidempään käyttökelpoisena aina silloin tällöin tarkastamalla juotoskärjen tinauksen ja tinaamalla kärjen uudelleen. Tinaaminen tapahtuu lämmittämällä juotoskärki 370 °C:seen ja kastamalla kärki tinaan ja antamalla tinan vaikuttaa kolvin kärjessä noin minuutin ajan ja pyyhkimällä ylimääräinen tina kärjestä kosteaan sieneen. Jos kolvia ei käytetä yli 30 minuuttiin on kolvi hyvä sammuttaa juotoskärjen pidemmän elinkaaren saavuttamiseksi. [4]

4.3 Juotoslämpötilat ja oikeanlainen juotosjälki

Koska lyijyn käyttöä rajoitettiin elektronisten laitteiden juotoksissa vuonna 2006 RoHS-standardilla, aiheutti se entistä tarkempaa lämpötilojen seuranta juotoksissa. Ennen lyijyllinen tina sulii 183 °C:ssa ja nykyisin käytettävä tina sulaa 217 °C:ssa. Tämä lisäsi juotosaineen juoksettumisaikaa, joka taas lisää komponenttien ylikuumentumisesta johtuvaa vaurioitumisriskiä juotettaessa. [6]



Kuva 16. Lyijyllisen tinan juotospinta oikealla ja vasemmalla lyijytön [6]

Juotoksissa on hyvä huomioida juotettavan kohteen pinta, sillä liiallinen tinankäyttö tai epätasainen juotosjälki voivat aiheuttaa häiriötä tai harmonisia yliaaltoja kuulokojeen toistoon. Lisäksi vaarana ovat ylimääräiset tinasillat kontaktien välillä. Liian vähäinen tinankäyttö aiheuttaa heikon juotoksen keston ja voi aiheuttaa katkoksen virtapiirissä. Juotettaessa on hyvä huomioida ja varoa kylmäjuotosta, missä juotettavan liitoksen koko tinamassa ei ole sulassa tilassa samaan aikaan. Tämä aiheuttaa rajapinnan tinojen väliin ja ajan saatossa katkoksen virtapiirissä. Lisäksi juotoksissa on varottava reunaava, joka on havaittavissa tinauksen reunassa. Liitteissä 1 ja 2 kuvista selviävät yleisimmät juotosvirheet.

Kuulolaitteiden juottamisessa joudutaan usein tilanteeseen, missä juotettava kappale on yhteydessä muoviosiin, jolloin muovirakenne helposti muuttuu lämmön vaikutuksesta ja juotettavan komponentin paikka siirtyy. Tätä voidaan ehkäistä käyttämällä (heat sinkiä), jolla kappaleeseen siirtyvä lämpö johdetaan toiseen metalliin, jolloin muoviosaan kohdistuva haitallinen lämpö jää pienemmäksi.

Tällaiseen tilanteeseen voi joutua korvakäytäväkojeen paristokontaktia tai lukuliittimiä juotettaessa. Kontakteja tai lukuliittimiä juotettaessa on melkein mahdotonta saada hyvää jälkeä, ellei lukuliittimiä tai paristokontakteja ole stabiloitu ja lämpöä johdettu johonkin vaarattomaan kohteeseen.

Suosittelavat juotoslämpötilat juotettaessa on maksimissaan 343 °C ja juotosaika maksimissaan 3 sekuntia, jolla voidaan minimoida johtuvasta lämmöstä aiheutuvat viat. Mikrofonien, kuulokkeiden ja muoviosiin liitettyjen kontaktien kanssa on hyvä käyttää heat sinkkiä.[13]

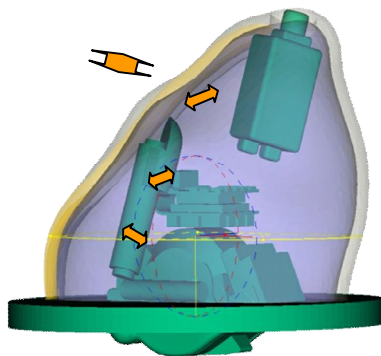
Kullattujen kontaktien kanssa voidaan juotoslämpötilaa laskea 290 celsiusasteeseen, jolloin tinan valuminen kullatulla pinnalla minimoidaan. Johtojen tinauksessa on suositeltava käyttää aina 370 °C:n lämpötiloja, joka on riittävän korkea lämpötila poistamaan johtoa suojaavan eristeen. Tästä poiketen ohuiden langattomien kelojen johtojen juottamiseen on suotava käyttää alhaisempaa lämpötilaa, esimerkiksi 290 °C, jolla pyritään välttämään liiallisen lämmön vaikutus langattomaan kelan lakkaukseen ja komponentin toimintaan. [5][13]

4.4 Johdotus

Korvakäytäväkojeissa johdotus osoittautuu juotoskontaktien kanssa useasti harmonisten yliaallojen ja signaalihäiriön lähteeksi kuulolaitteissa. Harmoniset yliaallot ilmenevät vahvistusmittauksessa, joissa vahvistussignaalien kaiut ilmenevät. Johdotus usein aiheuttaa myös ongelmia langattomalle yhteydelle ja induktiosilmukan häiriöttömälle toiminnalle. Langaton yhteys ottaa usein häiriötä kuulokkeesta, jota nykyään on suojattu kuulokkeen kuoren maadoituksella ja kuparisuojalla.

Korvakäytäväkojetta johdotettaessa on huomioitava, että hybridin ja paristokontaktin välisellä alueella on johto vedettävä mahdollisimman läheltä hybridiä, jolla voidaan vähentää paristojohdotuksen aiheuttamaa sähköistä häiriötä.

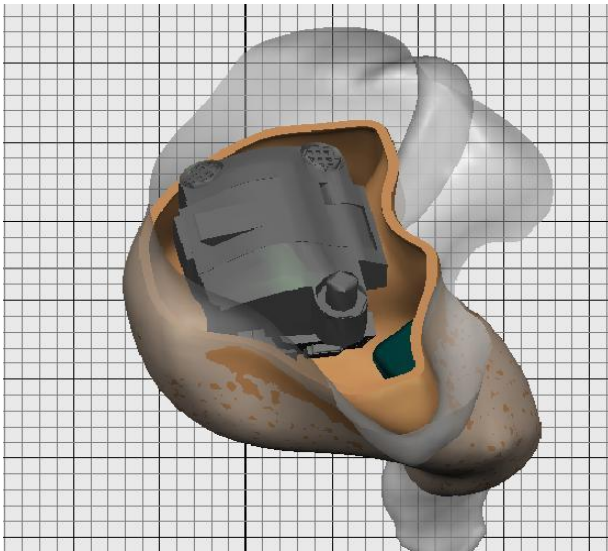
Juotettaessa hybridille johtojen maksimimäärä juotospisteessä on kolme ja johtojen pituus juotospisteessä saisi olla 75-100 % juotospaikan pituudesta. Johtoja ei saa vetää ristiin eikä asettaa päällekkäin juotettaessa kontakteja hybridille. Johtojen eristeen eheys on tarkastettava juotoksen yhteydessä, ettei suojaamattomasta kontaktista saada oikosulkua kojeeseen. Muutkin suojaamattomat kontaktit on hyvä suojata UV-valokovetteisella lakalla, jolla estetään tahattomien kontaktien ja häiriöiden synty kuulolaitteissa ja kosteuden aiheuttama korrosio juotospinnalle. Kuulolaitteiden johdotuksessa johtojen liiallista kiertämistä pyritään välttämään. Juotettaessa kiinni äänenvoimakkuudensäätöpyörää, painonappia tai kahta johtoa olisi kontaktipinnan pituus hyvä olla 4-6 kertaa johdon halkaisijan verran, jolloin saadaan riittävän luja liitos kontaktiin. Valmiista juotoksesta on hyvä poistaa tinajuoksetteen ja Fluxin jäämät isopropanoli-alkoholilla ennen korroosiosuojaavaa UV-lakkausta. [5]



