

Juha Pirinen

# Auton sisälle kuuluvan rengasmelun vaimentaminen

Opinnäytetyö  
Auto- ja kuljetustekniikka


Huhtikuu 2011




**MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU**

Mikkeli University of Applied Sciences

## KUVAILULEHTI

|  |  |              |            |       |  |
|--|--|--------------|------------|-------|--|
| <br><b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b><br>Mikkeli University of Applied Sciences  | <b>Opinnäytetyön päivämäärä</b>  |              |            |       |  |
| <b>Tekijä(t)</b><br>Juha Pirinen   | <b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b><br>Auto- ja Kuljetustekniikka   |              |            |       |  |
| <b>Nimeke</b><br>Auton sisälle kuuluvan rengasmelun vaimentaminen  |  |              |            |       |  |
| <b>Tiivistelmä</b><br><p>Opinnäytetyön aiheena oli auton sisälle kuuluva rengasmelu. Työhön sisältyi rengasmelun tutkiminen ja nastarenkaiden häiritsevän nastan äänentaajuuden etsiminen. Tarkoituksena oli myös rengasmelun vaimentaminen muutamalla eri materiaalilla ja niiden vaimennuskyvyn tutkiminen ja samalla todeta, kannattaako itse tehdä pienimuotoista äänieristystä autoon ja sen hyödyllisyyttä.</p> <p>Tutkimus jakaantui kahteen eri osa-alueeseen, autoissa tehtäviin mittauksiin ja erilliseen mittausjärjestelyyn, jossa keskityttiin tutkimaan ääneneristysmateriaalien ominaisuuksia eri äänentaajuuksilla. Autoissa tehdyissä mittauksissa keskityttiin melun vaimentamiseen kolmella eri materiaalilla ja lisänä tutkittiin materiaalien sijoittelua sekä tien pinnan vaikutusta auton sisämeluun. Äänentaajuusmittaukset kohdentuivat etsimään häiritseviä äänentaajuuksia.</p> <p>Mittaustuloksista pystyi havaitsemaan testissä olleiden eristysmateriaalien toimivuutta ja niillä saavutettua hyötyä, joka oli parin desibelin luokkaa. Taajuusmittauksissa ilmeni rengasmelun olevan lähinnä matalaa jyrinää. Erillisestä materiaalien eristyskyky mittauksesta kävi ilmi materiaalien toimivuus eri äänentaajuuksilla.</p> <p>Johtopäätöksenä työstä pystyi toteamaan, että suurta vaikutusta ei yksittäisten osa-alueiden eristämällä saada ja kahta eri materiaalia käyttämällä päästään todennäköisesti parempaan lopputulokseen.</p> |  |              |            |       |  |
| <b>Asiasanat (avainsanat)</b><br>autot, melu, renkaat, ääneneristys  |  |              |            |       |  |
| <b>Sivumäärä</b><br>37   | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;"><b>Kieli</b></td> <td style="width: 33%;"><b>URN</b></td> </tr> <tr> <td>Suomi</td> <td></td> </tr> </table> | <b>Kieli</b> | <b>URN</b> | Suomi |  |
| <b>Kieli</b>   | <b>URN</b>   |              |            |       |  |
| Suomi  |  |              |            |       |  |
| <b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>   |  |              |            |       |  |
| <b>Ohjaavan opettajan nimi</b><br>DI Jarkko Peltonen   | <b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b>  |              |            |       |  |

## DESCRIPTION

|  |                            |  |  |
|--|----------------------------|--|--|
| <br><b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b><br>Mikkeli University of Applied Sciences  |                            | <b>Date of the bachelor's thesis</b>                                       |  |
| <b>Author(s)</b><br>Juha Pirinen   |                            | <b>Degree programme and option</b><br>Automotive and Transport Engineering |  |
| <b>Name of the bachelor's thesis</b><br>Tire noise suppression inside of the car   |                            |  |  |
| <b>Abstract</b><br><br><p>This study deals with suppressing the noise inside the car. The objective was to get noise level inside the car lower easily and cheaply.</p> <p>Soundproofing was made only few points on car body. The research was divided into two different areas. I made two measurements one without insulation and the other with insulation. I also studied different insulating materials separately.</p> <p>The results were similar to those expected, insulating materials had an effect, but it was relatively low. Bigger suppression requires the insulation of larger areas of the car.</p> |                            |  |  |
| <b>Subject headings, (keywords)</b><br>cars, noise, tires, soundproofing   |                            |  |  |
| <b>Pages</b><br>37   | <b>Language</b><br>Finnish | <b>URN</b>   |  |
| <b>Remarks, notes on appendices</b><br>cars, noise, tires,   |                            |  |  |
| <b>Tutor</b><br>DI Jarkko Peltonen   |                            | <b>Bachelor's thesis assigned by</b>                                       |  |

