

# Vaimennus – Yleisohje

(iPhone/iPad/Android-sovellusdokumentaatio)



## Sisällysluettelo

### Sisällys

Sisällysluettelo	1
1 Termien selityksiä	3
1.1 Tärinä, värinä, värähtely, mikrovärähtely: . . . . .	3
1.1.1 -Värähtelyn voimakkuutta kuvaavia termejä . . . . .	3
2 Värähtelyn aiheuttamia ongelmia äänentoistoon	3
3 Johdanto kuulasäiliövaimennukseen	5
4 Taustalla olevia teorioita	6

<b>5</b>	<b>Toimintaperiaate</b>	<b>7</b>
<b>6</b>	<b>Kuulavaimentimien vaikutus kohteessa</b>	<b>7</b>
	<i>6.1 Mittaustulokset</i> . . . . .	7
<b>7</b>	<b>Materiaalit ja tarvikkeet</b>	<b>8</b>
<b>8</b>	<b>Kuulan valinnasta</b>	<b>9</b>
<b>9</b>	<b>Vaimennimen valmistaminen</b>	<b>10</b>
<b>10</b>	<b>Vaimennimien asennus ja käyttösovellukset</b>	<b>10</b>
<b>11</b>	<b>Vaikutuksen testaus</b>	<b>12</b>
	<i>11.1 REW-ohjelmisto</i> . . . . .	12
	<i>11.2 Vibration meter -tulosten tulkinta</i> . . . . .	12
<b>12</b>	<b>Testanneiden kokemuksia</b>	<b>12</b>

# 1 Termien selityksiä

## 1.1 Tärinä, värinä, värähtely, mikrovärähtely:

### 1.1.1 -Värähtelyn voimakkuutta kuvaavia termejä

- **Distortion, särö, vääristymä:**  
Mikä vaan mikä muuttaa alkuperäisestä signaalista muuta kuin voimakkuutta.
- **Noise, häiriö:**  
Ei toivottu, mukaan livahtanut ylimääräinen ja epäsäännöllinen sähköinen tai elektromagneettinen energia, joka huonontaa signaalin ja sen kuljettaman datan laatua.
- **Harmoninen särö:**  
Ei-toivottuja ääniä, jotka syntyvät, kun värähtely lisää signaaliin ylimääräisiä taajuuksia.
- **Mikrofonismi:**  
Ilmiö, jossa komponentit muuntavat värähtelyn äänisignaaliksi.
- **Resonanssi:**  
Tietyn taajuuden värähtely, joka vahvistuu luonnollisen värähtelytaajuuden vuoksi.
- **Laulava kondensaattori:**  
Yksi huonon äänenlaadun syistä on laulava kondensaattori. Kondensaattori alkaa ”laulaa”, kun tulosignaalin rippelivirta saa kondensaattorin värähtelemään pietsosähköisen ilmiön seurauksena. Akustinen melu ei synny suoraan värähtelevästä kondensaattorista, vaan epäsuorasti, kun kondensaattori saa piirilevyn (PCB) värähtelemään.

## 2 Värähtelyn aiheuttamia ongelmia äänentoistoon

Värähtelyt voivat aiheuttaa monenlaisia ongelmia audiolaitteissa, heikentäen äänenlaatua ja häiriten laitteiden toimintaa. Tässä tärkeimmät ongelmat:

### 1. Harmoninen särö (Distortion)

*Ongelma:*

Värähtely voi synnyttää ylimääräisiä harmonisia taajuuksia, jotka eivät kuulu alkuperäiseen ääneen. Esimerkiksi kaiuttimen kotelon resonanssit voivat lisätä ääneen ei-toivottuja taajuuksia.

*Vaikutus:*

Ääni kuulostaa epätarkalta, epäselvältä ja ”säröiseltä”. Harmonisella säröllä voi olla erityisen suuri vaikutus matalilla taajuuksilla, missä värähtelyt yleensä esiintyvät.

### 2. Kohina (Noise)

*Ongelma:*

Mekaaniset värähtelyt voivat aiheuttaa matalataajuisia kohinaa, joka peittää alkuperäisen äänisignaalin. Esimerkiksi levysoittimessa värähtely voi siirtyä levysoittimen neulaan ja tuottaa matalataajuisia huminaa tai muuta häiriötä.

*Vaikutus:*

Kohina voi pilata kuuntelukokemuksen, erityisesti hiljaisissa musiikkikohdissa.