Kuva 17. Kuulolaitteen komponenttien sähköisen häiriön vaikutus toisiinsa ITE-kojeissa [20]

4.5 Kuorikon valmistus ja korvakäytäväkojeiden mallit

Kuulolaitteissa korvakäytäväkojeiden kuorikkoja joudutaan silloin tällöin uusimaan, mikäli korvakappalemallista ei tullut mieleistä tai muuten korvaan sopivaa. Korvakappalemalli saattaa olla liian lyhyt tai nousta muuten korvanpinnasta ulos aiheuttaen esteettisen haitan. Korvakäytäväkojeen kuorikkoja voidaan valmistaa joko valokovetteisista materiaaleista tai vastaavasti kaatoakryylistä. Valokovetteiset kuorikot valmistetaan yleensä tehtaalla, jossa ne nostetaan valokovetteisesta nesteestä kerroksittain UV-valopiirturin avulla. Valokovetteiset mallit valmistetaan useimmiten sarjassa, jolloin korvamallista otetusta muotista on muodostettu kolmiulotteinen kuva ja 3D-ohjelmistoa käyttäen muodostettu malli tulevasta korvakäytäväkojeesta, johon on sijoitettu kaikki tarpeelliset komponentit.



Kuva 18. 3D-malli kuulokojeen suunnitteluvaiheessa

Valokovetteisen materiaalin hyötyinä ovat ohuet seinämäpaksuudet ja kova pinta. Kaatoakryylistä voidaan valmistaa helposti uusi kuorikko valokovetteisen kuoren tilalle. Kaatoakryylisen kuorikon seinämäpaksuudet saadaan helposti paksummiksi ja kuorikko kestävämmäksi akryylin sitkeyden vuoksi. Kuorikon pituus vaikuttaa korvakäytäväkojeen useisiin eri ominaisuuksiin.

Mitä pidemmälle korvakäytävään kuulolaite menee, sitä pidempi matka saadaan kuulokkeelta ilmastoinnin kautta mikrofonille, mikä vähentää vinkumisherkkyyttä eli akustista kiertoa. Mitä pidempi korvakäytävä osa on, sitä vaikeampi on kuulokoje asettaa korvaan. Kuulokojeiden vahvistus määrittää suurelta osilta kuulolaitteessa käytettävän ilmastoinnin koon, jonka tarkoituksena on luoda korvaan tulevien äänistä luonnollisemmat. Kaatoakryylikuorikon valmistus alkaa mallinotolla, jossa korvasta muodostetaan kaksikomponenttisilikonin avulla malli. Saadusta mallista voidaan tarvittaessa muodostaa läpinäkyvä silikoninen mallikorva, jolla nähdään kuorikon istuvuus korvaan. Mallikorvan valmistuksen jälkeen korvakappalemallista leikataan ylimääräinen silikoni pois ja muotoillaan halutun tyyppinen kuorikkomalli.

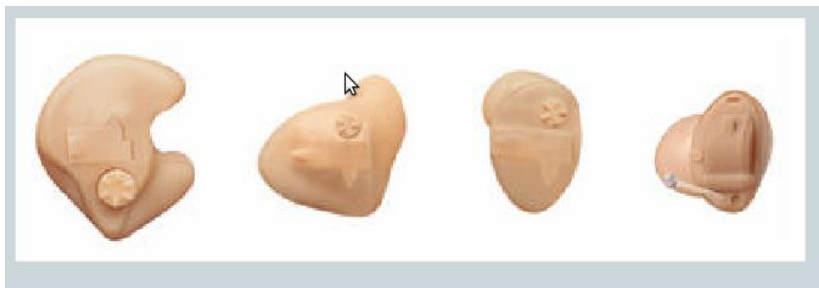
Muotoillessa huomioidaan, ettei korvakappalemalliin jää teräviä reunoja ja että silikonimallin pohja on leikattu tasaiseksi. Tämän jälkeen korvakappalemalli kastetaan kuumaan muottivahaan, jolloin korvakappalemallin pinta kasvaa vahakerroksen verran. Mallin annetaan jäähtyä ja jähmettynyt vaha poistetaan mallin pohjasta. Mallin pohja kastetaan vahvempaan vahaan ja pohja asetetaan muottikuppiin. Vahan annetaan kovettua muottiin, minkä jälkeen muottiin kaadetaan negatiivisen mallin muottimassa, joka on kaksikomponenttisilikonია.

Muottiaineen kovettumisen jälkeen muotista poistetaan korvakappalemalli, muottivanhjänteet ja epäpuhtaudet ja varmistutaan, ettei silikonimuottiin ole jäänyt ilmakuplia. Tämän jälkeen voi akryylistä valmistaa kuorikon kaatamalla lämmitetty muotti täyteen akryyliä ja hetken jälkeen kaatamalla ylimääräinen akryyli pois muotista, jolloin muotin sisäpintaan jää kuorikon kuoren paksuinen kerros materiaalia muotin sisäpinnalle. Tämän jälkeen malli laitetaan paineastiaan, jossa materiaalista ennen kovettumista poistetaan ilmakuplat ja saadaan materiaalista näin kestävämpi. Kovettumisen jälkeen kuorikko poistetaan muotista ja hiotaan halutun korkuinen kuorikonpinta, johon kiinnitetään peitelevy.

