

Mika Huotari

**ANALOGISEN PUHELINTEKNIIKAN MITTAUKSET**

Insinöörityö  
Kajaanin ammattikorkeakoulu  
Tekniikan ja liikenteen ala  
Tietotekniikka  
Kevät 2008



**Kajaanin  
ammattikorkeakoulu**

## OPINNÄYTETYÖ TIIVISTELMÄ

|  |   |
|--|---|
| Koulutusala<br>Tekniikan ja liikenteen ala   | Koulutusohjelma<br>Tietotekniikka   |
| Tekijä(t)<br>Mika Huotari  |   |
| Työn nimi<br>Analogisen puhelintekniikan mittaukset  |   |
| Vaihtoehtoiset ammattiopinnot<br>Langaton tiedonsiirto   | Ohjaaja(t)<br>Jukka Heino<br>Toimeksiantaja<br>Jukka Heino  |
| Aika<br>Kevät 2008   | Sivumäärä ja liitteet<br>21   |
| <p>Insinööriyön aiheena oli analogisen puhelintekniikan mittaukset. Työssä tehtiin ETSI:n ja ITU:n suosituksiin ja standardeihin perustuvia mittauksia. Työssä rakennettiin mittauskytkennät ja suoritettiin mittaukset, jonka jälkeen mittaustulokset analysoitiin. Mittaukset tehtiin Ericssonin lankapuhelinmalleille Diavox ja Dialog.</p> <p>Heijastusvaimennusmittauksessa mitattiin päätelaitteen impedanssin ottaman ja takaisin heijastavan tehon suhdetta. Mittaus mittaa päätelaitteen impedanssisovitusta puhelinverkkoon.</p> <p>Yhteismuotoisten häiriöiden mittauksessa päätelaitteen molempiin napoihin syötettiin häiriöjännite ja mitattiin päätelaitteen kykyä vaimentaa häiriöitä.</p> <p>Taajuusvastemittauksessa mitattiin päätelaitteen kykyä toistaa eritaajuisia signaaleja. Mittaus toteutettiin kahdella eri tavalla. Ensimmäisessä mittauksessa taajuusvaste mitattiin suoraan kuulokkeesta äänenpainemittarin avulla. Mittaus toistettiin, ja kuuloke korvattiin 600 <math>\Omega</math>:n vastuksella, jonka yli oleva jännite mitattiin.</p> <p>Mittaustulosten käsittelyssä laskettiin saatujen mittauservojen avulla mittaustulokset ja piirrettiin kuvaajat. Tulosten käsittelyssä otettiin huomioon taajuusvastemittauksessa tapahtuneet virheet ja laskettiin tulokset virherajoiheen.</p> <p>Insinööriyössä oppi erityisesti hakemaan tietoa puhelintekniikan standardeista ja suosituksista. Insinööriyössä käytettiin kansainvälisiä standardeja, koska Suomessa käytössä olevat standardit perustuvat suoraan kansainvälisiin standardeihin. Mittauksista saadut tulokset olivat järkeviä.</p> |   |
| Kieli  | Suomi   |
| Asiasanat  | Analoginen puhelin, mittaustekniikka  |
| Säilytyspaikka   | <input type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun Kaktus-tietokanta<br><input type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto |

|   |  |
|---|--|
| School<br>School of Engineering   | Degree Programme<br>Information Technology   |
| Author(s)<br>Mika Huotari   |  |
| Title<br>The Measurements of the Analog Telephone Terminal  |  |
| Optional Professional Studies<br>Wireless Data Transmission   | Instructor(s)<br>Jukka Heino   |
|   | Commissioned by<br>Jukka Heino   |
| Date<br>Spring 2008   | Total Number of Pages and Appendices<br>21   |
| <p>The purpose of this Bachelor's thesis was to study analog telephone technology measurements. The measurements are based on the ETSI and ITU specified standards and recommendations. The thesis consists of three phases: building a measurement circuit, taking the measurements and the analysis of the measured data. The measurements were done with Ericsson's telephone models Diavox and Dialog.</p> <p>The return loss measurement expresses terminal equipment impedances. Return loss is the ratio of the magnitude of the reflected power from the terminal equipment impedance divided by the magnitude of the incident power. The return loss measures the matching of the impedances of the terminal equipment and the telephone network.</p> <p>In the longitudinal conversion loss measurement, both terminal equipment connectors were supplied with the same magnitude of the error voltage. Longitudinal conversion measures the ability of the terminal equipment to damp common mode interferences.</p> <p>The purpose of the frequency response measurement was to measure the ability of the terminal equipment to repeat different frequencies. Two different methods were used in measuring frequency response. At first, frequency response was measured directly from the telephone speaker. In the second phase the speaker was replaced with the 600 <math>\Omega</math> resistor and the voltage was measured over the resistor.</p> <p>The measured data was analyzed. The measurement results were calculated and the graphs were drawn on the basis of the measured data. Measuring errors were taken into consideration and the measurement results were also calculated with error limits.</p> <p>The thesis taught especially how to find information on telephone technology standards and recommendations. Because the Finnish regulations are based on the international standards, the international standards were used in this thesis. The results of the measurements were rational</p> |  |
| Language of Thesis  | Finnish  |
| Keywords  | Analog telephone, Measuring technology   |
| Deposited at  | <input type="checkbox"/> Kaktus Database at Kajaani University of Applied Sciences<br><input type="checkbox"/> Library of Kajaani University of Applied Sciences |

## SISÄLLYS

|   |    |
|---|----|
| 1 JOHDANTO                                | 1  |
| 2 METROLOGIA                              | 2  |
| 3 MITTAUSVIRHEET                          | 3  |
| 4 ANALOGISEN PUHELINTEKNIIKAN MITTAUKSET  | 5  |
| 4.1 Komponentit                           | 6  |
| 4.2 Taajuusvaste                          | 7  |
| 4.3 Heijastusvaimennus                    | 10 |
| 4.4 Yhteismuotoisten häiriöiden vaimennus | 12 |
| 5 MITTAUSTULOSTEN KÄSITTELY               | 15 |
| 5.1 Virheiden arviointi                   | 15 |
| 5.2 Mittauksen luotettavuuden arviointi   | 16 |
| 5.3 Tulokset virherajoiheen               | 17 |
| 6 MITTAUSTULOSTEN YHTEENVETO              | 18 |
| 6.1 Taajuusvastemittaus                   | 18 |
| 6.2 Heijastusvaimennus                    | 18 |
| 6.3 Yhteismuotoisten häiriöiden vaimennus | 18 |
| 7 YHTEENVETO                              | 20 |
| LÄHTEET                                   | 21 |

## 1 JOHDANTO

Insinööriyön tarkoituksena oli tutustua analogisen puhelintekniikan mittauksiin ja mittaustekniikkaan. Työssä oli tarkoituksena mitata eri päätelaitteita ja käyttää tilastollisia menetelmiä mittaustulosten virheiden arviointiin.

Mittauksissa työhön kuuluu myös mittauskytkentöjen rakentaminen ja mittaustulosten tallentaminen analysointia varten. Mittaukset suoritettiin Kajaanin ammattikorkeakoulun laboratoriossa. Mittaustekniikkaan kuuluvat mittausten analysointi, virheiden arviointi sekä mittaustulosten käsittely.

Työssä tehdyt yhteismuotoisten häiriöiden vaimennus- ja heijastusvaimennusmittaukset ovat ETSI:n (The European Telecommunications Standards Institute) ja ITU:n (The International Telecommunication Union) standardeihin ja suosituksiin kuuluvia mittauksia.

