Vaimennus – Yleisohje

(iPhone/iPad/Android-sovellusdokumentaatio)

Versio 1.005

28. huhtikuuta 2025

Muutoshistoria

Päivämäärä	Versio	Muutos
27.4.2025	1.005	Toimintaperiaate-tekstiä on päivitetty.

Päivämäärä	Versio	Muutos
10.3.2025	1.004	Kuvia ja niihin liittyviä selityksiä on poistettu

Päivämäärä	Versio	Muutos
8.3.2025	1.003	Kuvien otsikoita on päivitetty

Päivämäärä	Versio	Muutos
7.3.2025	1.002	Pieniä muutoksia kuvien asetteluun

Päivämäärä	Versio	Muutos
6.3.2025	1.001	Lisätty nahkalieriöätassun valmistusprosessi

Päivämäärä	Versio	Muutos
28.2.2025	1.0	Ensimmäinen julkaisu

Sisällysluettelo

Sisällys

Muutoshistoria **2**

Sisällysluettelo **3**

1 Termien selityksiä **4**

1.1 Tärinä, värinä, värähtely, mikrovärähtely: . . . 4

1.1.1 Värähtelyn voimakkuutta kuvaavia termejä . . . 4

1.1.2 Värähtelyn hallinta . . . 4

2 Värähtelyn aiheuttamia ongelmia äänentoistoon **5**

3 Johdanto kuulasäiliövaimennukseen **7**

4 Taustalla olevia teorioita **8**

5 Toimintaperiaate **8**

6 Kuulavaimentimien vaikutus kohteessa **10**

6.1 Mittaustulokset . . . 10

7 Materiaalit ja tarvikkeet **12**

8 Kuulan valinnasta **12**

9 Vaimentimien valmistaminen **13**

9.1 Nahkalieriöätassun valmistusprosessi . . . 17

10 Vaimentimien asennus ja käyttösovellukset **19**

10.1 Kevyet laitteet . . . 20

11 Vaikutuksen testaus **21**

11.1 REW-ohjelmisto . . . 21

11.1.1 Measurement Info: SNR (Signal-to-Noise Ratio) . . . 22

11.1.2 Measurement Info: SDR (Signal-to-Distortion Ratio) . . . 22

11.1.3 Clarity: C80 (Music Clarity Index) . . . 22

11.2 Vibration meter -tulosten tulkinta . . . 22

12 Testanneiden kokemuksia **23**

1 Termien selityksiä

1.1 Tärinä, värinä, värähtely, mikroväräht ely:

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.

1.1.2 Värähtelyn hallinta

Äänen toistossa eristys, irrotus, kytkentä, vaimennus ja hajotus toimivat jokainen omalla tavallaan, mutta ne liittyvät myös toisiinsa värähtelyjen hallinnassa ja äänenlaadun optimoinnissa. Alla on kuvattu, miten kukin näistä menetelmistä toimii ja mitkä ovat niiden keskeiset mekanismit:

- **Eristys(Isolation):**
  Vähentää ulkoisten värähtelyjen siirtymistä laitteeseen. Pehmeät, elastiset materiaalit. Esim. kumi-korkki, silikoni, sorbotaani. Esim. Teräskuulat pussissa tai rasiassa, jonka pohjassa em. materiaaleja.

- **Irrotus(Decoupling):**
  Katkaisee värähtelyn kulkureitin ei-toivottuun suuntaan. Materiaalit tai rakenteet, jotka erottavat komponentit toisistaan ja vähentävät energiansiirtoa. Esim. Teräskuulat pussissa tai rasiassa, jonka pohjassa eristysmateriaalien lisäksi huopatassut.

- **Kytkentä(Coupling):**

Siirtää energiaa. Kytkentä pintaan vähentää laitteen sisäistä resonanssia siirtämällä värähtelyä vaimennukseen ja hajotukseen. Esim. Teräskuulapussi suoraan vasten laitteen alapintaa, ei laitteen omien jalkojen alle.