Ennen peitelevyn asennusta kuorikoon sen sisäpinnalle jyrsitään ura ilmastointia varten. Ilmastointiuraan asetetaan muoviputki jonka sisällä on rautalanka pitämässä muoviputken oikeassa asennossa. Muoviputki määrittää kuorikkoon tehtävän ilmastoinnin koon. Muoviputki rautalankoineen täytetään akryyllillä, jonka annetaan kovettua. Kovettuneesta akryylistä vedetään rautalanka ja muoviputki pois, jolloin kuorikkoon jää

muoviputken ulkohalkaisijan kokoinen ilmastointi. Tämän jälkeen kuorikkoon asennetaan peitelevy, jolloin varmistetaan pariston ja muiden komponenttien mahtuminen kuorikkoon.[14]

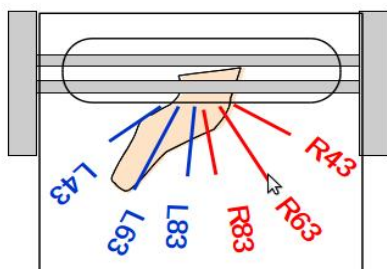
Korvakäytäväkuulokojeet voidaan jakaa useaan ryhmään muotonsa vuoksi. Kuorikon muodon peittävyys korvassa ja kuorikko-osan pituus korvakäytävässä ovat kuulokojeen käyttötärpeen mukaan olennaisia osia kuulolaitetta sovitettaessa korvaan.



Kuva 19. ITE-kojeiden kuorikkomallit vasemmalta IT,CS,CT ja CIC [19]

Kuorikon kokoon vaikuttavia tekijöitä ovat mm. asiakkaan mieltymykset kojeen käytössä ja komponenttien fyysiset mitat laitteissa. Usein asiakkaiden ollessa jo hieman iäkkäämpiä on hyvä huomioida sormien motoriset ominaisuudet, jotka vaikuttavat suuresti kuulolaitteen käsittelyyn ja sitä mukaa käytettävyyteen. Usein paristonkoko on ratkaiseva tekijä kuorikon kokoa määrittellessä, mutta siihen vaikuttavat myös muut kuulolaitteisiin halutut ominaisuudet, kuten langaton kela, suuntamikrofoni ja puhelinkela. Tämän takia kuulolaitteen koko on useiden osien summa, jonka takia joudutaan tekemään kompromisseja ominaisuuksien ja esteettisten ominaisuuksien välillä.

Uutta kuorikkoa valmistettaessa on hyvä huomioida langattoman kelan ja puhelinkelan asento uutta kuorikkoa valmistettaessa. Langatonta kela suunnattaessa voi hyväksi käyttää työkalua, joka on nähtävissä kuvasta 17.



Kuva 20. Langattoman kelan asentotyökalu [9]

4.6 Kuulolaitteen vianhaku

Kuulolaitteissa useimmat viat havaitaan kuulolaitteen huonon kuulumisen tai puheen ja äänen säröytymisen myötä. Tämän lisäksi kuulolaitteissa oleva akustinen kierto, joka useimmiten johtuu kuulolaitteen suuresta vahvistuksesta ja siihen sopimattomasta korvakappaleesta, aiheuttaa suuria ongelmia kuulolaitteen käyttäjälle. Akustinen kierto syntyy, kun kuulolaitteen vahvistama ääni pääsee mikrofonille ja kyseisestä äänestä syntyy jatkumo. Tämän lisäksi liika aiheuttaa kuulolaitteille suuria ongelmia korvavahan ollessa korvassa melkein nestemäisessä muodossa. Kuulolaitteiden muut ongelmat liittyvät useimmiten langattoman yhteyden toimintaan ja kuulolaitteen puhelinkelan toimintaan. Kuulolaitteiden korjaustoiminnassa on hyvä olla jonkinlainen käsitys kuulolaitteiden säätämisestä laitteen käyttäjälle, koska usein korjaustoiminnassa joutuu olemaan tiiviisti yhteistyössä kuulontutkijoiden kanssa.

Taulukko 1. Kuulolaitteen viat komponenttityypeittäin

VIKA KUULOKOJEESSA

<u>Korjaa tai vaihda</u> <u>osa</u>	Mykkä	Vahvistus vaimea	Vaimea maksimiantotaso	Ääni vääristy- nyt	Kohinaa T- asennolla	Suuri paristonkulutus
Mikrofoni	x	x				
Kuuloke	x	x	x	x		x
Vahvistin	x	x	x	x		x
Voimakkuuden säädin	x					
Puhelinkela						
Laitteen säädöt	x	x	x	x		
Johdotus	x				x	x

Taulukko 2. Vian ja syyn yhteys toisiinsa

Ongelma							
	Akustinen kierto	Häiriö / Katkominen	Kohina	Suuri paristonkulutus	Hieman kasvanut paristonkulutus	Ontto ääni	T- asento
S Y Y	Kuuloke	Kytkin	Mikrofonin johdot	Vahvistin piiri	Kuuloke	Kuuloke	Induktiokela
	Mikrofoni	VC	Mikrofoni		Mikrofoni	Mikrofoni	Liitokset
	Kuori	Huono liitos	Kondensaattori				Kytkin
	Kuulokkeen yhteys kuoreen	Kylmä juotos	Vastus				Kelan vahvistin

4.6.1 Kuuloke- ja mikrofoni- viat

Kuulokkeen ja mikrofoni- viat on usein havaittavissa kuulolaitteen puhdistuksen jälkeisessä vahvistusmittauksessa, jossa kuulolaitteen antotasomittaus antaa suunnan vian syystä. Yleensä maksiantotason mittauksessa 90 dB:n OSPL-mittauksessa havaitaan kuulokkeen viat alentuneena vahvistuksena, kun taas 60 dB:n HFA-antotasomittaus paljastaa mikrofoni- viat vahvistuksen jäädessä korkeilla taajuuksilla. Usein mikrofonit ja kuuloke sijaitsevat paikassa, jossa ne pääsevät altistumaan kosteudelle ja vahalle, vaikka niitä usein pyritään suojaamaan erilaisten suodattimien avulla. Kosteus ja vaha ovatkin suurimpia syitä kuulokkeiden ja mikrofoni- vaurioitumiseen. Mikrofoneja mitattaessa on hyvä huomioida suuntamikrofonin vaikutus mittaukseen, koska usein huoltoasetukset mittaavat vain dominoivalla etumikrofonilla, jolloin takamikrofonin viallinen toiminta saattaa jäädä huomioimatta. Kahden tai useamman mikrofonin ollessa käytössä olisi suositeltavaa suorittaa SCAL-kalibrointi mikrofoneja tarkastettaessa, koska tämä ilmoittaa usein viallisesta takamikrofonista. Viallinen takamikrofoni voidaan joskus myös havaita käytettäessä automaattista mikrofonia vahvistuksen "pumpkauksena", joka usein johtuu kuulolaitteen siirtymisestä laajakaistaisesta kuuntelusta suuntamikrofonin käyttöön, jolloin kuulokoje siirtyy vahvistavasta äänestä hiljaisuuteen. [15][12]