### 3. Resonanssit

*Ongelma:*

Audiolaitteiden kotelot, hyllyt tai telineet voivat resonoida tietyillä taajuuksilla, mikä vahvistaa ei-toivottuja ääniä. Kaiuttimet voivat siirtää värähtelyä lattiaan tai seinään, mikä puolestaan synnyttää resonansseja huonetiloissa. Kaiutinkotelon värähtely voi värjätä ääntä ja vaikuttaa toistettavan äänen puhtauteen.

*Vaikutus:*

Bassotaajuudet voivat muuttua epätasaisiksi ja liioitelluiksi. Koko taajuusvaste voi vääristyä.

### 4. Sähköisten komponenttien häiriöt

*Ongelma:*

Värähtely voi vaikuttaa audiolaitteiden sisäisiin komponentteihin, kuten kondensaattoreihin, keloihin ja piirilevyihin. Tämä voi aiheuttaa epävakautta, kuten säröä tai äänen pätkimistä.

*Vaikutus:*

Laitteen toiminta voi heikentyä, ja ääni voi sisältää napsahduksia tai muita häiriöitä.

### 5. Signaalin huonontuminen levysoittimissa

*Ongelma:*

Värähtely voi vaikuttaa levysoittimen neulan toimintaan, mikä johtaa siihen, että se ei seuraa uraa tarkasti. Tämä voi lisätä sekä säröä että kohinaa.

*Vaikutus:*

Ääni voi kuulostaa vääristyneeltä ja sisältää ylimääräisiä ääniä, kuten huminaa tai värinää.

### 6. Kaiuttimen elementtien epätarkkuus

*Ongelma:*

Värähtelyt voivat siirtyä kaiuttimen elementteihin, mikä häiritsee niiden liikettä ja heikentää äänen toistoa. Kaiuttimen elementtien pitäisi liikkua tarkasti signaalin mukaisesti, mutta värähtely voi aiheuttaa epäsymmetriaa tai ylimääräisiä liikkeitä.

*Vaikutus:*

Värähtelyt voivat aiheuttaa epätarkkuuksia bassotoistossa, heikentää äänikuvan erotelua ja lisätä kohinaa. Äänikuva voi hajota, ja ääni voi menettää tarkkuutensa.

## 7. Akustiset häiriöt huonetilassa

*Ongelma:*

Laitteista tai huonekaluista peräisin olevat värähtelyt voivat vaikuttaa huoneen akustiikkaan, lisäten epätasaisuuksia basson tai muiden taajuuksien toistossa.

*Vaikutus:*

Akustinen tasapaino huononee, ja musiikki voi kuulostaa vähemmän luonnolliselta.

## 8. Komponenttien kuluminen ja vaurioituminen

*Ongelma:*

Pitkäkestoiset värähtelyt voivat aiheuttaa mekaanista kulumista audiolaitteiden sisällä. Esimerkiksi juotokset voivat löystyä tai murtua.

*Vaikutus:*

Laitteiden elinikä lyhenee, ja niiden korjaustarve kasvaa.

## 9. Mikrofoniefekti (Microphony)

*Ongelma:*

Joissakin elektronisissa komponenteissa, kuten putkivahvistimissa tai kondensaattoreissa, värähtelyt voivat aiheuttaa mikrofoniefektin, jossa värähtelyt muuttuvat äänisignaaleiksi. Esimerkiksi kondensaattorien ja induktorien värähtely aiheuttaa säröä audiosignaaliin. Erityisen kiusallisia värähtelyongelmat ovat kelloajoituksissa niitä vääristäen, jolloin vääristymät kulkevat läpi äänentoistojärjestelmän ja kaiuttimien kautta korviisi asti.

*Vaikutus:*

Äänessä voi ilmetä ei-toivottuja “metallisia” tai “väriseviä” ääniä.

## 10. Psykoakustinen vaikutus

*Ongelma:*

Vaikka värähtely ei aina ole suoraan kuultavissa, se voi vaikuttaa psykoakustisesti: kuuntelija kokee äänen epämiellyttäväksi tai vähemmän nautittavaksi.

*Vaikutus:*

Kuuntelukokemus voi olla vähemmän mukaansatempaava.

# 3 Johdanto kuulasäiliövaimennukseen

Kuulat säiliössä ovat erinomainen ratkaisu audiolaitteiston värähtelyn vaimennukseen useista syistä. Ne hyödyntävät tehokkaasti materiaalien fysikaalisia ominaisuuksia ja dynaamista käyttäytymistä vaimennukseen.