- **Vaimennus(Damping):**
  Imeyttää ja pienentää resonansseja. Materiaalit, jotka erityisesti sitovat energiaa resonanssitaajuuksilla, ehkäisten värähtelyjen voimistumista. Esim. Teräskuulat pussissa tai rasiassa.

- **Hajotus(Dissipation):**
  Hajauttaa ja muuntaa värähtelyenergiaa. Materiaalit ja rakeet, esim. kuulat, jotka imevät energiaa muuttamalla sen lämmöksi ja jakamalla energian laajemmalle alueelle. Esim. Teräskuulat pussissa tai rasiassa.

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 matalataajuista kohinaa, joka peittää alkuperäisen äänisignaalin. Esimerkiksi levysoittimessa värähtely voi siirtyä levysoittimen neulaan ja tuottaa matalataajuista 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 värähtelyjä 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 erottelua 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 äänisignaaliksi. 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

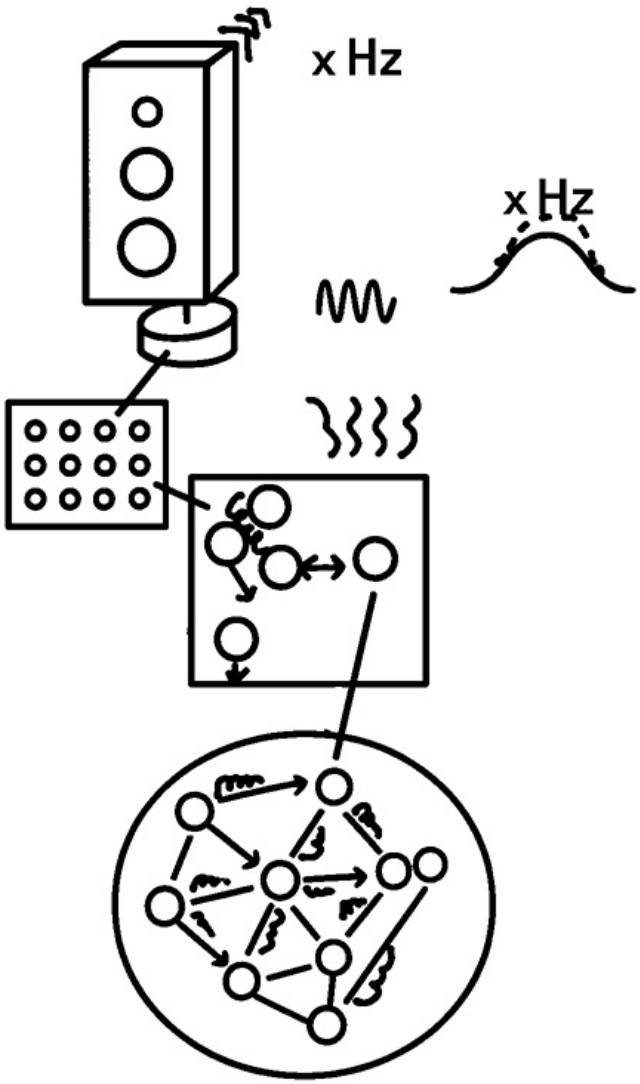
Fysiikan termein toiminta perustuu vaimennettuun ja pakotettuun värähtelijään (vastavärähtelyyn), jolla eliminoidaan ei-toivottua värähtelyä kuulavaimentimen muodossa.

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.

Erityisesti resonointitaajuuden ja sen ympärillä olevien lähitaajuuksien värähtelyn liike-energiaa muutetaan lämmöksi eri kitkatyypeillä.



Kuva 1: Värähtely muuttuu lämmöksi.

Osittain elastiset törmäykset on yleinen ilmiö, joka tapahtuu monissa materiaaleissa kuten metalleissa. Se johtuu siitä, että materiaalin sisäiset rakenteet, kuten atomit ja molekyylit, eivät ole täysin järjestyksessä, vaan ne ovat jossain määrin sekaisin. Kun kuulat osuvat toisiinsa, niiden sisäiset rakenteet joutuvat uusiin asentoihin, ja tämä aiheuttaa sisäisen energian muutoksen lämmöksi. Yksittäisen törmäyksen osuus on vähäinen mutta törmäyksiä tapahtuu koko ajan suuri määrä sen lisäksi että kuulat hinkkaavat toisiaan.