## 2 METROLOGIA

Seuraavassa asiakokonaisuudessa on käytetty lähteenä Mittaussignaalien käsittely-oppikirjaa [1].

Metrologia kuvaa mittaustieteen kokonaisuutta, johon kuuluvat suureet, mittayksiköt, mittaukset ja mittaustulosten käsittely.

Mittaussignaalilla kuvataan fysikaalista suuretta, jolla siirretään mittaustieto anturilta mittalaitteeseen käsiteltäväksi. Elektroniikan mittauksissa signaali on yleensä aika, ja amplitudi jatkuva, jännite tai virtasignaali. Mittaussignaali vaatii käsittelemistä, jotta haluttu informaatio saadaan luettavaan muotoon. Signaalin käsittelyssä signaalia voidaan esimerkiksi vahvistaa, muuttaa analogisesta digitaaliseen muotoon tai vähentää signaalista pois ei-haluttuja häiriökomponentteja.

Mittausinformaation käsittelyssä voidaan yksinkertaisimmillaan tarkastella yhden suureen mittausta. Mitattavasta suuresta voidaan ottaa useita näytearvoja ja laskea mitatuista näytearvoista keskiarvo. Keskiarvosta käytetään myös nimitystä odotusarvo. Näytearvojen vaihtelun voimakkuutta mitataan laskemalla mitattujen mittaustulosten keskihajonta. Keskihajonnan avulla voidaan määrittää alue, jolla mitatun suureen arvo tietyllä todennäköisyydellä on, edellyttäen että mittaukseen ei sisälly systemaattista virhettä.

Mittauksiin vaikuttavat ulkoiset tekijät on otettava huomioon, kun mittaustuloksia käsitellään. Ulkoisia tekijöitä ovat esimerkiksi lämpötila, sähkömagneettiset häiriöt ja taustamelu, jotka aiheuttavat virheitä mittaustuloksiin. Esimerkiksi äänenpainemittauksessa taustamelu aiheuttaa virhettä mittaustuloksiin vain pienillä äänenpainetasoilla.

Mittalaitteen virheitä ovat yleensä epälineaarisuus, ryömintä, digitaalisissa mittalaitteissa a/d-muunnoksessa tapahtuva kvantisointivirhe sekä lämpötilan vaikutukset mittalaitteeseen. Mittalaitteiden kalibrointi on myös erittäin tärkeää, sillä ajan myötä mittalaitteiden tarkkuus huonontuu. Mittalaitteesta johtuvat virheet eli epätarkkuudet ilmoitetaan mittaustulosten yhteydessä ja otetaan huomioon mittaustulosten käsittelyssä.

### 3 MITTAUSVIRHEET

Seuraavassa asiakokonaisuudessa on käytetty lähteenä Mittaussignaalien käsittely-oppikirjaa [1].

Mittauksiin kuulu aina tietty epävarmuus eli virhe, joka koostuu useista tekijöistä. Niitä ovat esimerkiksi mittalaitteesta, ympäristöstä, mittaushetkestä ja mittauksen suorittajasta johtuvat virheet.

Virheet voidaan ryhmitellä kolmeen eri luokkaan: karkeisiin, systemaattisiin ja satunnaisvirheisiin.

Karkeisiin virheisiin voidaan lukea ne virheet, jotka ovat yleensä helposti havaittavissa ja korjattavissa. Karkeita virheitä ovat esimerkiksi asteikon väärä lukeminen, hetkelliset häiriöt ja väärät mittaustavat.

Systemaattisella virheellä tarkoitetaan esimerkiksi tilannetta, jossa mittauksesta saadut näytearvot poikkeavat vähän toisistaan, mutta näytearvojen keskiarvo poikkeaa paljon todellisesta arvosta. Systemaattisia virheitä ovat mm. mittalaitteen ryömintä, näytteenotto- ja olosuhteiden muutoksista johtuvat virheet. Systemaattisia virheitä voidaan arvioida estimoinnilla.

Satunnaisvirheellä tarkoitetaan tilastollista virhettä, joka syntyy mitattaessa yhtä suuretta usean näytearvon perusteella. Näytearvoja voi olla esimerkiksi 10 kappaletta, jolloin osa arvoista poikkeaa huomattavan paljon toisistaan. Arvojen vaihtelu johtuu häiriötekijöistä, joita voi olla monia. Satunnaisvirhettä pienennetään laskemalla mitatuille arvoille keskiarvo ja jättämällä pois mittaustulokset, jotka poikkeavat liian paljon keskiarvosta. Mittausarvojen vaihtelujen voimakkuutta arvioidaan laskemalla mitatuille arvoille keskihajonta.

Mittausvirheen korjaaminen merkitsee informaation lisäämistä mittaustulokseen tai mittaussignaaliin. Lisättävä informaatio saadaan mittausmenetelmästä, mittauslaitteista, mitattavasta ilmiöstä, hitaasti muuttuvista vaikutussuureista sekä häiriöistä.

Estimoinnin avulla saadaan tuntemattomille parametreille numeeriset arviot käytettävissä olevilla näytearvoilla. Estimoinnissa käytettävää laskentamenetelmää kutsutaan estimaattoriksi ja laskentamenetelmästä saatua arvoa estimaatiksi. Estimaatin luotettavuutta voidaan arvioida esimerkiksi laskemalla keskihajonta, varianssi ja variaatiokerroin.

Mittaustuloksista laskettava keskiarvo on odotusarvon estimaattori ja laskettu numeerinen keskiarvon odotusarvon estimaatti. Keskiarvo ei ota huomioon systemaattista virhettä, mutta sen keskihajonta on pienempi kuin yksittäisen mittaustuloksen.

Keskihajonnan avulla lasketaan mittaustulosten keskimääräinen poikkeama mittaustulosten odotusarvosta ja mittaustulosten luotettavuusväli. Keskihajonta mittaa mittaustulosten ryhmittymistä mittaustulosten keskiarvon ympärille.

Mittausvirheen tilastollisia ominaisuuksia kuvataan jakautumalla. Yleisimmät käytetyt jakaumat ovat tiheys- ja kertymäjakauma. Normaalijakauma on todennäköisyysjakauma, jota kutsutaan myös Gaussin jakaumaksi. Useat reaali maailman satunnaismuuttujat noudattavat normaalijakaumaa. Normaalijakauman tiheysfunktion laskemiseen käytetään keskiarvoa ja keskihajontaa. Tiheysfunktio kuvaa esimerkiksi tietyn signaalin esiintymätodennäköisyyttä tietyllä amplitudialueella.



#### 4 ANALOGISEN PUHELINTEKNIIKAN MITTAUKSET

Suomessa käytössä olevat analogisen puhelintekniikan vaatimukset perustuvat kansainvälisiin standardeihin ja niissä annettuihin suosituksiin. Mittaukset tehtiin ETSI:n ja ITU:n standardien ja suositusten pohjalta. Yhteismuotoisten häiriöiden vaimennus- ja heijastusvaimennus- mittaukset tehtiin standardissa ETSI EN 300 450 [2] annettujen suositusten pohjalta.

Mittauksissa päätelaitteina käytettiin Ericssonin lankapuhelinmalleja Dialog ja Diavox.