## SISÄLTÖ

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | JOHDANTO .....  | 1  |
| 2     | ÄÄNI.....   | 2  |
| 2.1   | Äänenvoimakkuus .....   | 2  |
| 2.2   | Äänentaajuus.....   | 2  |
| 2.3   | Äänenpaine ja äänen absorptio .....                               | 2  |
| 3     | KUULOKYKY .....   | 3  |
| 4     | RENGASMELUN SYNTY .....   | 3  |
| 4.1   | Rakenteelliset syntymekanismit .....                              | 3  |
| 4.2   | Aerodynaamiset syntymekanismit.....                               | 4  |
| 5     | TYÖN TAVOITE JA MENETELMÄT .....                                  | 5  |
| 5.1   | Mittausvälineet .....   | 5  |
| 5.2   | Mittalaitteiden käyttö.....                                       | 5  |
| 5.3   | Materiaalit ja niiden saatavuus .....                             | 6  |
| 5.4   | Kohdejoneuvojen valinta .....                                     | 7  |
| 6     | MITTAUSTEN SUORITTAMINEN .....                                    | 8  |
| 6.1   | Mittaukset autossa .....  | 9  |
| 6.1.1 | Vaimennusmateriaalien sijoittelu ja asentaminen.....              | 10 |
| 6.1.2 | Mittalaitteiden sijoittelu autoon .....                           | 13 |
| 6.1.3 | Testirata.....  | 13 |
| 6.2   | Mittaukset testilaitteessa.....                                   | 13 |
| 6.2.1 | Testilaitteen rakentaminen .....                                  | 13 |
| 6.2.2 | Mittajärjestelyt .....  | 16 |
| 6.2.3 | Testilaitteiston käyttö.....                                      | 17 |
| 7     | MITTAUSTULOKSET .....   | 18 |
| 7.1   | dB mittaustulokset Renault Megane 2006.....                       | 18 |
| 7.2   | Äänentaajuuden muuttuminen 2006 Meganessa eri ajonopeuksilla..... | 19 |
| 7.3   | dB mittaustulokset Renault Megane 2002.....                       | 24 |
| 7.4   | Äänentaajuuden muuttuminen 2002 Meganessa eri ajonopeuksilla..... | 26 |
| 7.5   | Materiaalien ominaisuusmittausten tulokset.....                   | 32 |
| 7.6   | Tulosten tarkistelu ja mittausten onnistuneisuus .....            | 34 |
| 8     | YHTEENVETO .....  | 35 |

|               |    |
|---------------|----|
| LÄHTEET ..... | 37 |
|---------------|----|

## LIITEET

- Liite 1 Äänitasomittarin tekniset tiedot
- Liite 2 Taajuusmittarin tekniset tiedot
- Liite 3 Tietokoneen tekniset tiedot

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on auton sisälle kuuluvan rengasmelun tutkiminen ja sen vaimentaminen. Työ rakentui kahteen eri osa alueeseen autoissa tehtäviin mittauksiin ja erilliseen pienimuotoiseen testijärjestelyyn, jossa tarkoitus oli tutkia äänieristysmateriaalien äänenvaimennuskykyä. Autoissa tehtäviin mittauksiin kuului äänenvoimakkuuden mittaaminen ja äänentaajuuden muutosten mittaaminen eri ajonopeuksilla.

Työn tavoitteena on löytää toimivia äänieristysmateriaaleja työssä olleisiin autoihin. Samalla on myös tarkoitus etsiä materiaaleille sopivaa sijoituspaikkaa autossa, johon on mahdollista asentaa eristeitä ilman auton verhoilun suurempaa purkamista. Työssä käytetään kolmea eri materiaalia, joista kaksi oli varsinaisia äänieristysmateriaaleja ja kolmantena oli vaahtomuovi.

Mittaukset suoritetaan kahdella autolla. Molempiin autoihin tehdään mittaukset jokaisella eristysmateriaalilla ja ilman, jotta saisin vertailukohdan ääneneristysmateriaalien toimivuudelle. Autot kuuluivat alemman keskiluokan autoihin. Valitsin alemman keskiluokan autoja niiden huonomman ääneneristyksen takia.