Kaiuttimissa ja etenkin subwoofereissa ulkoisena voimana vaimentimelle on kaiuttimen resonointitaajuudella tapahtuva matalataajuuksinen ja siten energialtaan voimakas värähtely, jota ja sen ympärillä olevia lähitaajuuksia vaimennetaan. Äänen parannus tulee siitä että huone ja sen sisältö ei lähde resonoimaan ainakaan lattian kautta ja ei siten myöskään välillisesti vaikuta audioelektroniikkaan.

Elektroniikassa äänen parannus tulee siitä että eristetään laite sen alapuolelta tulevilta ulkoisilta värähtelyiltä ja laitteen resonointitaajuutta ja sitä lähellä olevia ympäröiviä taajuuksia vaimennetaan ja siten estetään niiden haitallinen vaikutus laitteen sisäisissä komponenteissa, esim. kondensaattorissa sen "laulaminen", mikrofonismi. Kannattaa huomata että värähtelyä siirtyy laitteeseen myös johtojen kautta.

6 Kuulavaimentimien vaikutus kohteessa

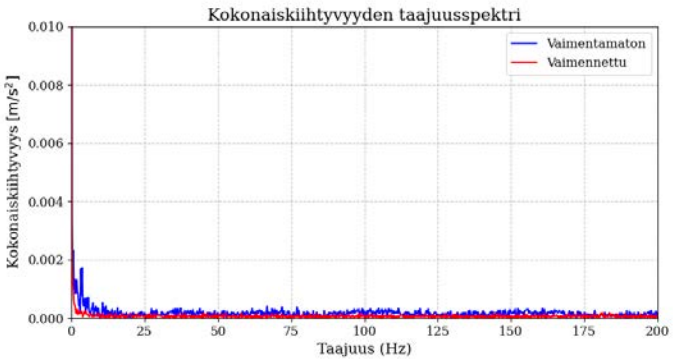
Kaiuttimissa vaimennuksella on positiivista vaikutusta kartioon, kelaan ja magneettiin sekä mahdolliseen ilma-aukkoon. Lisäksi kaiuttimen aiheuttama tärinä ei pääse vaikuttamaan kuuntelutilan rakenteiden ja laitetelineen kautta audioelektroniikkalaitteisiin.

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.

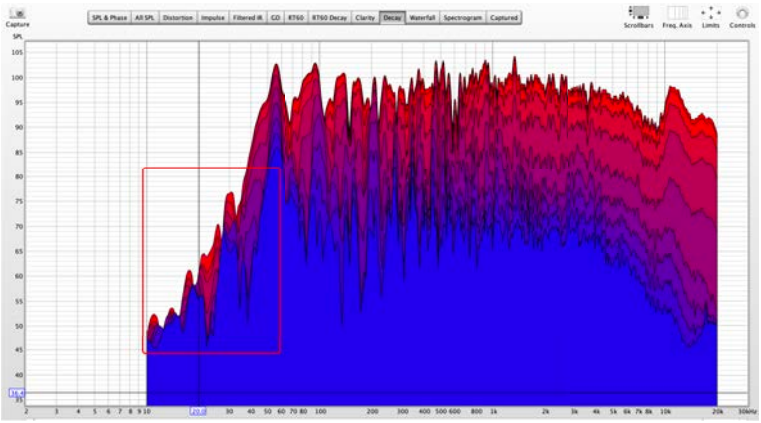
Vähentää sisäsyntyistä värähtelyä: Jokainen audioelektroninen laite muodostaa tai vastaanottaa ei-toivottua värähtelyä. Kuulavaimentimen avulla tämä ei-toivottu värähtely saadaan absorboitua ulos laitteesta ja muutettua lämmöksi.