4.6.2 Langattoman yhteyden viat

Langattomissa yhteyksissä vikojen selvittäminen tapahtuu suurimmaksi osaksi langattomalla testipenkillä, jossa kuulolaitteesta voidaan havaita kuulolaitteen lähettämän ja vastaanottaman signaalin kantomatka. Kuulolaitteen täytyy pystyä ottamaan yhteys pään toisella puolella olevaan kuulolaitteeseen, jonka etäisyys mittauksissa on määritelty noin 25 cm:ksi. Lisäksi monitoimikaukosäätimen täytyy saada yhteys kuulolaitteeseen noin metrin päästä, jotta kuulolaitteen säätäminen käytössä olisi järkevää. Kuulolaitetta mitattaessa on hyvä huomioida langattoman kelan suunnan tärkeys langattoman yhteyden kantomatkaan. Lisäksi langattomaan yhteyden laatuun vaikuttaa korvakäytäväkojeen johdotus, joka voi aiheuttaa äänenlaadullisia ongelmia. Mikäli epäillään, onko kuulolaitteen langaton kela vaurioitunut, voidaan se mitata vastusmittauksella, jolloin kelan vastuksen pitäisi olla noin 11 Ohmia D6-piirisarjan kojeilla ja 15 ohmia vanhemmilla. Tämä kertoo myös katkoksesta langattomassa yhteydessä. Langattoman mittauksen alussa on hyvä suorittaa langattoman kelan säätö, joka ilmoittaa mittauksen aikana kelavauriosta. Langattoman yhteyden toiminnassa on hyvä huomioida, että kela on otettu huolto-ohjelmassa käyttöön ja langaton osoite on sama molemmissa käytettävissä laitteissa ja kaukosäätimessä. [7][9]

4.6.3 Vahvistinpiiriviat

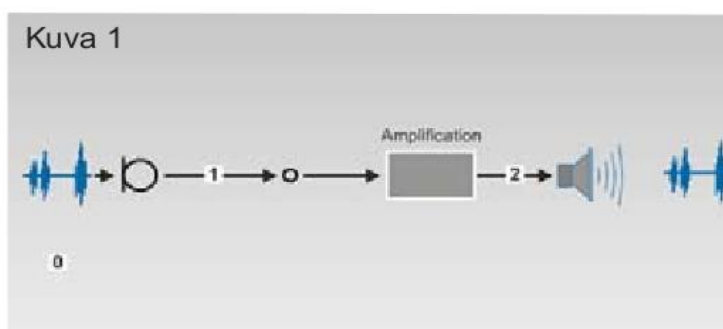
Kuulolaitteen vahvistinpiirin viat ovat usein vaikeasti havaittavia ja osa niistä koostuu kosteuden aiheuttamista korroosio-ongelmista ja pistesyöpymistä piirillevyllä, joita on vaikea havaita. Osa piirivioista on selkeästi havaittavissa suuren paristonkulutuksen kautta. Kosteuden ja korroosion yhteisvaikutuksesta syntynyt katkominen piirillä on vaikeaa havaita, mutta sitä voidaan yrittää poistaa poistamalla kosteus piiriltä pitämällä piiriä kosteudenpoistolaatikossa. Kosteudenpoistolaatikossa on Piidioksidia tai muuta kosteutta poistavaa materiaalia. Jos kuulolaitteen katkominen loppuu, on piiri syytä suojata valokovetteisella lakalla, jolla estetään kosteuden pääsy syöpymään. Katkominen usein tapahtuu kuulolaitteen lämmitessä ihoa vasten, jolloin vian havaitsemiseen voidaan käyttää erilaisia rasvattomia jäähdyttäviä kemikaaleja, joilla piirin materiaalit saadaan muuttamaan muotoaan lämmön avulla. Usein vialliselta vahvistinpiiriltä tulee

kohinaa vahvistettavaan signaaliin, joka sekoitetaan mikrofonista-, kuulokeesta- tai johdotuksesta johtuvaksi kohinaksi. Vahvistinpiirivikojen kanssa on hyvä usein huomioida nykyiset kustannukset vahvistinpiiriä vaihdettaessa, jolloin useimmiten on halvempaa vaihtaa koko kuulokoje.

4.6.4 Akustinen kierto

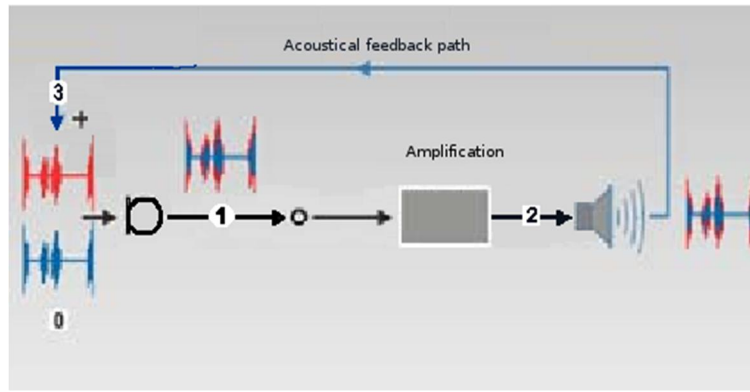
Akustinen kiero on usein ongelmana niin korvantauskuulokojeilla kuin korvakäytäväkuulokojeillakin. Kierto syntyy usein vahvoilla kuulokojeilla, jolloin vahvistettava signaali pääsee takaisin mikrofoneille ja aiheuttaa kovaäänisen vinkumisen, mikä usein on lähellä kuulolaitteen maksimiantotaso. Vinkumista voidaan yrittää estää pienentämällä tai sulkemalla korvakappaleessa tai kuorikossa olevaa ilmastointia, mikä estää takaisin pääsevän äänen määrää.

Liitteestä 7 on havaittavissa kuulolaitteen mahdollisia akustiseen kiertoon liittyviä ongelmia. Usein korvakäytävälaitteissa saattaa olla ilmastoinnissa tai kuulokeputkessa reikä, joka lyhentää mikrofonin ja kuulokkeen välistä välimatkaa ja helpottaa vinkumisherkkyyttä. Lisäksi kuulolaitteen kuorikon tai korvantauskojeen korvakappale saattaa olla liian väljä korvakäytävä osasta aiheuttaen näin vapaan ilman kanavan mikrofonin ja kuulokkeen välille. Akustista kiertoa voidaan pyrkiä estämään erilaisten kierrostojojärjestelmien avulla. Kuulokojeen akustinen kierto on kuvattu alapuolella olevan kuvasarjan kuvat 21–23 avulla, jossa käydään läpi kierron syntyminen vaiheittain ja siihen reagoiminen.