Tässä tärkeimmät syyt:

1. Sopii massan lisäämiseen.

**Miksi tärkeää?**

Massan lisääminen vähentää värähtelytaajuutta, sillä raskaampi rakenne on vähemmän altis resonansseille.

2. Liikkuvien kuulien energiaa hajottava vaikutus

**Miksi tärkeää?**

Värähtelyenergia hajautuu ja absorboituu tehokkaasti, kun yksittäiset kuulat liikkuvat pussissa ja kitka niiden välillä muuntaa energiaa lämmöksi.

3. Laaja käyttötaajuusalue

**Miksi tärkeää?**

Audiolaitteiden värähtelyt voivat esiintyä hyvin eri taajuuksilla, ja tehokas vaimennus edellyttää, että vaimennus toimii monilla taajuusalueilla.

Kuulavaimennus ei lisää signaaliin mitään uutta, vaan estää sen laadun heikentymisen.

Kuulasäiliövaimentimet ovat tehokas ja kustannustehokas tapa estää ei-toivottuja värähtelyjä. Ne toimivat sekä laitteista itsestään syntyvien että ulkoisten (esim. lattian tai kalusteiden kautta kulkeutuvien) värähtelyjen vaimentamiseen.

*Todennäköiset vaikutukset kuulohavaintoina:* Basson tarkkuus lisääntyy, äänenvoimakkuuden dynamiikka paranee ja musiikkiin tulee uusia ennen kuulumattomia yksityiskohtia. Laulu ja soittimet kuulostavat luonnollisilta.

## 4 Taustalla olevia teorioita

Kuulasäiliövaimentimien toimintaperiaate perustuu fysiikan perusilmiöihin, kuten värähtelyn energiaan ja sen muuntumiseen lämmöksi. Ratkaisu soveltaa useita tieteellisiä tutkimuksia ja artikkeleita.

Avainsanoja hakukoneille:

- Multi-unit particle dampers
- Multi-cavity particle dampers
- Multi-compartment particle dampers
- Multi-particle dampers
- Particle dampers
- Granular dampers
- Multi-unit granular dampers
- Shot dampers

- Bean Bag dampers

## 5 Toimintaperiaate

Fysiikan termein toiminta perustuu vaimennettuun ja pakotettuun värähtelijään (vastavärähtelyyn), jolla eliminoidaan ei-toivottua värähtelyä kuulavaimentimen muodossa.

Tämän toivotun vastavärähtelyn dynamiikka perustuu annettuihin parametreihin (vaimennettavan kohteen paino sekä kuulan koko ja laatu).

Jos kitkaa olisi liikaa, vaimeneminen tapahtuisi välittömästi. Ennemmin halutaan, että kitkaa ei ole paljon, vaan että kuulat sallivat yläpuolisen massan värähdellä vapaasti ja tasaisesti, kuitenkin niin, että värähtely lopulta vaimenee nopeasti, jos ulkoista energiaa ei enää tule.

Vaimennus absorboi värähtelyä ja muuntaa sen lämmöksi kuulien törmäillessä ja hinkatessa toisiaan sekä säiliön seinämiin. Säiliön koon tulee olla sellainen, että tarvittava kuulamäärä täyttää säiliön aivan täysin. Vaimennus värähtelylle on 360 astetta, horisontaalisesti ja vertikaalisesti, joka suuntaan.

## 6 Kuulavaimentimien vaikutus kohteessa

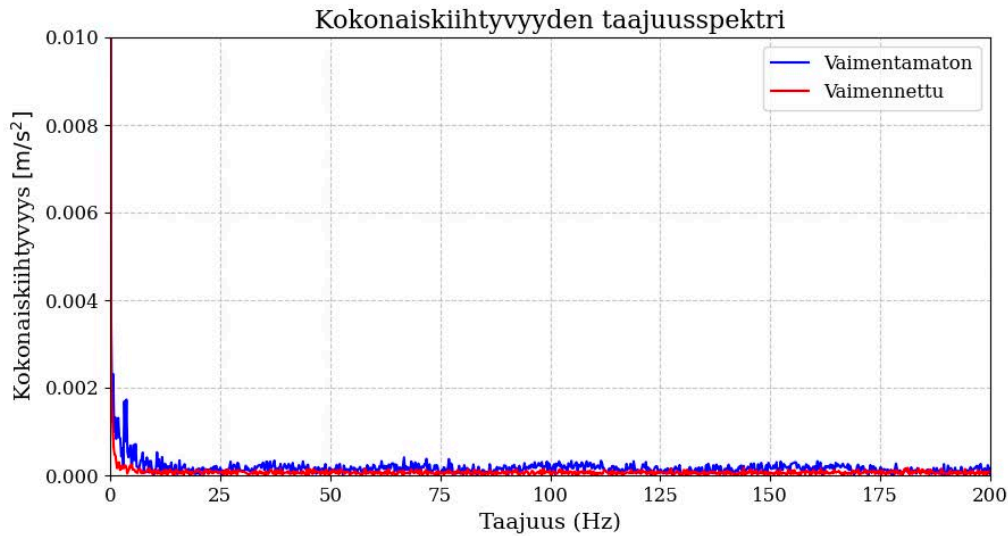
Kaiuttimissa vaimennuksella on positiivista vaikutusta kartioon, kelaan ja magneettiin sekä mahdolliseen ilma-aukkoon. Lisäksi kaiuttimen aiheuttama tärinä ei pääse vaikuttamaan kuuntelutilan rakenteiden ja laitetelineen kautta audioelektronikkalaitteisiin.