6.1 Mittaustulokset

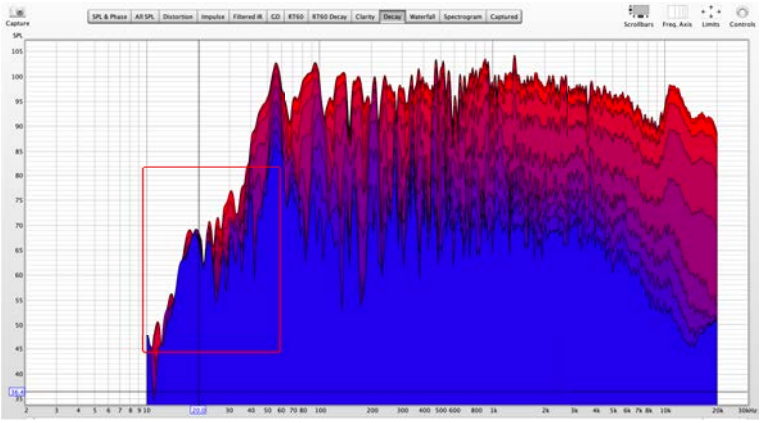
Mittausdatan perusteella vaimennus (Kuva 2 ja Kuva 3) leikkaa eniten matalien ja alemman keskiäänialueen huippuja sekä nopeuttaa vaimenemista muutaman dB:n verran verrattuna tilanteeseen, jossa laite on ilman mekaanista vaimennusta (Kuva 4). Kuvasta 2 ja 3 nähdään, että haitallinen värähtely on noin 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 4)



Kuva 2: Hi-Fi Damping -vaimentimien vaikutus RME ADI 2/4 Pro SE DA/AD-muuntimen värähtelyyn.



Kuva 3: Viive vaimennettuna: REW-mittaus mikrofonilla, Hi-Fi Damping -vaimentimien vaikutus RME ADI 2/4 Pro SE DA/AD-muuntimen värähtelyyn.



Kuva 4: Viive vaimentamattomana: REW-mittaus mikrofonilla, Hi-Fi Damping -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, velcrotarranauhaa.

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

Käytä vain tunnetun valmistajan tarkkuustyöstettyjä, tasapintaisia ja kiiltäviä laatukuulia. Tunnettuja valmistajia ovat simerkiksi Gamo, Umarex, SwissArmy. Pienemmillä kuulilla saa paremman äänenlaadun jo pienemmillä äänenvoimakkuuksilla, koska pienempien liikuttaminen vaatii vähemmän energiaa.

1. **Kuulan koko**
   - **Pienet kuulat (1–3 mm):**
     Tarjoavat korkean tiheyden ja täyttävät säiliön tasaisesti. Erittäin hyvä hienojen, korkeataajuisten 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.

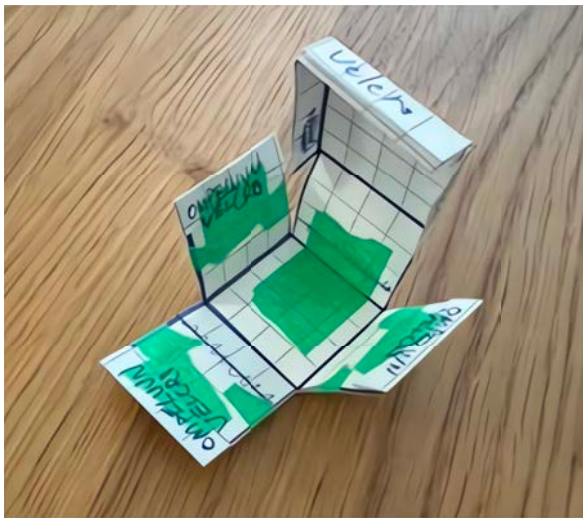
9 Vaimentimien valmistaminen

Hi-Fi Damping Calculator -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 säilioöt, teetättää ne ompelijalla tai ostaa sopivan kokoisia puuvillaisia tai pehmeä- ja ohutnahkaisia valmispusseja, lieriöitä, kuutioita tai laatikoita. Voit myös hankkia sopivan kokoisia pahvirasioita jos vaaterointi esim. levysoittimen, on tärkeää.