Yhteismuotoisten häiriöiden vaimennusmittauksessa päätelaitteen molempiin napoihin vaikuttaa samansuuruinen häiriöjännite. Päätelaitteen symmetrisyys vaikuttaa laitteen kykyyn vaimentaa yhteismuotoisia häiriöitä. Esimerkiksi puhelinverkoissa voi syntyä useiden kymmenien volttien suuruisia yhteismuotoisia häiriösignaaleja, jotka vaikuttavat päätelaitteen toimintaan.

Heijastusvaimennusmittauksessa mitattiin päätelaitteen impedanssin ottamaa ja takaisin heijastavaa jännitettä. Mittaustulokset ilmoitetaan impedanssiin menevien ja heijastuvien jännitteiden suhteena, joka ilmoitetaan desibeleinä.

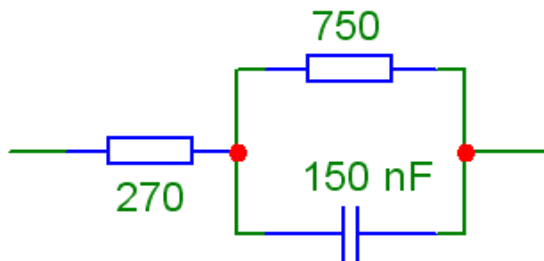
Taajuusvastemittauksessa mitataan päätelaitteen kykyä päästää läpi eri taajuuksia. Mittauksessa päätelaitteen napoihin syötettiin signaalia ja ulostuleva signaali mitattiin kuulokkeen kautta äänenpainemittarilla. Mittaus toistettiin vaihtamalla kuulokkeen tilalle 600  $\Omega$ :n vastus, ja mitattiin vastuksen yli muodostuva jännite. Vastuksen avulla pienennettiin taustamelusta johtuvia virheitä ja kuulokkeesta johtuvia rajoituksia taajuuden suhteen.

#### 4.1 Komponentit

Mittauskytkennöissä tarvittiin ulkoisia sähköisiä komponentteja mittausten suorittamiseksi.

Käyttöjännite syötettiin mittauksissa kuristimien läpi, joilla simuloitiin puhelinkeskuksesta syötettävää käyttöjännitettä. Kuristimina käytettiin verkkomuuntajien ensiökäämiä, jonka induktanssi on noin 25 H.

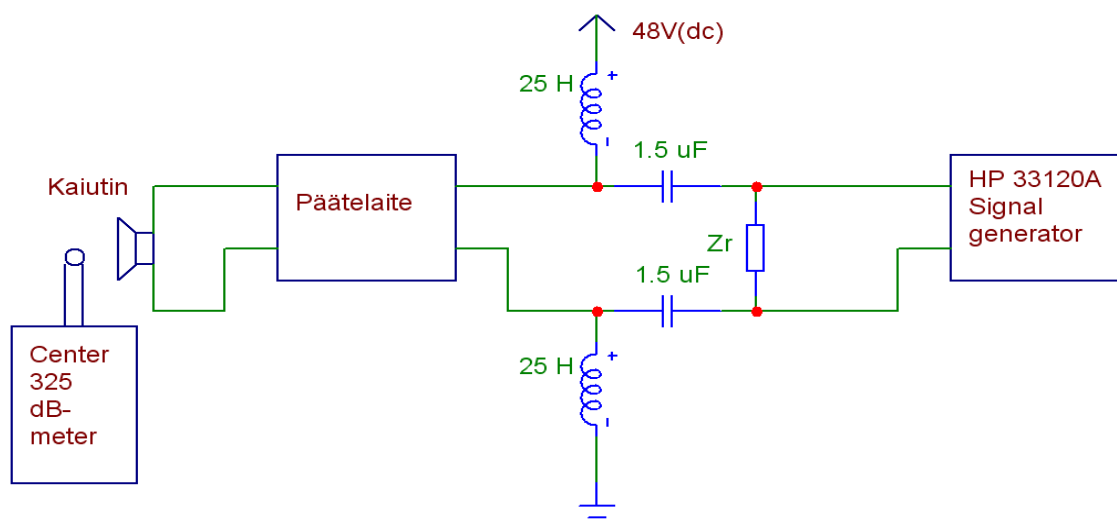
Mittauksissa tarvittiin referenssi-impedanssia  $Z_r$ , jotta päätelaite saadaan terminoitua oikein. Referenssi-impedanssi muodostetaan kuvan 1 osoittamalla tavalla. Mittauksissa käytettävä impedanssi muodostetaan kytkemällä 270  $\Omega$ :n vastus sarjaan 750  $\Omega$ :n vastuksen ja 150 nF:n kondensaattorin rinnakkaiskytkentään. Referenssi-impedanssin heijastusvaimennus on oltava suurempi kuin 40 dB 300–4000 Hz taajuusalueella.



Kuva 1. Referenssi-impedanssi.

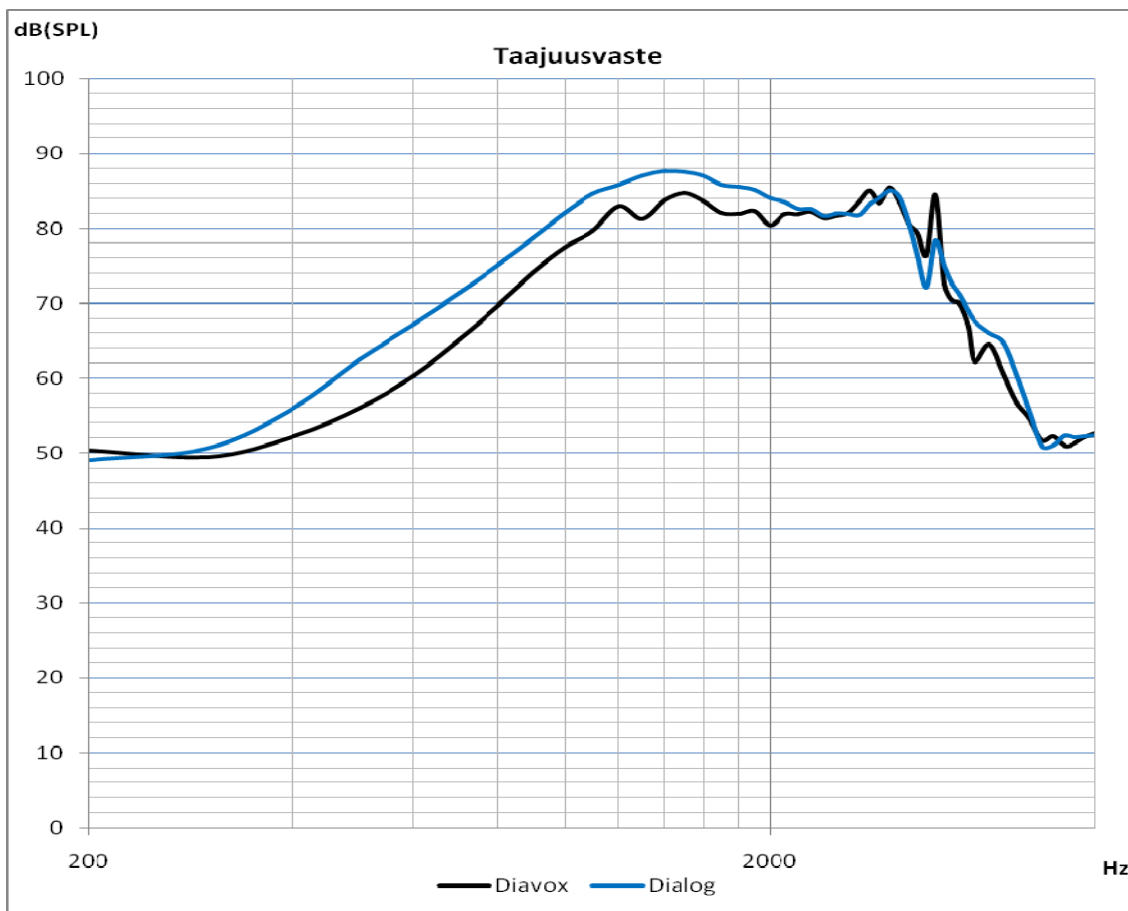
## 4.2 Taajuusvaste

Taajuusvastemittaus tehtiin kuvan 2 osoittamalla tavalla. Mittauksen aikana taustamelu aiheutti virhettä mittauksiin.