**Mikrofonismi:** Eliminoi mikrofonismia, joka on ilmiö, jossa elektronisten audiolaitteiden jotkin komponentit (kuten kondensaattorit, induktorit ja johdot) muuntavat ei-toivottua värähtelyä ei-toivotunlaiseksi signaaliksi eli säröksi.

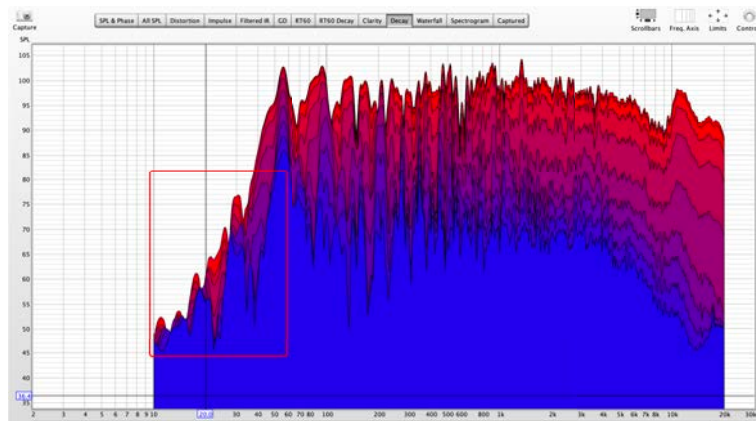
**Vähentää sisäsyntyistä värähtelyä:** Jokainen audioelektroninen laite muodostaa tai vastaanottaa ei-toivottua värähtelyä. Kuulavaimentimen avulla tämä ei-toivottu värähtely saadaan absorboitua ulos laitteesta ja muutettua lämmöksi.

### 6.1 Mittaustulokset

Mittausdatan perusteella vaimennus (Kuva 1 ja Kuva 2) leikkaa eniten matalien ja alemman keskiäänialueen huippuja sekä nopeuttaa vaimenemista muutaman dB:n verran verrattuna tilanteeseen, jossa laite on ilman mekaanista vaimennusta (Kuva 3). Kuvasta 1 ja 2 nähdään, että haitallinen värähtely on noin 1/20-osa, verrattuna tilanteeseen, jossa käytetään DA-muuntimen normaaleja jalkoja. REW-ohjelmalla tehdyn mittaustulokset näyttävät saman: Viive vähentyy erityisesti matalien taajuuksien kohdalla vaikka vaikutusta on kaikkien taajuuksien kohdalla (Kuva 3)



Kuva 1: BAPU BallPack -vaimentimien vaikutus RME ADI 2/4 Pro SE DA/AD-muuntimen värähtelyyn.



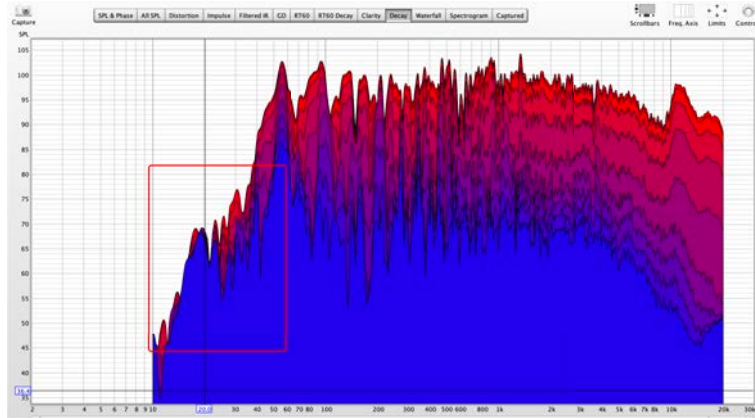
Kuva 2: Viive vaimennettuna: REW-mittaus mikrofoniolla, BAPU BallPack -vaimentimien vaikutus RME ADI 2/4 Pro SE DA/AD-muuntimen värähtelyyn.