Rengasmelu ja auton sisämelua ylipäättänsä on tutkittu niin autonvalmistajatahoilta, kuin autolehtien autovertailupalstoillakin. Osa autonvalmistajista asentaa valmiiksi autoihin vuoratut sisälokasuojat, joihin omat mittauksenikin lähinnä kohdistui.

Autonvalmistajille on helppo kohde karsia auton äänenvaimennusta, etenkin edullisemmissa autoissa kustannussyistä ja onhan eristeillä merkitystä myös auton painoon. Autojen paino on lisääntynyt 2000-luvulle tultaessa. Tosin nykyään asiaan on kiinnitetty entistä enemmän huomiota ja positiivista on huomata, että osalla autonvalmistajilla on autojen omamassa pienentynyt aikaisemman mallisukupolven automalliin verrattaessa.

## 2 ÄÄNI

Ääneen liittyy aina jonkinlaista liikettä, ääntä voidaan luokitella miellyttäväksi, kuten hyvä musiikki, tai häiritseväksi eli meluksi, jota esiintyy monissa eri muodoissa ja paikoissa, kuten auton sisälle kuuluva rengasmelu. Ääni on laaja käsite ja siihen liittyy monia eri osa alueita, kuten absorptio, desibeli, äänenpaine ja äänentaajuus.

### 2.1 Äänenvoimakkuus

Äänenvoimakkuuden mittayksikkö on desibeli (dB). On mahdollista mitata 0 dB:n äänen äänenpaine. Fysiikassa mittayksikkönä on Pascal. Kuulokynnys on 0,0002 Pascalia 1000 Hz:n taajuudella. Kaikkia muita ääniä verrataan tähän äänenpaineeseen ja näin saadaan paljon käytetty desibeliasteikko. Eri äänisuureiden, kuten äänenpaineen, äänenintensiteetin ja äänitehon, suuruus ilmaistaan usein absoluuttisyksiköiden sijasta suhteellista logaritmista desibeliä käyttäen. /3./

### 2.2 Äänentaajuus

Äänentaajuus on käytännössä äänilähteen värähtelyä tai värinää, jolloin ilmaan syntyy molekyylien tihentymiä ja harventumia. Värähtelyn tai värinän seurauksena ääni alkaa levitä ilmassa tai muussa väliaineessa ja kun se saapuu korvaan, se aistitaan äänenä. Tihentymien tai harventumien määrä sekunnin aikana on taajuus. Taajuus ilmoitetaan Hertseinä (Hz)./3./

### 2.3 Äänenpaine ja äänen absorptio

Ääniaallon osuessa rajapintaan osa pintaan saapuvasta äänitehosta heijastuu takaisin, osa taas läpäisee pinnan palaamatta takaisin ja osa imeytyy eli absorboituu kyseiseen rakenteeseen muuttuen lämmöksi./1./

Äänenpaineeksi kutsutaan ääniaaltojen aiheuttamaa paineen ja staattisen ilmanpaineen erotusta tietyssä pisteessä. Äänenpaine ilmaistaan yleensä tehollisarvona  $p_{\text{rms}}$ .

Äänenpaineen yksikkö on pascal (Pa)./1./

### 3 KUULOKYKY

Ihmisen kuuloelin, korva, koostuu monesta eri osa-alueesta. Äänen sisältämän informaation välittyminen aivoihin asti on monen tekijän summa. Kuulosysteemi välittää informaatiota akustisesti, mekaanisesti, hydrodynaamisesti ja elektrodynaamisesti. Rakenteellisia osia on itse korva, keskushermoston hermoradoista ja tumakkeista. Korvan vastaanottama ja kuulohermoston välittämä ääniärsyksen informaatio herättää ihmisessä sekä aistimuksia että emotionaalisia vasteita./3./

Kuuloalue on 18- 20 000 Hertziä, vanhemmiten korkeiden äänien kuulokyky heikenee. Kipukynnys on noin 130 desibeliä, jonka ylittyessä kuultava ääni ei enää voimistu vaan muuttuu kivuksi. /3./

Ihmisellä kuulo on herkimmillään 2000- 5000 Hertzin välillä ja taajuusmuutosten erottelukyky on 3,5 Hz alle 500 Hertzin äänillä ja kasvaa sen yläpuolella suuremmaksi. Äänenvoimakkuudessa ihmiskorvan tasonerottelukyky on noin 1 dB ja suunnilleen 10 desibelin äänentason nousu vastaa suunnilleen äänenvoimakkuusaistimuksen kaksinkertaistumista./3./