(a) Valmis nahkapussi ja mittausta



(b) Omasuunnittelema laatikko

Kuva 5: Mittausta

(a) Tarvikkeet

(b) Teräskuulat

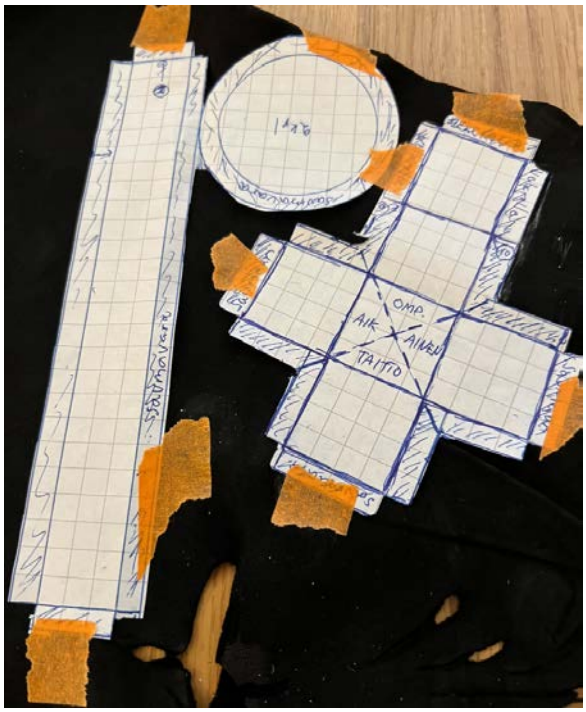
Kuva 6: Materiaaleja

(a) Lieriöpahvikotelo, joka on täynnä kuulia

(b) Puinen suorakulmainen kotelo, joka on täynnä kuulia

Kuva 7: Erilaisia koteloita

(a) Muovirasia, joka on täynnä kuulia



(b) Kaavat asetettuna laikkausta varten

Kuva 8: Erilaisia koteloita ja kaavoja

(a) Nahkainen kolikkopussi

(b) Nahkainen sokeripussi

Kuva 9: Nahkaisia pusseja

(a) Puisia koteloita

(b) Puisia koteloita

Kuva 10: Puisia erimuotoisia koteloita

(a) Mustat pahviset rasiat

(b) Vaaleat pahviset rasiat

Kuva 11: Pahvisia rasioita, joita voi etsiä nettikaupoista hakusanoilla lahjarasia, korurasia tai pahvirasia

Kuva 12a :ssa on kaksi nahkaista lieriötä vastakkain ja päällekkäin. Toisen eli kannen halkaisija on 2 mm suurempi kuin pohjan. Pohjakappaleeseen laitetaan oikea määrä kuulia, molempien leikkaus tehdään oikeaan ja samaan pituuteen ja kansi liutetaan pohjan päälle, jolloin kokonaisuuteen tulee tuplaseinät ja kokonaisuus on ns lieriö-nappi-tassu. Se on helppo tehdä, se on helppo vaateroida ja se on juuri niin tyylikäs kuin vain haluaa, kunhan on 1 mm pehmeää nahkaa.

(a) Nahkainen rasia, joka on täynnä kuulia

(b) Nahkainen rasia

Kuva 12: Nahkaisia rasioita

9.1 Nahkalieriöätassun valmistusprosessi

Ohessa on ohjeet nahkalieriöätassun valmistamiseksi:

1. Kuva 13a Leikkaa mobiilisovelluksesta saamiesi sisämittojen mukaisesti kahden lieriön tarpeet. Toisen, kanneksi tulevan lieriön halkaisijan tulee olla 2 mm paksumpi kun pohjaksi tulevan lieriön.

2. Kuva 13b Ompele lieriöt nurinniskoin.

3. Kuva 14a Käännä molemmat lieriöt oikeinpäin eli niin, että ulkopuoli tulee ulos.

4. Kuva 14b Ota pienempi lieriö eli pohjalieriö.

5. Kuva 15a Täytä lieriö mobiilisovelluksen antamalla kuulamäärällä ja tarvittaessa lyhennä saksilla vastaamaan kuulamäärän korkeutta.