## 7 Materiaalit ja tarvikkeet

Mikäli säiliöt haluaa valmistaa itse, huomioi seuraavat:

- **Puuvilla ja nahka:** eivät sähköisty, käytä näitä.
- **Kangas:** puuvilla (esim. canvas) riittävän vahvana.
- **Nahka:** mielellään ohutta, jotta joustaa ja on ommeltavissa tavallisella ompelukoneella.
- **Ompelutarvikkeet:** nahkaneula käsinompeluun, leikkaava nahkaneula koneompeluun, joustava nylonlanka, kaava- tai ruutupaperia, merkitsemiskynä, vetoketjua, velcro-





Kuva 3: Viive vaimentamattomana: REW-mittaus mikrofoniilla, BAPU BallPack -vaimentimien vaikutus RME ADI 2/4 Pro SE DA/AD-muuntimen värähtelyyn.

tarranauhaa.

### Kuulat:

Kiiltävät tarkkuuskuulat, kuten ilma-aseiden 4,5 mm tai 5,0 mm teräskuulat, saatavilla helposti ja edullisesti.

### Muuta:

Digitaalivaaka ja nokallinen kannu, koska kuulamääriä on helppo mitata painon eikä pelkän kappalemäärän mukaan.

## 8 Kuulan valinnasta

### 1. Kuulan koko

- **Pienet kuulat (1–3 mm):**  
Tarjoavat korkean tiheyden ja täyttävät säiliön tasaisesti. Erittäin hyvä hienojen, korkeataajuisien värähtelyjen vaimentamiseen.
- **Keskikokoiset kuulat (4–8 mm):**  
Hyvä kompromissi pienten ja suurten kuulien välillä. Tarjoavat tehokkaan vaimennuksen laajalla taajuusalueella.
- **Suuret kuulat (yli 8 mm):**  
Parempia vaimentamaan matalataajuisia värähtelyjä ja iskuja.

### 2. Kuulan materiaali

- **Teräskuulat:** raskaita ja kulutuskestäviä, ihanteellisia hifi-käyttöön.
- **Ruostumattomat teräskuulat:** kestävät korroosiota.
- **Lyijykuulat:** erittäin raskaita, mutta eivät ympäristöystävällisiä.

- **Keramiikkakuulat:** kevyempiä, vaimennuskyky pienempi.
- **Volframikuulat:** kalleimpia, mutta parhaita vaimennusteholtaan.

## 9 Vaimennimen valmistaminen

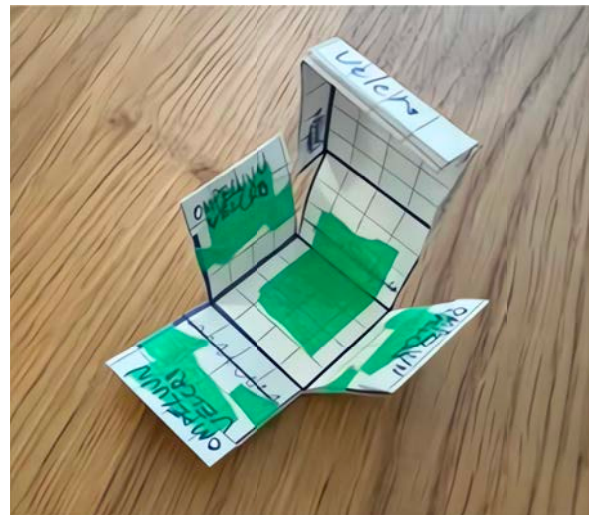
**BAPU BallPack Damping -mobiilisovelluksen** avulla voit suunnitella äänentoistolaitteellesi sopivan kuulavaimennusratkaisun. Sovellus antaa suosituksia mm.:

- Vaimennettavan laitteen painon perusteella
- Kuulien määrä (ja halkaisija)
- Yksittäisen säiliön mitat

Voit sitten valmistaa säiliöt itse tai teettää ne ompelijalla. Pienemmillä palloilla saa paremman äänenlaadun jo pienemmillä äänenvoimakkuuksilla, koska pienempien liikuttaminen vaatii vähemmän energiaa.