### 4 RENGASMELUN SYNTY

Rengasmelun synty on monimutkainen ilmiö, jota ei täysin tunneta. Syntymekanismit voidaan jakaa rakenteelliseen ja aerodynaamiseen ryhmään niiden syntyperiaatteen mukaan. Rakenteelliset/mekaaniset värähtelyt voidaan jakaa iskuista aiheutuviin värähtelyihin ja kitkasta eli hystereesistä ja adheesiosta aiheutuviin värähtelyihin. Iskuista aiheutuvat värähtelyt voidaan jakaa kolmeen osaan: kuviopaloista, tien karheudesta ja renkaan litistymisestä aiheutuviin värähtelyihin. Aerodynaamisiin syntymekanismeihin kuuluu kaikki ilman liikkeestä johtuvat päämekanismit: turbulenssi ja ilman kompressoituminen./5./

#### 4.1 Rakenteelliset syntymekanismit

Kuviopalan iskussa renkaan kuvion osa tai esimerkiksi nastarenkaan nasta iskeytyy tien pintaan aiheuttaen radiaalisia värähtelyjä, jotka leviävät myös tangentialisina värähtelyinä renkaan pinnassa ja vyörakenteessa, leviten renkaan kylkiin./5./



Tien karheudesta johtuvan värähtelyn syntymekanismi on samanlainen kuin renkaankuviosta aiheutuvalla värähtelyllä. Tässä tapauksessa tien pinnan karheudet moukaroivat renkaan pintaa. iskut esiintyvät tietyllä taajuudella, renkaan kuvioinnista, tien pinnan karheudesta ja ajonopeudesta riippuen./5./

Kolmantena on renkaan runkorakenteen muodonmuutoksista johtuvat värähtelyt. Tässä tapauksessa värähtely syntyy kun rengas painuu kasaan johtoreunalla ja vapautuu jättöreunalla. Tämä aiheuttaa siten värähtelyjä renkaan runkorakenteeseen ja tämä värähtelytyyppi esiintyy myös sileillä asfalttipinnoilla ja sileillä renkailla./5./

Kitkasta aiheutuvat ovat lähinnä tangentialisia. Kun rengas litistyy kontaktipinnaltaan, radiaalinen saa aikaan tangentialisia voimia renkaan ja tien pinnan välille. Näitä voimia vastustavat kitkavoimat vapautuu, liikuu/luistaa rengas tien pintaan nähden, jolloin syntyy värähtelyjä. Renkaan kulutuspinnan ja tien pinnan välinen kitka voidaan jakaa kahteen osaan adheesioon ja hystereesiin. Adheesion eli takertumisen kannalta on merkittävää millainen tienpinnan rakenne on. Adheesiossa renkaan pinta takertuu tien pinnan mikrorakenteisiin ja kun tämä takertuminen pottää pääsee rengas liukumaan/luistamaan vapaasti tienpinnalla. Hystereesi on yleinen ilmiö, jota esiintyy myös liukkailla pinnoilla. Kontakti alueella karhea tien pinta painautuu renkaan pintaan ja silloin kun se vähentää renkaan liukumista paine on jakaantunut pääsääntöisesti jokaisen roson ympärille. Kuviopalan liukuessa sen johtoreuna kasaantuu tien rosoihin rikkoen kontaktipinnan tienpinnan ja renkaan pinnan väliltä. Tienpinnan makrorakenteella on suuri merkitys hystereesin kannalta. Käytännössä puhdasta adheesio ja hystereesi ilmiötä esiinny, vaan luistamiseen ja liukumiseen vaikuttavat molemmat kitkavoimat./5./

## **4.2 Aerodynaamiset syntymekanismit**

Perusturbulenssi-ilmiö syntyy, kun rengas edetessään vaakasuunnassa syrjäyttää ilmaa ja saa aikaan turbulenttisia pyörteitä. Toinen mekanismi on, kun renkaan kuviopinta kauhoo ilmaa ajon aikana, jolloin tästäkin aiheutuu turbulenttisia pyörteitä. Kokonaismeluun ei renkaan turbulenttisilla ominaisuuksilla ole todennäköisesti vaikutusta.