6. Kuva 15b Tarvittaessa lyhennä kansilieriötä saksilla ja liuta se pohjalieriön päälle, jolloin muodostuu:

7. Kuva 16a Nahkainen kuulasäiliö tassumuotoiseksi vaimentimeksi.

Voit aivan yhtä hyvin tehdä vaikka puuvillaisesta canvas -kankaasta. Jos käytät nahkaa kuten kuvissa, käytä n.1 mm paksuista pehmeää nahkaa.

(a) Kohta 1

(b) Kohta 2

Kuva 13: Nahkalieriötassun valmistusprosessi. Kuvassa prototyypin valmistus, jossa on käytetty nitojaa, mutta lopullisessa versiossa kannattaa käyttää tavallista ompelukonetta nahkaneulalla tai ommella käsin.

(a) Kohta 3

(b) Kohta 4

Kuva 14: Nahkalieriöätassun valmistusprosessi

(a) Kohta 5

(b) Kohta 6

Kuva 15: Nahkalieriöätassun valmistusprosessi

(a) Kohta 7

Kuva 16: Nahkalieriöätassun valmistusprosessi

10 Vaimentimien asennus ja käyttösovellukset

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

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

10.1 Kevyet laitteet

Laitteiden alla tulee olla sovelluksella lasketut oikeat kuulamäärät sisältävät kuulasäiliövaimentimet ilman mitään muuta vaimennusta kuten laitteen omat alkuperäiset jalat, poislukien kaiuttimet, joissa usein omat jalat, joita voi hyödyntää vakauden saamisessa.

Mutta laitteen kuin laitteeen päälle kannattaa lähes joka tapauksessa lisätä lisäksi eri granulaarimateriaalia laajentamaan värähtelynhallintaa sen taajuuslaajuuden kasvattimiseksi sillä värähtelyä on muutakin kuin vain laitteen oma pääresonanssitaajuus. Esimerkiksi rakenteista, ilmasta, johdoista ja laitteen sisäisesti syntyvää.

Laitteiden päälle, etenkin kevyiden audioelektroniikkalaitteiden, kannattaa lisätä pusseja, rasioita tai koteloita, joissa on eri granulaarisia materiaaleja kuten eri materiaalisia kuulia, hiekkaa, teknistä kumirouhetta, jauhetta, melkein mitä vaan. Ei tarvitse tehdä seoksia vaan eri materiaaleja voi olla päällä eri säiliöissä.

- Erilliset säiliöt voivat lisäksi jakaa massaa eri puolille, mikä voi olla eduksi rakenteen tasapainon kannalta.
- **Törmäys- ja kitkadynamiikka**
  - Kun erikokoiset tai -materiaaliset partikkelit ovat **samassa säiliössä**, ne voivat törmäillä myös keskenään. Tämä tuottaa monimutkaisen (ja usein tehokkaasti energiaa hajottavan) vaimennusilmiön, koska partikkelien väliset törmäykset lisäävät entropiaa ja hajottavat energiaa useisiin suuntiin.
  - Jos eri tyyppiset partikkelit ovat **eri säiliöissä**, ne eivät suoraan vaikuta toisiinsa törmäysten kautta, vaan jokainen säiliö toimii omana vaimenninkanavanaan. Erilliset säiliöt voidaan kuitenkin suunnitella täydentämään toisiaan.
- **Sekoitus, pakkautuminen ja segregaatio**
  - Erikokoiset tai eripainoiset partikkelit voivat **segregoitua** (lajittua) liikkuvassa säiliössä siten, että suuremmat tai raskaammat partikkelit painuvat alas ja kevyemmät pintaan. Tämä voi sekä auttaa että haitata vaimennusta riippuen tilanteesta. Joskus sopiva lajittuminen voi tehostaa kitkaa, mutta toisinaan se johtaa siihen, että osa partikkeleista ei enää liiku vapaasti.
  - **Erillisissä säiliöissä** voidaan välttää ei-toivottua lajittumista tai hallita sitä paremmin (esim. jokaisessa säiliössä on vain yhtä tiettyä partikkelikokoa).
- **Taajuusalueiden kattavuus**
  - Ideana voi olla, että kukin materiaali/partikkelityyppi on “optimoitu” vaimentamaan

eri tyylisiä tai eri taajuusalueiden värähtelyitä (esim. raskaat teräskuulat vaimentavat isompia amplitudeja, kun taas kevyemmät tai kitkaisemmat rakeet reagoivat herkemmin pienempiin liikkeisiin).