Kuva 2. Taajuusvastemittaus.

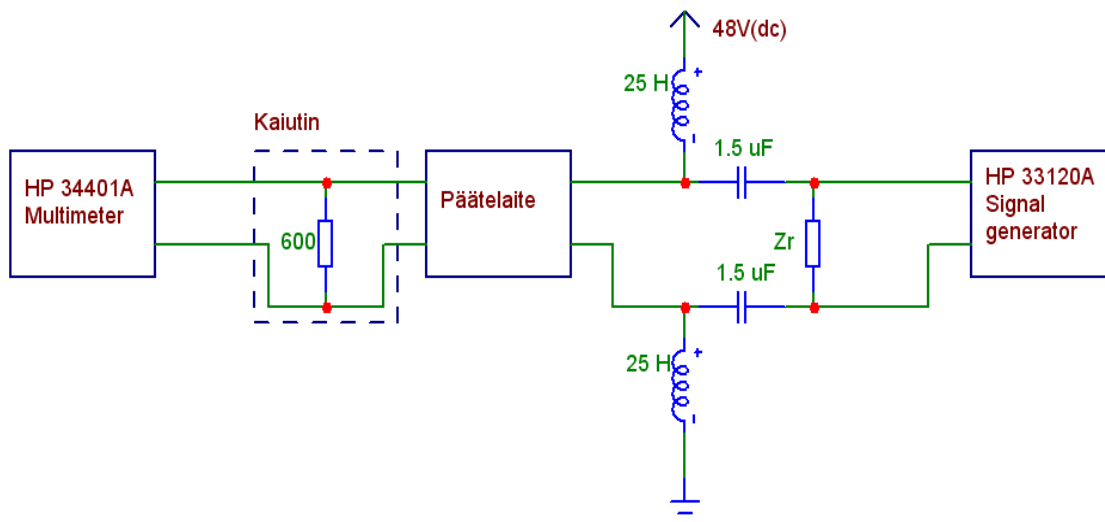
Mittauksesta saatujen tulosten perusteella piirrettiin kuvaaja (kuva 3), jossa on esitetty kuulokkeesta mitattu äänenpaine taajuuden suhteen. Mittausten aikana taustamelu oli n. 48 dB.



Kuva 3. Taajuvastemittauksen tulokset.

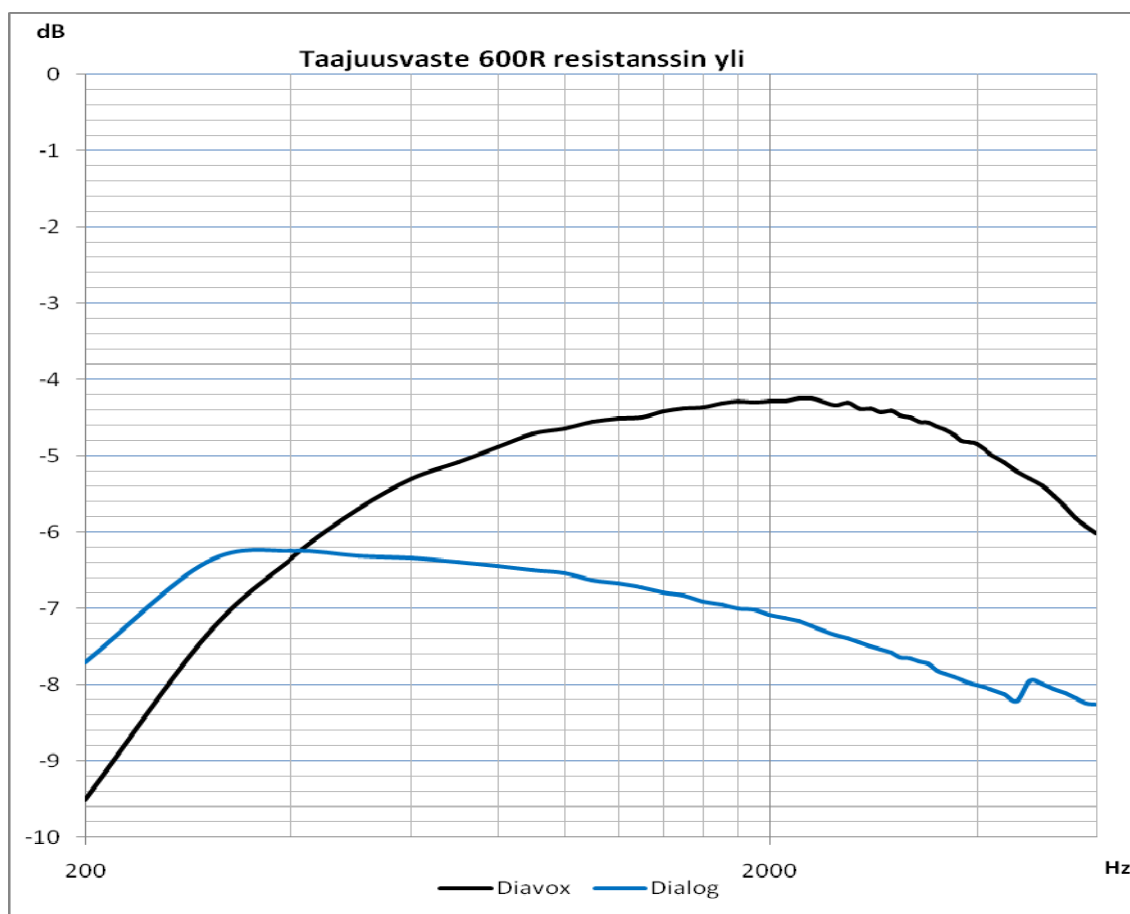
Molemmissa puhelinmalleissa mittauksessa huomattiin selvä muutos 3500 Hz:n kohdalla. Muutos näkyy kuvaajissa selvänä piikkinä.

Taajuusvastemittaus toistettiin uudelleen ja kuuloke korvattiin 600  $\Omega$ :n vastuksella. Mittauksessa mitattiin vastuksen yli olevaa jännitettä tehollisarvoa mittaavalla yleismittarilla. Mittauskytkentä on kuvassa 4.



Kuva 4. Taajuuvastemittaus toistettuna, kuuloke korvattu vastuksella.

Mittaustuloksista piirrettiin kuvaaja (kuva 5), jossa on esitetty signaaligeneraattorista syötetyn jännitteen ja vastuksen yli mitatun jännitteen suhde desibeleinä.