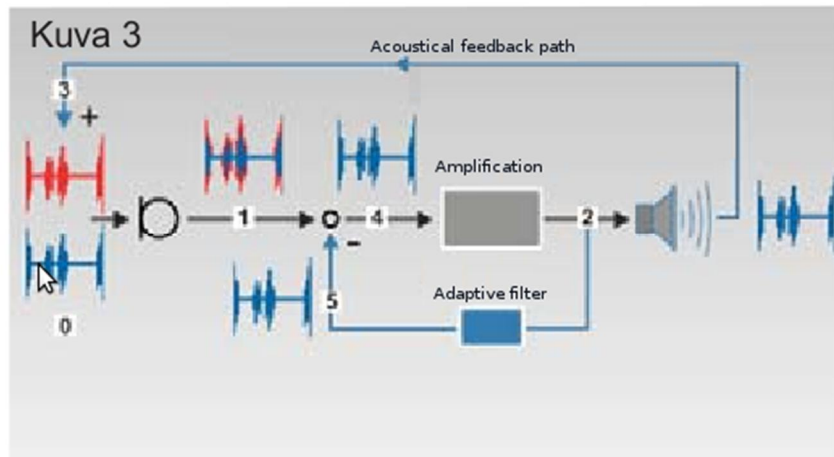
Kuva 21. Havaintokuva äänen vahvistumisesta [1]

Kuulokojeen kuulokkeen vahvistama ääni aiheuttaa takaisinkytkeytymisen, ja uusi vahvistettu signaali sisältää myös takaisinkytkettyneen äänen, jolloin akustinen kierto on syntynyt ja on nyt havaittavissa toistettavassa äänessä kiusallisena ujelluksena tai vinkumisena.



Kuva 22. Kierron syntyminen [1]

Kolmannessa kuvassa vahvistin havaitsee akustisen kierron ja poistaa vinkumisen adaptiivisen suodattimen avulla. Suodatin perustuu laskennalliseen algoritmiin.



Kuva 23. Akustisen kiertoon reagoiminen [1]

4.6.5 Yleisimmät viat kuulokojeissa ja niiden syyt

Suurin osa kuulokojeissa olevista ja huoltoon tulevista kuulokojeiden vioista johtuu kosteudesta ja kuulokojeiden puutteellisesta huollosta. Tässä tapauksessa käyttäjälle

helpompihuoltoisia kojeita ovat korvantaus kojeet johtuen niiden rakenteesta ja sijoitautumisesta. Lisäksi niissä on useimmiten irrotettava korvakappale, jonka puhdistus on helppoa ja lisää kuulolaitteen ikää. Kosteus useimmiten aiheuttaa myös korroosiota ja kontaktiongelmia, joista osa on vaikeasti havaittavia.

5 Kuulolaitteiden korjaustoiminnan ongelmakohdat

Kuulolaitteiden korjauksessa usein ongelmalliseksi osoittautuu asiakkaan ilmoittaman vian havaitseminen, jolloin ei aina voi olla varma, onko asiakkaan kuulo muuttunut radikaalisti vai onko laitteessa piilevä vika, joka ei aina ilmene heti. Kuulolaitteiden kehitys on ollut nopeaa 2000-luvulla ja kuulolaitteisiin on tullut useita eri ohjelmallisia oppivaisuus- ja laskennallisuusominaisuuksia. Niiden vaikutus kuulolaitteen toimintaan on usein epäselvää, tässä tilanteessa usein korjaajan ja audionomin tiet kohtaavat. Tällä hetkellä kuulolaitteiden ohjelmallista toimintaa ei vielä pääse seuraamaan tai testaamaan, mutta tulevaisuudessa uskoisin sen olevan mahdollista. Kuulolaitteiden niin kuin muunkin elektroniikan hinta on laskenut huomattavasti 2000-luvulla aiheuttaen usein korjaustoimintaan tilanteen, jolloin joutuu miettimään, mikä on kuulolaitteen kannalta kustannustehokasta ja milloin kuulolaitteen uusiminen on järkevää.

6 Työn aikana tapahtunut kehitys

Työn aikana on pyritty parantamaan ohjeistusta, joka liittyy kuulolaitteiden mittaukseen ja kalibrointiin, sekä parantamaan laboratoriolaitteistoa langattoman mittauksen laitteistolla ja SCAL-kalibraattorilla ja sen käyttöönotolla. Lisäksi työpisteen ESD-suojauksista on pyritty parantamaan herkkien piirilementtien ja komponenttien suojaamiseksi haitallisilta ESD-purkauksilta. Lisäksi kuulolaitteille on tehty kirjasto, josta on löydettävissä vanhempien kuulolaitteiden varaosatieidot, joita laitetoimittajat ei enää tue suojatulla nettisivuillaan. Lisäksi osasta kuulolaitteiden varaosista on tehty ristiverailu samantyyppisten kuulokojeiden kanssa, jolla on pyritty pienentämään varaston arvoa useiden eri laitteiden yhtenäisellä varaosalla. Kuulolaitteiden ja niiden korvakappaleiden korjauksessa ja valmistuksessa tarvittavista ohjeista on luotu kansio, jonka tarkoitus on helpottaa ja varmistaa oikea työvaihe korjattaessa kuulolaitteita.

Lähteet

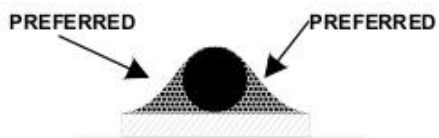
- 1 Siemens. 2006. HART Koulutus materiaali. HART Compression and Feature Overview.ppt. Kuulotekniikka Hakala Oy:n sisäinen koulutusmateriaali.
- 2 Siemens. 2006. HART Koulutus materiaali. HART Componets of HA.ppt. Kuulotekniikka Hakala Oy:n sisäinen koulutusmateriaali.
- 3 Hakala Juha. 2011. Kuulokojeiden langaton yhteys ja binauraalisen sovituksen hyödyt. e2e.pdf. Kuulotekniikka Hakala Oy:n sisäinen koulutusmateriaali.
- 4 Siemens kuulokojeiden analogiset ominaisuudet.pdf. Kuulotekniikka Hakala Oy:n sisäinen koulutusmateriaali.
- 5 S. Stern, G. Aker, C. Koep. Tekninen dokumentti. Solder and Wiring Workmanship Standards and Processes. Soldering info Qp00137-16.pdf. Kuulotekniikka Hakala Oy:n sisäinen koulutusmateriaali.
- 6 Siemens. 2007. Tuotetiedote. Lead-free soldering. Leadfree soldering.pdf. Kuulotekniikka Hakala Oy:n sisäinen koulutusmateriaali.
- 7 Juha Hakala.2007 . e2e langaton tekniikka ja tekniset ominaisuudet. e2e_2007.pdf. Kuulotekniikka Hakala Oy:n sisäinen koulutusmateriaali.
- 8 H.Ritter. 2006. SCAL- Self Calibration of multi-microphone system. SCAL Workinstruction.doc. Kuulotekniikka Hakala Oy:n sisäinen koulutusmateriaali.
- 9 T. Wojas, G. Alvarez, S. Barry, J.Pulkrabek. 2008. Tekninen dokumentti. Wireless Distance Test. MP11008-10.doc. Kuulotekniikka Hakala Oy:n sisäinen koulutusmateriaali.
- 10 Siemens. 2011. Koulutusmateriaali. Telecoil calibration.doc. Kuulotekniikka Hakala Oy:n sisäinen koulutusmateriaali.
- 11 Siemens. 2011. Koulutusmateriaali. BTE D4-D7 calibration. BTE D4-D7 calibration.ppt. Kuulotekniikka Hakala Oy:n sisäinen koulutusmateriaali.
- 12 K.Kopper, J. Nieira, M. Eichner, C. Trinh. 2008. Repair Procedure – All BTE Hearing Aids. MP50000-4 Repair Procedure.pdf. Kuulotekniikka Hakala Oy:n sisäinen koulutusmateriaali.
- 13 Lepidou Saranto. 2010. Koulutusmateriaali. C-GRID, SCAL, e2e, Leadfree soldering, Nitro. neu for IDO C-GRID.ppt. Kuulotekniikka Hakala Oy:n sisäinen koulutusmateriaali.
- 14 Lepidou Saranto. 2004. Koulutusmateriaali. ITE -manufacturing. ITE – manufacturing.ppt. Kuulotekniikka Hakala Oy:n sisäinen koulutusmateriaali.
- 15 B.Schleper, S.Barry, D.Arellano.2008. koulutusmateriaali. Repair Diagnostic. Rep Diagn D00039862_-_5.pdf. Kuulotekniikka Hakala Oy:n sisäinen koulutusmateriaali.