Ilman kompressoitumisessa pyörivä rengas syrjäyttää ilmaa ollessaan kosketuksissa tien pintaan. Tulopuolella ilma pumppautuu renkaan ja tien pinnan onteloihin. Ilman purkautuessa syntyy melua 1-3 kHz taajuusalueella. Renkaan jättöpuolella melua aiheutuu kun onkaloihin syntyvään alipaineeseen syöksyy ilmaa ja onkalon tilavuus kasvaa nopeasti. Renkaan kuvioinnilla on vaikutusta ilmiön suuruuteen, kuten myös tien pinnallakin. Ilman pumppautumisen uskotaan olevan yksi tärkeimmistä rengas-melun aiheuttajista./5./

## **5 TYÖN TAVOITE JA MENETELMÄT**

Työn tavoitteena oli saada selville testiautojen sisämelu mittaamalla ja vaimentaa sitä kolmella eri materiaalilla ja mitata eristyksen vaikutus auton sisämeluun eri ajonopeuksilla. Tavoitteena oli myös selvittää renkaista auton sisälle kuuluvia häiriötaajuuksia. Lisänä mittauksiin kuului erillisellä mittausjärjestelyllä tehdyt mittaukset ääneneristysmateriaalien vaimennuskyvystä eri äänentaajuuksilla.

Mittausten valmistelu alkoi mittavälineiden, mitattavien autojen, tarvittavien materiaalien ja tilojen hankinnalla. Työssä tarvitsin desibelimittaria, taajuusmittaria ja sille tarvittavan kannettavalle tietokoneelle asennettavan Logger Pro 3 -ohjelman. Mittarit sain lainaan Mikkelin ammattikorkeakoulun fysiikan laboratoriosta.

### **5.1 Mittausvälineet**

Mittavälineitä oli dB-mittari, Lap Pro -tiedonkeruulaite (taajuusmittari), HP- kannettava tietokone ja yleismittari. Kuvassa 1 seuraavalla sivulla on kuva työssä käytetyistä laitteista. Mittalaitteiden ja tietokoneen tekniset tiedot löytyvät liitteistä 1,2 ja 3. Työssä oli myös mukana yleismittari, jolla tarkkailin akun jännitettä mitatessa materiaalien ominaisuuksia.

### **5.2 Mittalaitteiden käyttö**

Desibelimittarin käyttö oli entuudestaan tuttua, kun sitä oli tullut käytettyä fysiikan kurssin laboratoriotöissä. Lisäksi desibelimittarin mukana tuli myös selkeät käyttöohjeet.

Taajuusmittari oli uusi laite, johon ei ollut aikaisempaa käyttökokemusta. Myöskään käyttöohjeita ei sen mukana tullut, mutta oppilaitokselta sain kyseisen laitteen käyttöön opastusta. Laite oli itsessään yksinkertainen ja kompaktin kokoinen laite, se koostui tiedonkeräyksiköstä ja erillisestä mikrofonista. Toimiakseen se vaati myös tietokoneen ja tässä tapauksessa kannettava tietokone oli välttämätön testien kannalta. Tietokoneelle piti asentaa mittauslaitteen vaatima ohjelmisto, jonka sai myös oppilaitokselta. Ohjelma oli hieman hankalakäyttöinen ja se vaati päivityksiä kesken testin. Päivitykset sai ladattua laitteen valmistajan kotisivuilta.



**KUVA 1. Yleiskuva mittalaitteista**

### **5.3 Materiaalit ja niiden saatavuus**

Materiaaleiksi valitsin helposti saatavia paria eri äänieristysmateriaalia ja lisäksi valitsin vaahtomuovin, jota oli jo valmiiksi varastossa monta levyä.

Materiaalien saatavuus on hyvä, äänieristeitä myydään suuremmissa autotarvikeliikkeissä, kuten esimerkiksi Motonet-autotarvikekaupoissa, Biltema-tavarataloissa ja

autohifiin erikoistuneissa liikkeissä. Itse ostin materiaalit Biltemasta. Seuraavalla sivulla taulukosta 1 on materiaalien tietoja.