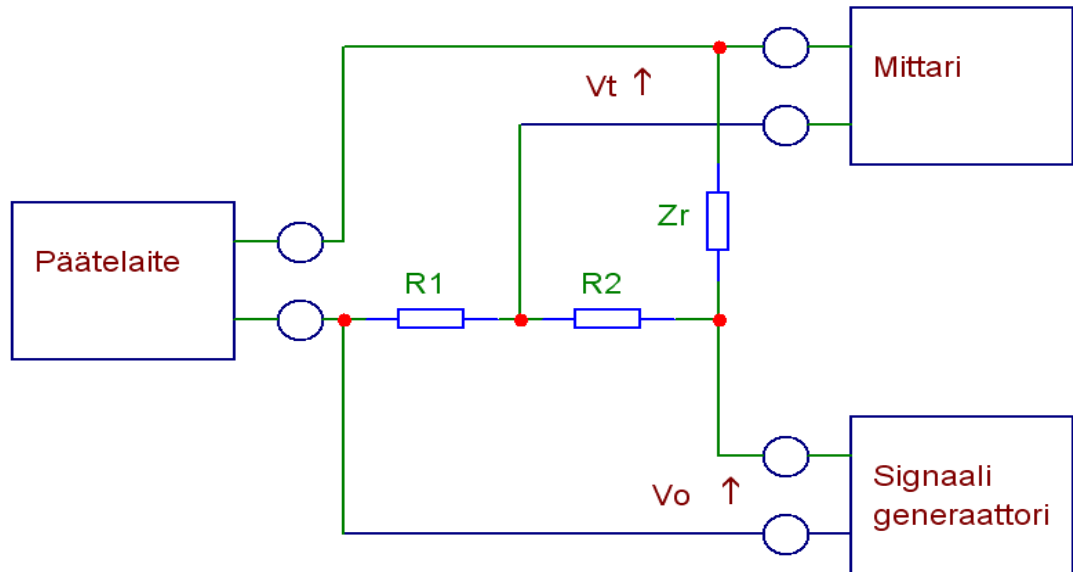
Kuva 5. Taajuuvastemittauksen tulokset (kuuloke korvattu vastuksella).

Toistetussa mittauksessa huomattiin, että kuvan 4 ja kuvan 5 kuvaajat ovat Diavox-puhelinmallin osalta samankaltaiset. Resonanssiipiikki 3500 Hz:n kohdalla on poistunut, kun mittauksessa kuuloke korvattiin vastuksella. Verrattaessa mittauksia toisiinsa huomataan, että vastuksella toteutetussa mittauksessa mittaustulosten vaihtelu on pienempää kuin kuulokkeesta mitatun taajuusvasteen mittauksessa. Mittaustulosten eroa voidaan selittää kuulokkeen asettamista taajuusvasterajoituksista mittaukselle. Tuloksista voidaankin päätellä, että 3500 Hz:n kohdalla oleva piikki johtuu todennäköisesti päätelaitteiden sähköisiä ominaisuuksista eikä mittaustavasta.

### 4.3 Heijastusvaimennus

Heijastusvaimennus mitattiin kuvan 6 mukaisella kytkennällä. Kytkennässä päätelaite ja signaaligeneraattori on erotettu toisistaan galvaanisesti linjasovitusmuuntajilla. Herätesignaali on sinimuotoinen signaali vakiojännitteellä, joka syötetään linjasovitusmuuntajan kautta mittauskytkentään. Mittauksessa herätesignaalin taajuutta muutetaan kolmannesosa oktaavin välein taajuusalueella 300–3400 Hz.

Jännitteet  $V_t$  ja  $V_o$  mitataan käyttämällä tarkoitukseen sopivaa suuri-impedanssista mittalaitetta kuvan 6 osoittamista pisteistä.



Kuva 6. Heijastusvaimennusmittaus,  $R1 = R2 = 299 \Omega$ .

Heijastusvaimennus lasketaan herätesignaalin  $V_o$ :n ja päätelaitteesta takaisin heijastuvan  $V_t$ :n avulla (kaava 1).

Heijastusvaimennus  $a$

$$a = 20 \log \left| \frac{V_o}{2V_t} \right| \text{dB} \quad (1)$$

missä

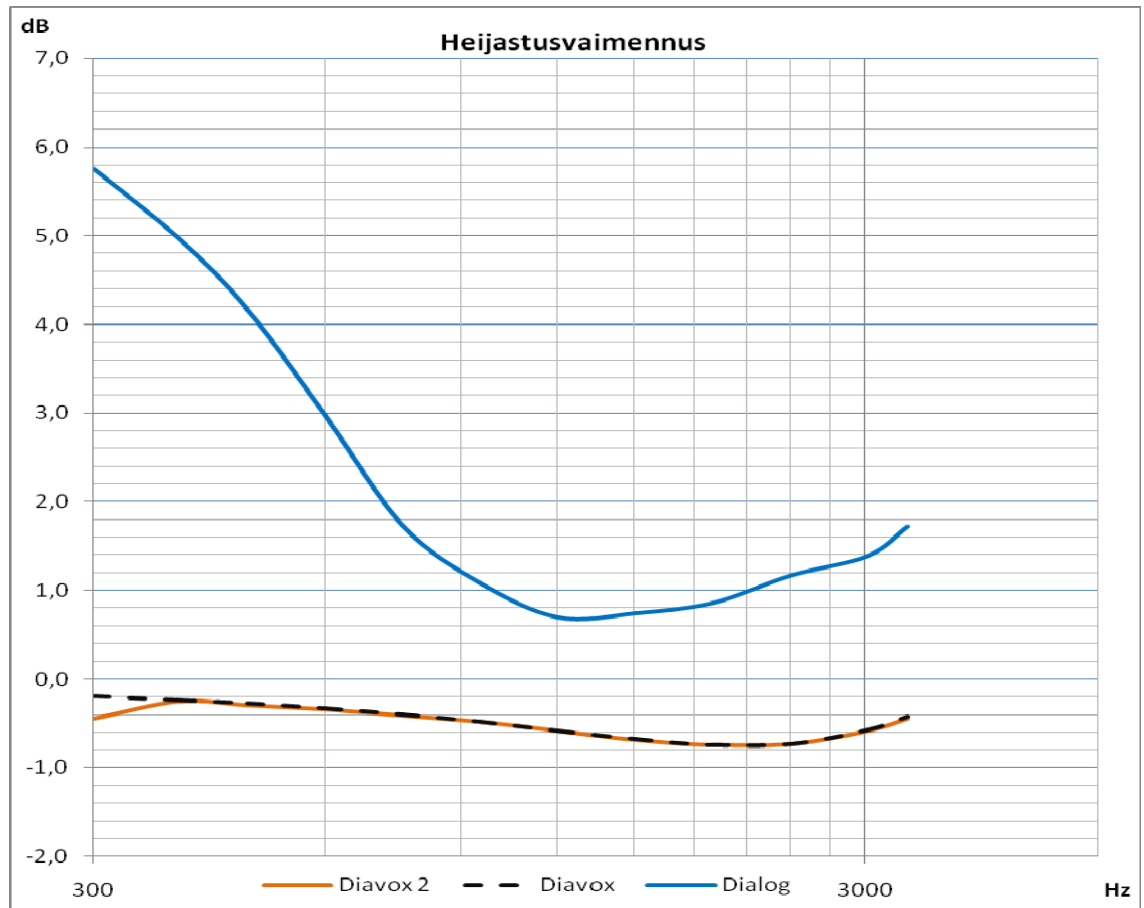
$V_o$

on herätesignaalin jännite, ja

$V_t$

takaisin heijastuva jännite.

Mittauksesta saatujen tulosten avulla laskettiin kaavalla 1 heijastusvaimennus ja piirrettiin kuvaaja (kuva 7).