- 16 Siemens. 2011. Koulutusmateriaali. Working Enviroment. BTE-Repair Equipment.pdf. Kuulotekniikka Hakala Oy:n sisäinen koulutusmateriaali.
- 17 Lepidou Saranto. 2009. Seminaariesitelmä. Repair Seminar 2009. Repair Seminar 2009.ppt Kuulotekniikka Hakala Oy:n sisäinen koulutusmateriaali.
- 18 Siemens.2005. Huoltodokumentti. Service Document. Artis S.pdf. Kuulotekniikka Hakala Oy:n sisäinen huoltomateriaali.
- 19 Siemens.2010. Koulutusmateriaali. D00086365_Motion301-101_rev1.pdf. Kuulotekniikka Hakala Oy:n sisäinen koulutusmateriaali.
- 20 Siemens.2008. Koulutusmateriaali. D00051351_1_Pure-700_Pure-500_Training.ppt. Kuulotekniikka Hakala Oy:n sisäinen koulutusmateriaali.
- 21 Siemens.2008. Koulutusmateriaali.Soldering info,Qp00137-16.pdf. Kuulotekniikka Hakala Oy:n sisäinen koulutusmateriaali.

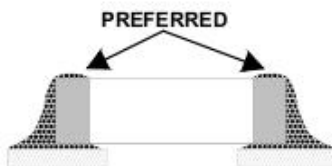
Juotosvirheet 1

Juotosten ongelmakohtat [21]

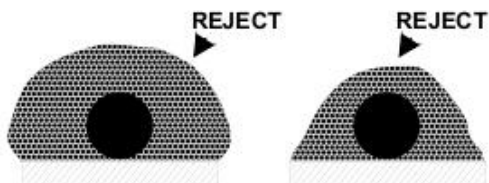
Solder Defects



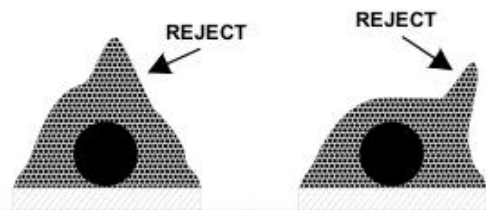
PREFERRED SOLDER CONNECTIONS



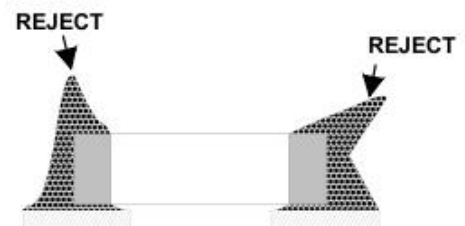
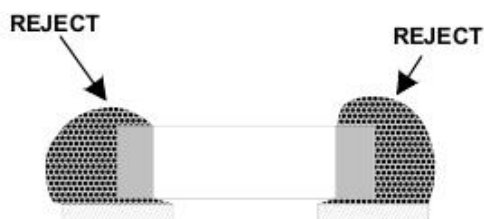
TOO LITTLE SOLDER



TOO MUCH SOLDER



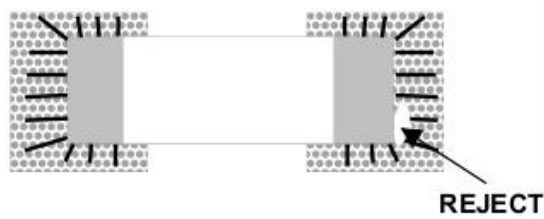
SOLDER SPIKE



Juotosvirheet 2

Juotosten ongelmakohtat [21]

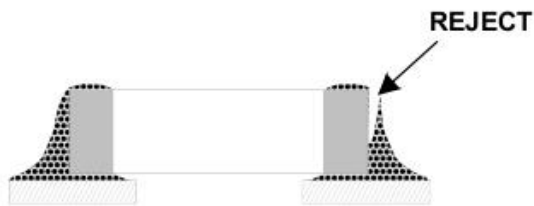
Solder Defects



SOLDER VOID



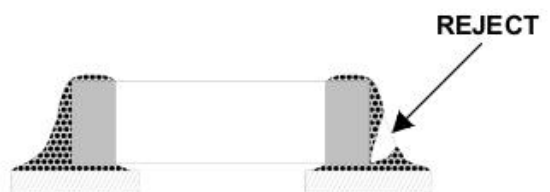
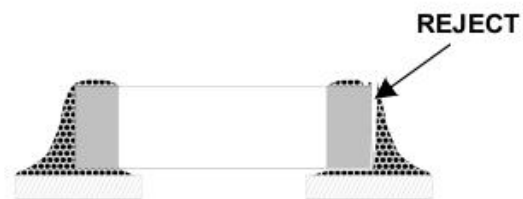
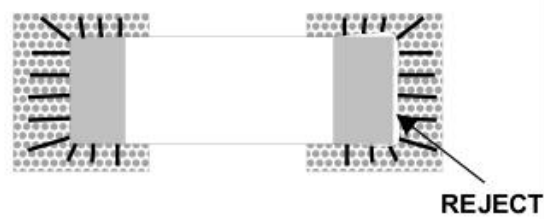
COLD SOLDER