**Taulukko 1. Äänieristysmateriaalien ominaisuudet**

|                            | Bitumilevy   | Äänieristyslevy  | Vaahtomuovi  |
|----------------------------|--|--|--|
| Mitat (mm)                 | 1000x500   | 1000x500   | 800x300  |
| Paksuus (mm)               | 1,2  | 10   | 12   |
| Paino (g/cm <sup>2</sup> ) | 0,13   | 0,13   | 0,04   |
| Muoto                      | Levy   | Levy   | Levy   |
| Hinta (€/kpl) (Biltema)    | 8,99   | 8,99   | -  |
| Kiinnitys                  | Itsekiinnittyvä  | Itsekiinnittyvä  | Ei itsekiinnitettävyyttä   |
| Käyttökohde                | Väriinöiden vaimennus autossa, veneessä kotitalouskoneissa | Äänen ja lämmön eristäminen autot, veneet, Kestää lämpöä | Ei varsinainen äänieristysmateriaali käyttö esim. kodinkoneiden pakkauksissa suojamateriaalina |

#### 5.4 Kohdejoneuvojen valinta

Mittauksissa käytin kahta eri autoa (taulukko 2). Tarkoituksena oli valita alempaan keskiluokkaan lukeutuvia ajoneuvoja, joissa yleensä äänieristys on heikompi kuin kalliimmissa autoissa. Valitsin autot niiden saatavuuden perusteella, autot sain lainaan tuttavapiiristä. Autoiksi tuli siis kaksi saman autovalmistajan saman mallisarjan ensimmäisen ja toisen sukupolven autot (kuva 2), joka mahdollisti vertailun auton äänieristyksen kehittymisestä siirryttäessä mallista uudempaan.

**Taulukko 2. Testiautojen tekniset tiedot**

| Testiautot    | Renault Megane       | Renault Megane   |
|---------------|----------------------|------------------|
| Ajokilometrit | 44500 Km             | 50200 Km         |
| Vuosimalli    | 2006                 | 2002             |
| Moottori      | 2,0 16v turbo 165 kW | 1,4 16v 70 kW    |
| Polttoaine    | Bensiini             | Bensiini         |
| Vaihteisto    | 6-vaiht.manuaali     | 5-vaiht.manuaali |
| Omamassa      | 1430 kg              | 1155 kg          |

|                             |                    |                 |
|-----------------------------|--------------------|-----------------|
| <b>Korimalli</b>            | 3 ovinen Hatchback | 4 ovinen sedan  |
| <b>Varustelutaso</b>        | RS                 | Authentique     |
| <b>Renkaat</b>              | Michelin           | Nokian          |
| <b>Rengastyyppi</b>         | Nastarengas        | Nastarengas     |
| <b>Malli</b>                | X- ice north       | Hakkapeliitta 4 |
| <b>Koko</b>                 | 205/50 17          | 175/65 14       |
| <b>Valmistusmaa</b>         | Espanja            | Venäjä          |
| <b>Valmistusvuosi</b>       | 2008               | 2009            |
| <b>Kulutuspinna (jälj.)</b> | 7,0 mm             | 7,0 mm          |



**Kuva 2. Testiautot**

## **6 MITTAUSTEN SUORITTAMINEN**

Työn tavoitteena oli tutkia auton sisälle kuuluvaa rengasmelua ja vaimentaa sitä. Tutkimukseen sisältyi äänenvoimakkuuksien mittaaminen ja eniten häiritsevimmäksi nousevien äänentaajuuksien etsiminen eri ajonopeuksilla. Mittaukseen kuului myös erillinen testijärjestely, jonka tarkoituksena oli tutkia työssä käytettyjen ääneneristysmateriaalien vaimennuskykyä eri äänentaajuuksilla.

## 6.1 Mittaukset autossa

Autossa tapahtuviin mittauksiin kuului äänenpaine eli desibelimittaukset ja taajuusmittaukset ilman vaimennusmateriaaleja ja niiden kanssa. Mittauksissa apuna kuljettaja, joka vastasi auton ajamisesta ohjeitteni mukaan. Työhön kuului neljä testiajtoa autoa kohti ja mittaukset tein viikonlopun aikana taktiikalla päivä per auto.

Työ alkoi ensiksi suunnittelemalla sopiva pohja Exceliin, johon oli hyvä kirjata dB-mittarin antamat lukemat ylös. Valitsin ajonopeuksiksi 60, 70, 80, 90, 100 ja lisäksi 120 km/h kokeilumielessä. Ajaminen tapahtui suurinta vaihdetta käyttäen ja tasakaa-sulla, paitsi 60km/h nopeudessa 2006 Meganessa käytettiin vitosvaihdetta. Otin jokaiselle nopeudelle muistiin viisi mittausarvoa, joista Excel-ohjelma laski sitten keskiarvon. Taajuusmittauksissa otin jokaisesta ajonopeudesta kolme kuvaajaa muistiin. Testien aikana oli sisäilmanpuhallin, radio ja muut ylimääräiset äänet vaimennettu häiriö-äänien minimoimiseksi.