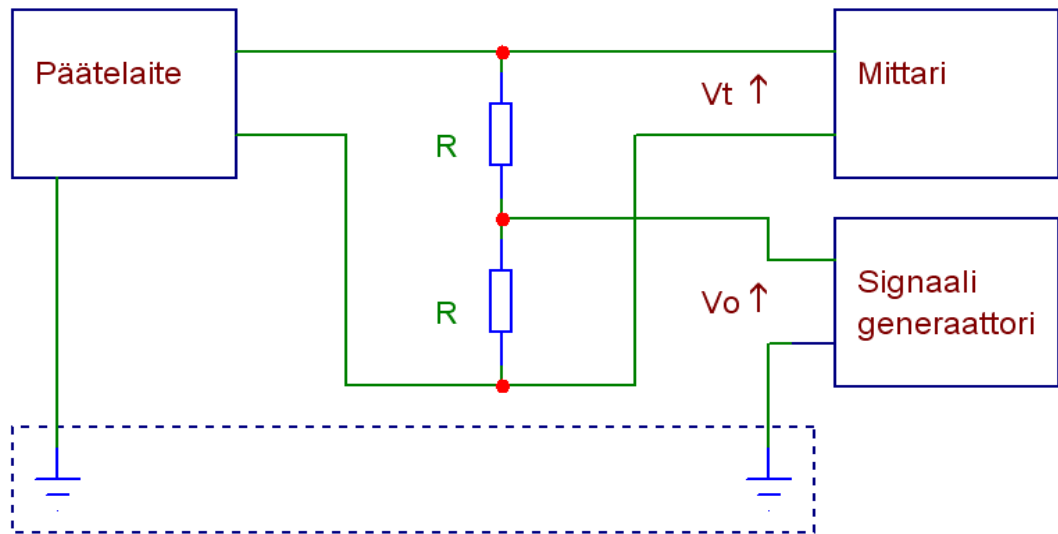
Kuva 7. Heijastusvaimennusmittausten tulokset.

#### 4.4 Yhteismuotoisten häiriöiden vaimennus

Yhteismuotoinen häiriö tarkoittaa tilannetta, jossa päätelaitteen molempiin napoihin syntyy samansuuruinen jännite. Testi perustuu ITU-T:n antamaan suositukseen O.9 [3].

Mittauksessa signaaligeneraattorilla syötetään sinimuotoista signaalia 300–3600 Hz:n taajuusalueella, ja herätesignaalin taso pidetään vakiona 775 mVrms. Signaaligeneraattori ja päätelaite kytketään kuvan 8 osoittamalla tavalla yhteiseen referenssipisteeseen. Mittauksessa päätelaite asetettiin piirilevyn päälle, joka maadoitettiin yhteiseen pisteeseen signaaligeneraattorin kanssa.





Kuva 8. Yhteismuotoisten häiriöiden mittauskytkentä.

Yhteismuotoisten häiriöiden vaimennus lasketaan signaaligeneraattorista syötetyn herätesignaalin  $V_t$ :n ja päätelaitteen napoihin syntyvän jännitteen  $V_o$ :n avulla (kaava 2).

$$\text{Yhteismuotoisten häiriöiden vaimennus} = 20 \log \left| \frac{V_o}{V_t} \right| \text{dB} \quad (2)$$

missä

$V_o$

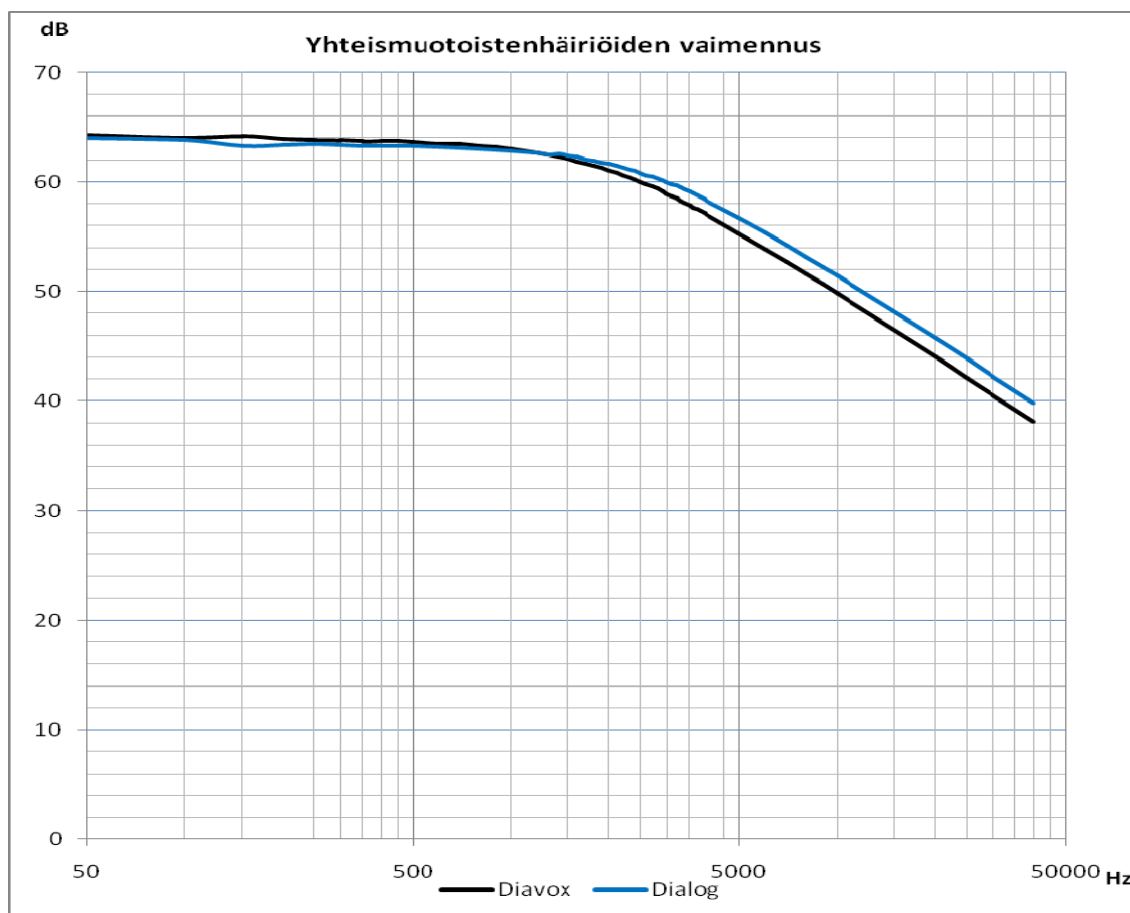
yhteismuotoinen häiriöjännite

ja

$V_t$

herätesignaali.

Mittauksessa tehtiin ylimääräisiä mittauksia taajuusalueen molemmin puolin, jotta kuvaajista tulisi selvempiä. Mittauksesta saatujen tulosten avulla laskettiin kaavalla 2 yhteismuotoisten häiriöiden vaimennus ja piirrettiin kuvaaja (kuva 9).



Kuva 9. Yhteismuotoisten häiriöiden vaimennusmittausten tulokset.

Mittaustuloksista voidaan huomata kuvasta 9, että molempien puhelinmallien yhteismuotoisten häiriöiden vaimennuskäyrät ovat samankaltaiset. Mittaustuloksissa ei ole huomattavissa suuria poikkeamia tai muita häiriöitä.