CRACKED SOLDER



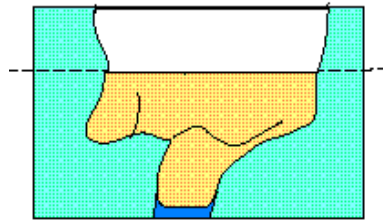
LARGE BLOW HOLE



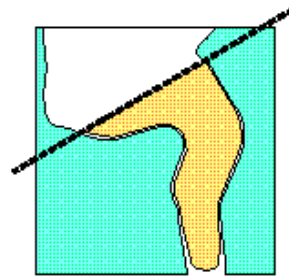
Kuorikkomallit

Kuorikkomallit ja korvakäytävämallin pituus. [14]

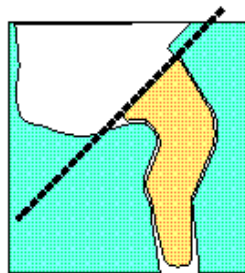
IT



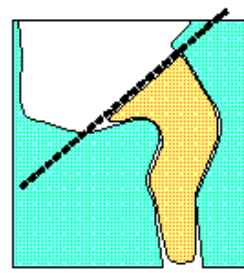
IT



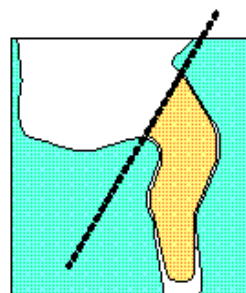
CS



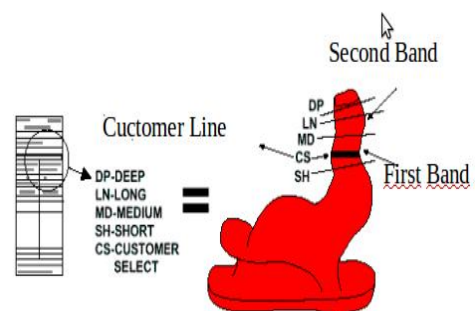
CT