Huomioitavaa oli aluksi huuhtoa vedellä lumi pois pyöränkaarista, jottei se vaikuta lähtöarvoihin vaimentavana tekijänä. Ensimmäisenä päivänä oli mittauksissa uudempi Megane. Työ alkoi lähtöarvojen määrittämisellä josta sain vertailupohjan vaimennetuille mittauksille. Työ tapahtui siten, että ensiksi mitattiin desibelit edellä mainituilta ajonopeuksilta ja sen jälkeen otin taajuuskuvaajat muistiin. Sama tapahtui molempien autojen osalla.

Mittauksia hankaloittivat muut autoilijat. Oli myös otettava huomioon, ettei mittaustuloksia otettaessa ollut etenkin keskemällä kaistalla ohittavaa autoa, tai itse oltu ohittamassa muita, koska se vaikutti mittausarvoihin häiriöääninä.

Lisänä kokeilin myös lumisen tien pinnan vaikutusta sisälle kuuluvaan rengasmeluun 80 kilometrin tuntinopeudessa ja samalla tutkin eristeen sijoittelun vaikutusta meluun ottamalla takaistuimen alta pois ja jättämällä pelkästään pyöränkaariin eristyksen. Tämän kokeen suoritin 2006 vuosimallin Meganella vaahtomuovieristyksen kanssa, en siis tehnyt tätä testiä jokaisella materiaalilla vaan pelkästään yhdellä autolla ja yhdellä materiaalilla.



### 6.1.1 Vaimennusmateriaalien sijoittelu ja asentaminen

Vaimennusmateriaaleja laitoin testissä takapyöränkoteloihin autonkorin ulkopuolelle ja taas auton sisällä sijoitun vaimennusmateriaalit takaistuimien alle (kuva 2). Autonvalmistaja ei ole liiemmin bitumimattoa tai muutaakaan äänieristettä takapenkkien istumien alle laittanut, kuten kuvasta 2 näkyy valkoisella ympyröitynä. Ajatuksena on varmaan ollut, että istuimet itsessään vaimentavat ääntä tarpeeksi paljon.



**KUVA 3.** Kuvasta on nähtävissä valmistajan laittaman vaimennusmateriaalin määrä.

Vaimennusmateriaalien laittaminen oli melko kivutonta laittaa pyöränkoteloihin, sekä auton sisälle takaistuimien alle. Pyörän koteloihin asentamista helpotti huomattavasti, kun molemmasta autosta löytyi osittaiset muoviset sisälokasuojat.

Bitumimaton ja äänieristematon asentamista helpotti myös niistä löytyvä liimapinta, joka otti melko hyvin kiinni auton koriin huolellisen puhdistamisen jälkeen. Kolmantena materiaalina olleessa vaahtomuovissa ei ollut liimakiinnitystä, joka vaikeutti hieman kiinnittämistä.

Asennus takapyöränkaariin alkoi puhdistamalla kiinnityspinnat hyvin ensiksi pesemällä kurat ja lumet pois vedellä, joka tapahtui ulkona autotallin edustalla. Sitten auto ajettiin talliin ja kahta hallitunkkia käyttäen nostin auton perän ilmaan ja renkaat irti molemmalta puolelta, jolloin oli hyvin tilaa työskennellä pyöränkaarien kimpussa. Seuraavana työvaiheena oli tarkempi puhdistaminen käyttäen apuna Biltemasta ostettua jarrupesuainetta ja riepua, joilla hankasin liat pois. Sen jälkeen kun pinnat olivat kuivat, oli niihin hyvä liimata vaimennusmateriaalit kiinni. Vaimennusmateriaalit olivat 1000x500 (bitumi ja äänieristysmatto) ja 800x300 (vaahtomuovi) kokoisia, joten ne menivät paikoilleen pyöränkaariin enempiä leikkaamatta, sivuille joutui leikkaamaan pari palasta per puoli, jotta sai eristettyä pyöränkotelot huolellisesti. Liiman lisäksi käytin kiinnityksessä nitojaa jolla niittasin eristeet kiinni muovisiin lokasuojiin, jonka takia ne olivat yhtenä valintakriteerinä autoja valittaessa. Apuna kiinnityksessä oli myös muovilokasuojien kiinnitysruuvit, jotka irrotin ja laitoin materiaalin niiden alle. Hankalin oli kiinnittää vaahtomuovi, kun siinä ei ollut valmista liimapintaa ollenkaan, joten niitit ja ruuvit kannat tulivat tarpeeseen. Kuvassa 4 on 2002 Megane, jonka pyöränkoteloon on kiinnitetty bitumimattoa.