(a) Valmis nahkapussi ja mitausta



(b) Omasuunnittelema laatikko

Kuva 4: Mittausta

## 10 Vaimennimien asennus ja käyttösovellukset

Eristä aina ensin isompaa värähtelyä tuottavat lähteet: kaiuttimet, subwooferit ja reikäresonaattorit.

- **Lattiatilanne:**
  - Kelluva parketti voi värähdellä, joten eristäminen on tärkeää.



(a) Tarvikkeet



(b) Teräskuulat

Kuva 5: Materiaaleja

- Jos lattia on kiinteä, merkitys on vähäisempi, ja tukeva kytkentä lattiaan voi joskus olla parempi.
- **Kaiuttimen vakaus vs. eristys:**
  - Vaimentimet kaiuttimen alla vaikuttavat sen korkeuteen.
  - Tasapainoile kaiuttimien vakauden ja eristyksen välillä.
- **Audiolaitteiden sisäinen mikrovärähtely:**
  - Asenna vaimentimet (3–6 kpl) suoraan laitteen pohjaan sen alakuorta vasten.
  - Laitteen paino kannattaa jakaa tasaisesti jokaiselle vaimentimelle.
- **Kevyet laitteet:**
  - Jos laite painaa alle 6 kg, lisää ensin painoa (esim. hiekalla tai kuulilla täytetty pussi) laitteen päälle.
  - Huomioi lisäpaino, kun lasket tarvittavaa kuulamäärää vaimentimiin.
- **Useamman materiaalin yhdistelmät:**
  - Voit käyttää eri täytemateriaaleja eri pusseissa, jolloin saavutetaan vaimennus eri taajuusalueille.
- **Johtojen vaimennus:**
  - Kaapeleiden osalta kuulavaimentimet eivät yleensä ole soveliaita, koska kaapelien massa on pieni.

”The signal used by your system, be it digital or analog, through tube or solid state, is always alternating current...”

(Lähde: <https://www.cardas.com/deep-dive>)

## 11 Vaikutuksen testaus

Voit todeta muutoksen kuuloaistin lisäksi esimerkiksi Vibration meter -mobiilisovelluksella.

**Testaus ennen vaimentimia ja niiden asentamisen jälkeen:**

- Vertaile mittauksia samalla testikappaleella ja äänenvoimakkuudella.
- Mittaa laitteen päältä, lattiasta, laitetasosta jne.

### 11.1 REW-ohjelmisto

Ilmainen **REW**-ohjelmisto (Room EQ Wizard) mahdollistaa ennen-jälkeen -vertailun.

- THD (kokonaisvaimennussärö) ja THD+N -mittaus.
- Alhaisempi särö kertoo tehokkaasta eristyksestä ja vaimennuksesta.
- REW ei kerro, kuinka ”miellyttävä” ääni on — tämä on subjektiivinen kokemus.

### 11.2 Vibration meter -tulosten tulkinta

- **Peak (huippuarvo):** Näyttää värähtelyn voimakkuuden suurimmillaan.
- **RMS (Root Mean Square):** Kuvaa värähtelyn keskiarvoa ajan suhteen.
- **Taajuudet:** Miten eri taajuudet (esim. bassoalue) vaikuttavat värähtelyihin?

Vähenevätkö huippuarvot (Peak)? Entä laskeeko RMS-arvo? Bassotaajuuksien (20–200 Hz) näkyvät muutokset ovat usein merkittäviä, kun vaimennus toimii hyvin.

<Tähän kuvia REW ja Vibration meter -näytöistä> <Tähän linkit REW ja Vibration meter -ohjeisiin>

## 12 Testanneiden kokemuksia

<Tähän lisää testimonials>

*”Nyt kun olen kuunnellut musiikkia useamman päivän eri genreillä (jazz, bluegrass, indie, blues), läpeensä tutuilla levyillä kävi ilmi seuraavaa:”*

- Lisääntynyt yksityiskohtaisuus / artikulointi.
- Lisääntynyt läsnäolo.
- Musiikki toistuu puhtaammin, ilman säröä, jolloin äänenvoimakkuutta tulee joskus nostaneeksi enemmän.
- Äänessä on enemmän lämpöä ja yksityiskohtia resonointivapaamman toiston ansiosta.
- Ero on hämmentävän iso, enkä voisi enää luopua näistä vaimentimista!