## 5 MITTAUSTULOSTEN KÄSITTELY

### 5.1 Virheiden arviointi

Mittaustuloksiin vaikuttivat mittauksen aikana ympäristön taustamelu, äänenpainemittarin asettelu ja mittarin resoluutio. Taajuusvastemittauksessa mitattu äänenpaine kuulokkeesta oli pienimmillään 49 dB(SPL) ja suurimmillaan 89 dB(SPL). Mittauksissa käytetyn äänenpainemittarin resoluutio on 0,1 dB.

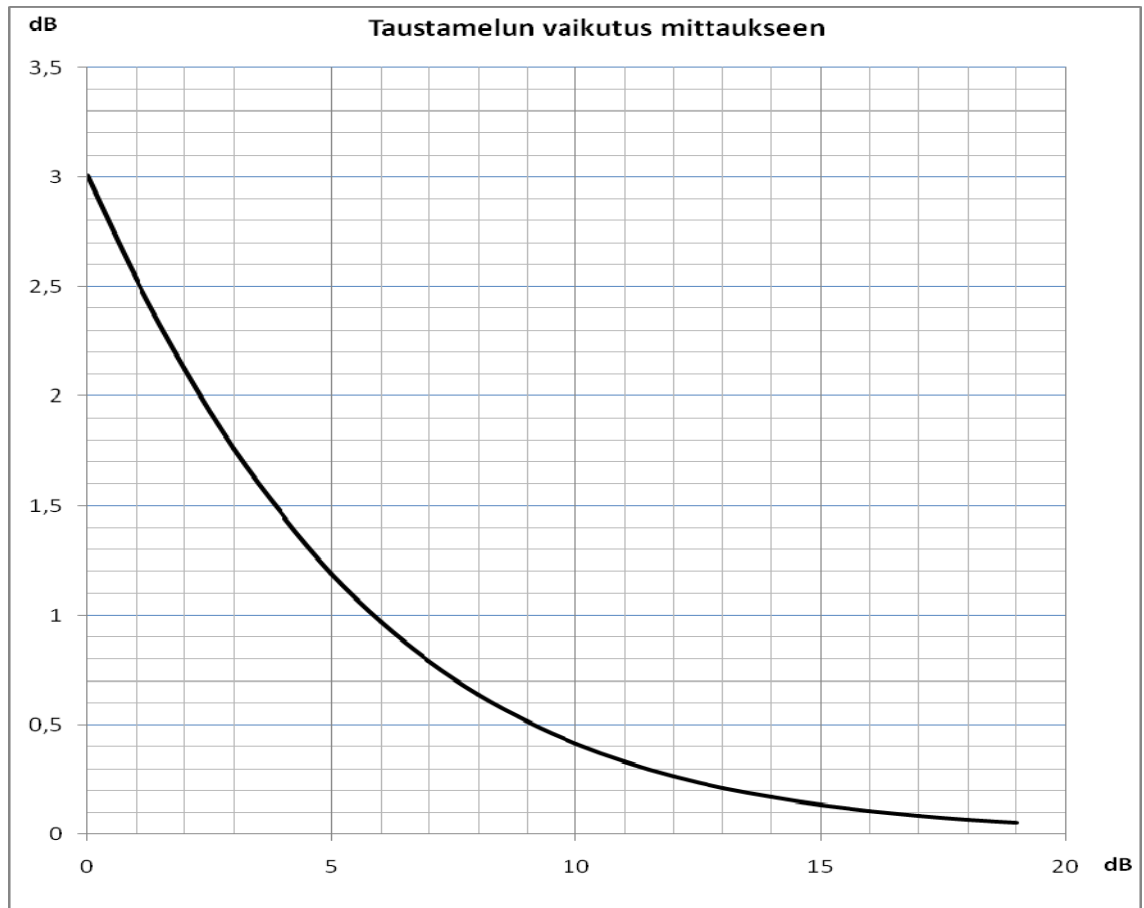
Äänenpainetason yksikkönä käytetään dB(SPL), jossa 0 dB(SPL) taso on pienin mahdollinen äänenpaine, jonka ihmiskorvalla voi kuulla. Ihmiskorvan pienin havaitsema äänenpaine on 20 mikropascalia.

Taustamelun vaikutus mittauksiin laskettiin kaavalla 3. Taustamelun vaikutus on n. +0,5 dB kun taustamelun ja mitattavan kohteen äänenpaine-ero on yli 9 dB, ja yli 16 dB:n ero ylittää jo äänenpainemittarin resoluution.

Äänilähteiden yhteenlaskettu äänenpaine  $\sum X_{dB SPL}$ ,

$$\sum X_{dB SPL} = 10 \log_{10} \left( 10^{\frac{X_{dB SPL 1}}{10}} + 10^{\frac{X_{dB SPL 2}}{10}} + \dots + 10^{\frac{X_{dB SPL n}}{10}} \right). \quad (3)$$

Kuvassa 11 on kuvaaja, joka esittää kahden äänilähteen vaikutusta kokonaisäänepaineeseen. Pienemmän äänilähteen vaikutus kokonaisäänepaineeseen on noin 0,5 dB, kun toinen äänilähde on 9 dB voimakkaampi.



Kuva 11. Taustamelun vaikutus mittaukseen.

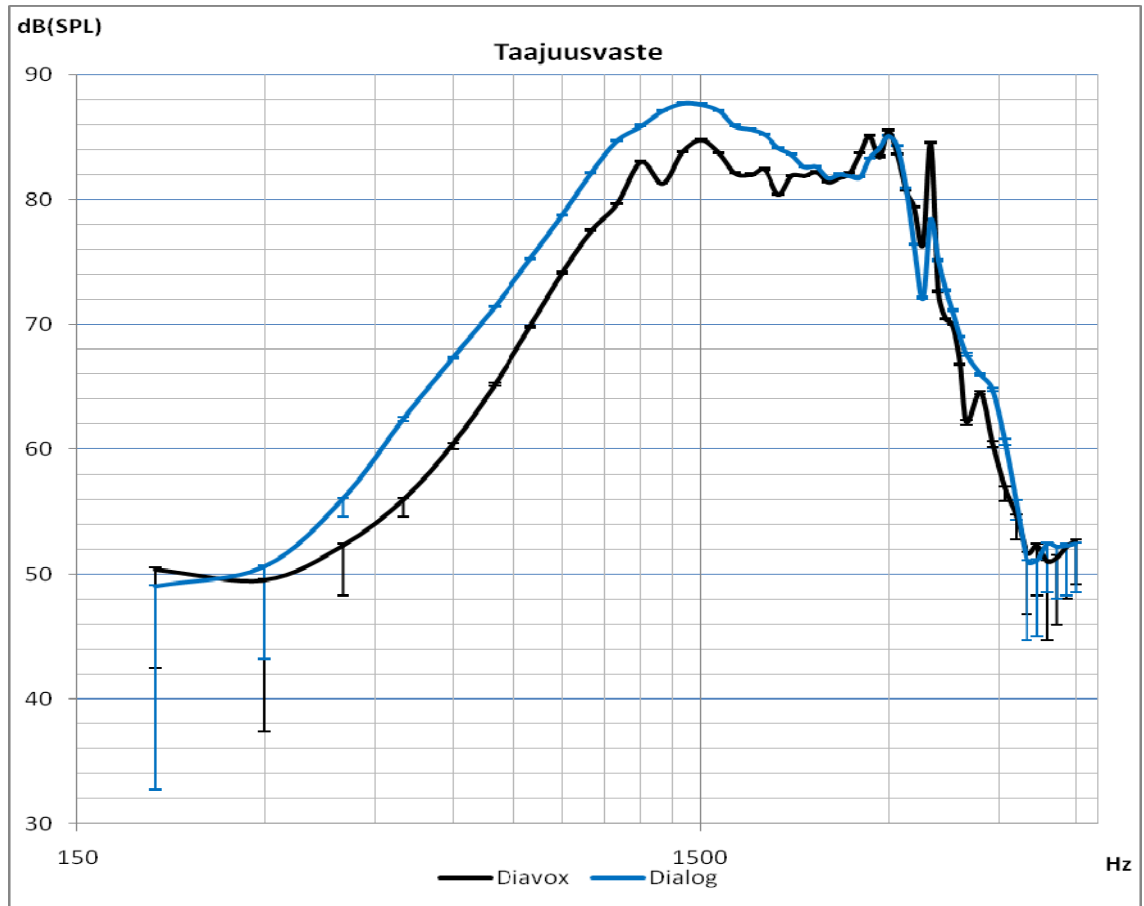
## 5.2 Mittauksen luotettavuuden arviointi