– **Sekoitettuna samaan säiliöön** näiden efektien yhteisvaikutus saattaa olla laajakaistainen, mutta myös vaikeammin ennustettavissa.

– **Eri säiliöissä** toteutettuna jokaiselle säiliölle voidaan asettaa omat geometriset (koko, muoto) ja materiaaliset (tiheys, kovuus) parametrit, jolloin kukin säiliö on "räätälöity" tietylle värähtelyalueelle. Näin saadaan hallittu monitaajuusvaimennus.

Päälle sijoitettavat monipuoliset vaimentimet sekä lisäävät laitteen kokonaispainoa tuoden vakautta.

Vaimennuskuvioissa lisäpainohiekkana kannattaa käyttää aavikkohiekkaa, koska se on luonnon pyöreäksi, sileäksi ja tasalaatuiseksi muovaamaa. Se on erinomainen lisäpaino kevyiden laitteiden päälle. Painonsa lisäksi se vaimentaa värähtelyä laajalla kaistalla.

Kuva 17: Lisäpainohiekka mustassa nahkapenaalissa

11 Vaikutuksen testaus

Voit todeta muutoksen kuuloaistin lisäksi esimerkiksi Vibration meter -mobiilisovelluksella.

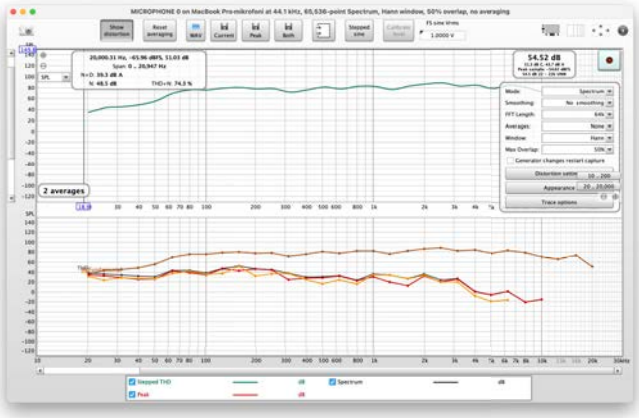
Testaus ennen vaimentimia ja niiden asentamisen jälkeen:

- 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.



Kuva 18: Mittaaminen REW-ohjelmiston Reaaliaika-analyysillä (RTA)

11.1.1 Measurement Info: SNR (Signal-to-Noise Ratio)

SNR ilmaisee signaalin voimakkuuden suhteessa taustakohinaan. Vaimentimet voivat vähentää mekaanista tärinää, mikä voi laskea taustakohinan tasoa ja parantaa SNR:ää.

11.1.2 Measurement Info: SDR (Signal-to-Distortion Ratio)

SDR kuvaa signaalin voimakkuuden suhteessa harmonisiin säröihin. Vaimentimet voivat vähentää resonansseista ja tärinästä johtuvaa harmonista säröä.

11.1.3 Clarity: C80 (Music Clarity Index)

C80 kuvaa musiikin selkeyttä tarkastelemalla, kuinka suuri osa äänienergiasta saapuu ensimmäisten 80 millisekunnin aikana suhteessa myöhemmin saapuvaan energiaan.

Vaimentimet voivat parantaa C80-arvoa vähentämällä tärinästä johtuvia heijastuksia ja resonansseja.

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.

12 Testanneiden kokemuksia

"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!
- Innostus kuunnella musiikkia noussut uusille leveleille, kun tuntuu että läpeensä tutut äänitteet tuovat uusia ahaa-elämyksiä.