CIC

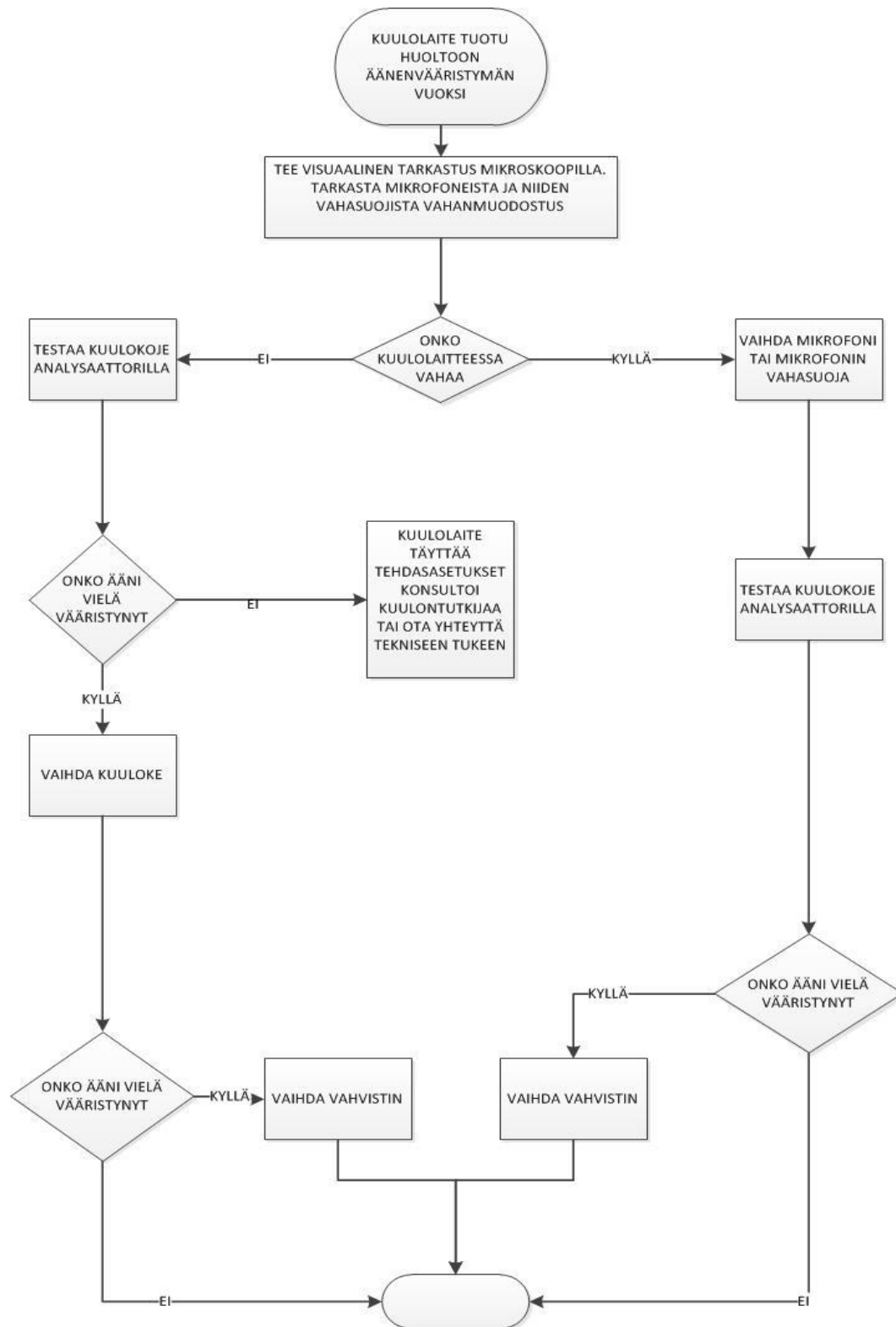


Korvakäytävän pituus mallissa



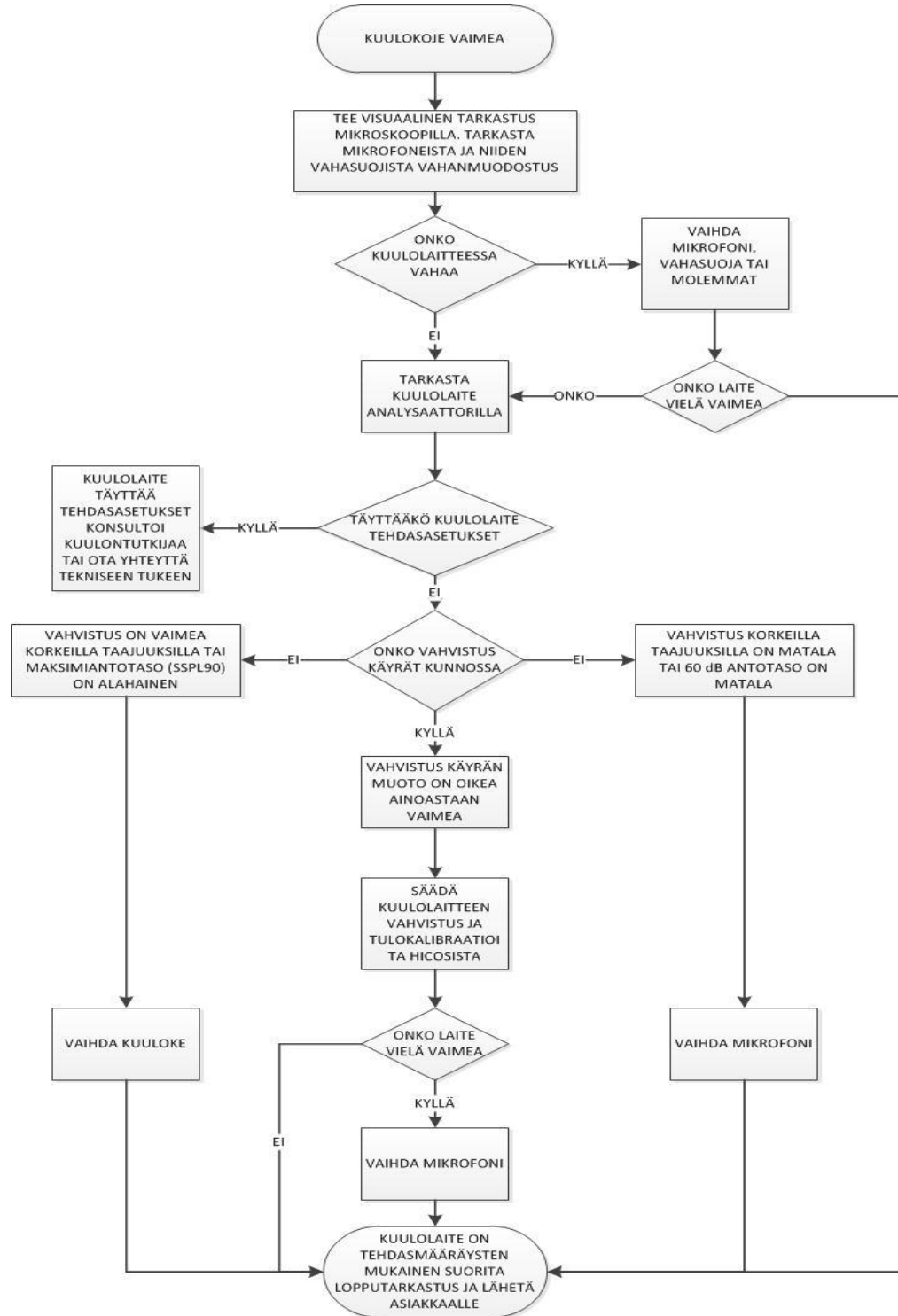
Vianhaku 2

Äänen vääristymän selvittäminen



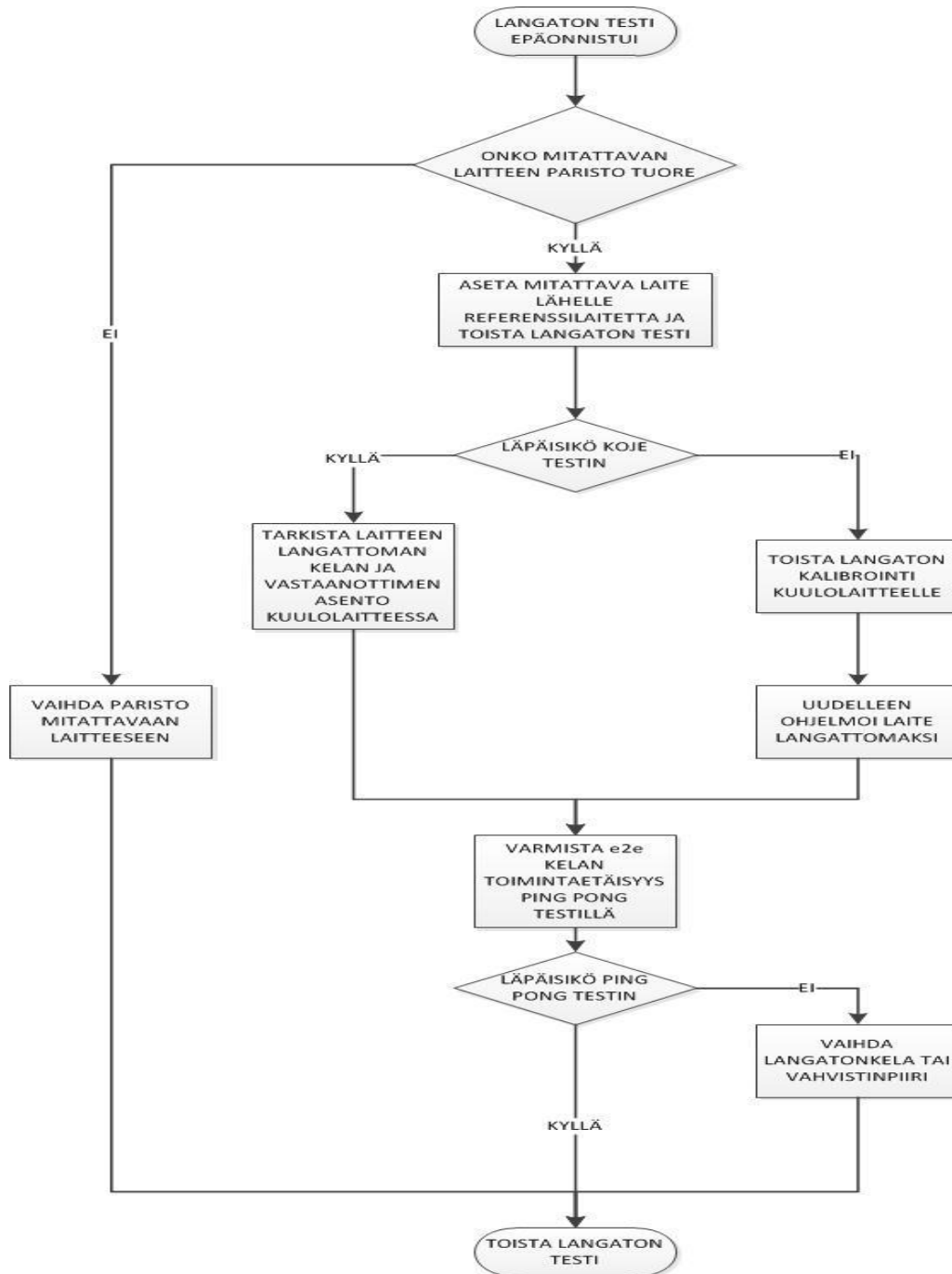
Vianhaku 3

Vaimaan kuulokojeen vian selvitys



Vianhaku 4

Langattoman yhteyden tarkastus



Akustisen kierron syyt

Akustisen kierron testaus ITE-kojeissa