Mittauksessa mitattiin kuulokkeesta äänenpaine 200–6000 Hz:n taajuusalueella, jolloin taustamelun aiheuttama keskimääräinen virhe oli ensimmäisessä mittauksessa +0,4 % ja toisessa mittauksessa +0,5 %. Taustamelun vaikutus taajuusalueella 600–4200 Hz oli eri puhelinmallien mittauksissa alle 0,1 dB, jolloin keskimääräinen virhe 600–4200 Hz:n taajuusalueella oli ensimmäisessä mittauksessa alle +0,02 % ja toisessa mittauksessa alle +0,04 %.

Mittauksia voidaan pitää luotettavina suuremmilla äänenpainetasoilla, jolloin taustamelun vaikutus mittauksiin on hyvin pieni.

### 5.3 Tulokset virherajoiheen

Mittaustulokset virherajoiheen on kuvassa 11. Mittaustuloksissa on otettu huomioon äänenpainemittarin resoluutio ja taustamelu. Kuvassa 11 negatiiviset virhepalkit osoittavat taustamelusta ja mittarin resoluutiosta johtuvat virheet.



Kuva 11. Mittaustulokset virherajoiheen.

## 6 MITTAUSTULOSTEN YHTEENVETO

### 6.1 Taajuusvastemittaus

Taajuusvastemittauksessa päätelaitteen napoihin syötettiin sinimuotoista signaalia, jonka vaimenemista päätelaitteessa mitattiin päätelaitteen kuulokkeesta äänenpainemittarilla. Mittaus toistettiin, jolloin kuulokkeen tilalle vaihdettiin 600  $\Omega$ :n vastus. Päätelaitteen taajuusvasteelle ei löytynyt käytettävissä olleista standardeista erillisiä vaatimuksia. Puheen ymmärrettävyyden kannalta on kuitenkin tärkeintä taajuuskaista 300–3400 Hz, jolla ihmispuhe normaalisti on.

### 6.2 Heijastusvaimennus

Mittauksessa mitattiin päätelaitteen impedanssin heijastusvaimennus, kun päätelaite on terminoitu referenssi-impedanssiin  $Z_r$ . Päätelaitteen impedanssin heijastusvaimennus on oltava vähintään 8 dB tai suurempi 200–4000 Hz:n taajuusalueella. Testissä käytettävän signaalin jännite on oltava samansuuruinen kuin teholtaan 9 dBm 1020 Hz olevan signaalin.

Mittauksessa Diavox-puhelinmallien keskimääräinen heijastusvaimennus oli n -0,5 dB ja Dialog-puhelinmallin n 2,2 dB.

Heijastusvaimennusmittauksessa päätelaitteet eivät täyttäneet annettuja suosituksia. Mittaustapa vaikutti ilmeisesti mittaustuloksiin heikentävästi. Päätelaite ja herätesignaalia syöttävä signaaligeneraattori erotettiin mittauksissa toisistaan galvaanisesti linjasovitusmuuntajilla. Linjasovitusmuuntajissa tapahtuvat häviöt aiheuttivat mittaukseen virhettä ja näin ollen vaikuttivat mittaustuloksiin.

### 6.3 Yhteismuotoisten häiriöiden vaimennus

Päätelaitteen yhteismuotoisten häiriöiden minimivaimennus taajuusalueella 300–600 Hz on 40 dB ja 600–3600 Hz 46 dB. Mittauksissa Diavox-puhelinmallin keskimääräinen

yhteismuotoisten häiriöiden vaimennus taajuusalueilla 300–600 Hz ja 600–3600 Hz oli 64 ja 61 dB ja Dialog-puhelinmallilla 63 ja 61 dB. Mittauksessa kokonaistaajuusalue oli 50–40000 Hz, jossa Diavox-puhelinmallin yhteismuotoisten häiriöiden vaimennus oli 58,7 dB ja Dialog-puhelinmallin 59,3 dB.

Molemmat puhelinmallit ylittivät mittauksissa standardeissa ilmoitetut suositusarvot.

## 7 YHTEENVETO

Insinööriyössä tehtiin mittauksia ja käsiteltiin mittauksista saatuja mittaustuloksia. Mittaukset olivat osaltaan aikaa vieviä, kytkennän rakentaminen, mittauksen suorittaminen, ja tulosten tallentaminen kuuluivat mittauksiin. Mittaustulosten käsittelyssä mittauksista saatujen arvojen avulla laskettiin tulokset Excel-taulukkoon ja tuloksista pürrettiin kuvaajat. Kuvaajien avulla mittaustuloksista saatiin selville jo heti alkuun mittauksissa tapahtuneet mahdolliset virheet.

Heijastusvaimennusmittaus ei onnistunut odotusten mukaan, mittaustulokset menivät suosituksien alle. Mittauksen epäonnistuminen johtui todennäköisesti mittaustavasta, jossa käytettiin linjasovitusmuuntajia erottamaan galvaanisesti mittalaite ja päätelaite toisistaan. Yhteismuotoisten häiriöiden mittaustulokset menivät selvästi yli annettujen suositusarvojen.

Taajuusvastemittaus oli mielenkiintoinen, sillä siinä huomasi selvästi ympäristön vaikutukset mittaustuloksiin. Mittauksessa oppi myös huomaamaan mitattavasta kohteesta ja mittaus suureesta johtuvat syyt mittaustuloksiin. Kuulokkeen ja vastuksen kautta mitatut mittaustulokset olivat hyvin samansuuntaisia.

Mittaustulosten käsittelyssä otettiin huomioon taajuusvaste mittauksessa tapahtuneet virheet, kuten taustamelu ja äänenpainemittarin resoluutio. Mittaustulosten käsittelyssä tilastolliset menetelmät antavat monia mahdollisuuksia mittausvirheiden arviointiin ja mittaustulosten tarkkuuden parantamiseen.



## LÄHTEET

- 1 Aumala Olli, Ihalainen Heimo, Jokinen Heikki, Kortelainen Juha, Mittaussignaalien käsittely, Pressus Oy, Tampere, 3. uudistettu painos 1998, ISBN 952-9835-32-9
- 2 ETSI EN 300 450 V.1.2.1 Access and Terminals (AT); Ordinary and Special quality voice bandwidth, 2-wire analogue leased lines (A2O and A2S); Terminal equipment interface
- 3 ITU-T RECOMMENDATION O.9 Specifications of measuring equipment