**Kuva 4. 2002 Megane, jonka pyöränkoteloon on kiinnitetty bitumimattoa**

Materiaalit kestivät hyvin kiinni testikierrosten ajan. Mutta jos kiinnitystä miettisi siten, että sen pitäisi kestää kauemmin, liima todennäköisesti suolan ja kosteuden takia menettäisi tartuntakyvyn äkkiä ja hennot nitojan niitit ruostuisivat pois. Ruuvien käy-



tön lisäämisellä luultavasti tilanteesta selviää, mutta niitä ei kannata auton korin pel-tiosiin liiemmin ruuvailla.

Materiaalien irrotus alkoi huuhtelemalla kurat ja loskat pois ensiksi vedellä. Sitten poistin sivuleikkureilla niitit pois ja samalla kiersin auki ruuvit, joiden alle olin laitta-nut materiaalin kiinni. Sen jälkeen vain varovasti repimällä irti vaimennusmateriaalit, tässä vaiheessa taas liimaamaton vaahtomuovi osoittautui luonnollisesti helpommaksi käsiteltävyydeltään.

Asennus auton sisällä takapenkkien istuinosien (kuva 5) alle oli helpompi jo pelkäs-tään asennuspaikan puhtauden takia, riitti lähinnä kun pölyt puhdisti pois.



**Kuva 5. 2002 Meganen takapenkkien alusen eristys toteutettuna vaahtomuovilla.**

Takaistuinten alla molemman auton korissa oli erinäisiä muotoja ja kohoumia, jotka hieman hankaloitti asentamista ja tarpeen mukaan joutui leikkaamaan materiaaleja, tosin lähinnä turvavöiden pistokkeiden kohdalta. Vaahtomuovi ja äänieristematto muotoutuivat hyvin. Bitumimatto oli kylläkin ohuin materiaali, mutta taas jäykin, jo-ten sitä kuumailmapuhaltimella lämmittämällä sai sen muotoutumaan myös halutulla tavalla. Lopuksi kun eristemateriaali oli paikoillaan, laitoin takapenkin istuinosan pai-koilleen ja auto oli testikierrokselle tätä myöten valmis tältä osin.

Tämä prosessi toistui molempien autojen kohdalla kolme kertaa, jonka takia oli syytä saada myös materiaalit ehjänä irti etenkin ensimmäisen auton testien aikana, jotta niitä pystyi käyttämään vielä toisenkin auton kohdalla.

### **6.1.2 Mittalaitteiden sijoittelu autoon**

Mittalaitteet oli sijoitettu autoon siten, että mittaja eli minä istuin auton takapenkillä ja tietokone oli sylissäni. Taajuusmittari oli sijoitettu takapenkille, ja sen mikrofoni oli kiinnitetty apumiehenpuolen etuistuimeen siten, että se oli etupenkkiä niskatukien korkeudella ajoneuvon keskilinjalla. Samassa pisteessä sijaitsee myös dB-mittari, jota mittausten ajan kannattelin oikeassa kädessä. Samaa mittauspistettä käyttää myös autolehti Tuulilasi omissa mittauksissaan, joten tulokset ovat siltä osin vertailukelpoisia.

### **6.1.3 Testirata**

Testiratana toimi valtatie 6 Lappeenrannan kohdalla. Yhtä autoa kohti ajokilometrejä tuli noin 135 kilometriä eli yhteensä työhön sisältyi 270 kilometriä testiajoa. Tie oli asfalttipintainen ja mittausten aikana tien suolauksesta johtuen sula ja märkä. Pakkasta mittauspäivinä oli noin -1-4 °C. Lumisen tien mittauksen tein kantatiellä 380. Tienpinta oli tasaisesti polkeentuneen lumen peitossa.

## **6.2 Mittaukset testilaitteessa**

Tarkoituksena oli mitata valitsemani materiaalien ääneneristyskykyä autossa tapahtuvien mittailujen lisäksi vielä erillisessä ”koepenkissä” äänen taajuutta vaihdellen. Samalla myös kokeilemalla etsin parasta materiaalien yhdistelmää, jolla ääntä pystyisi vaimentamaan, eli laittamalla materiaalia paksummalti tai kahta eri äänieristettä päällekkäin.

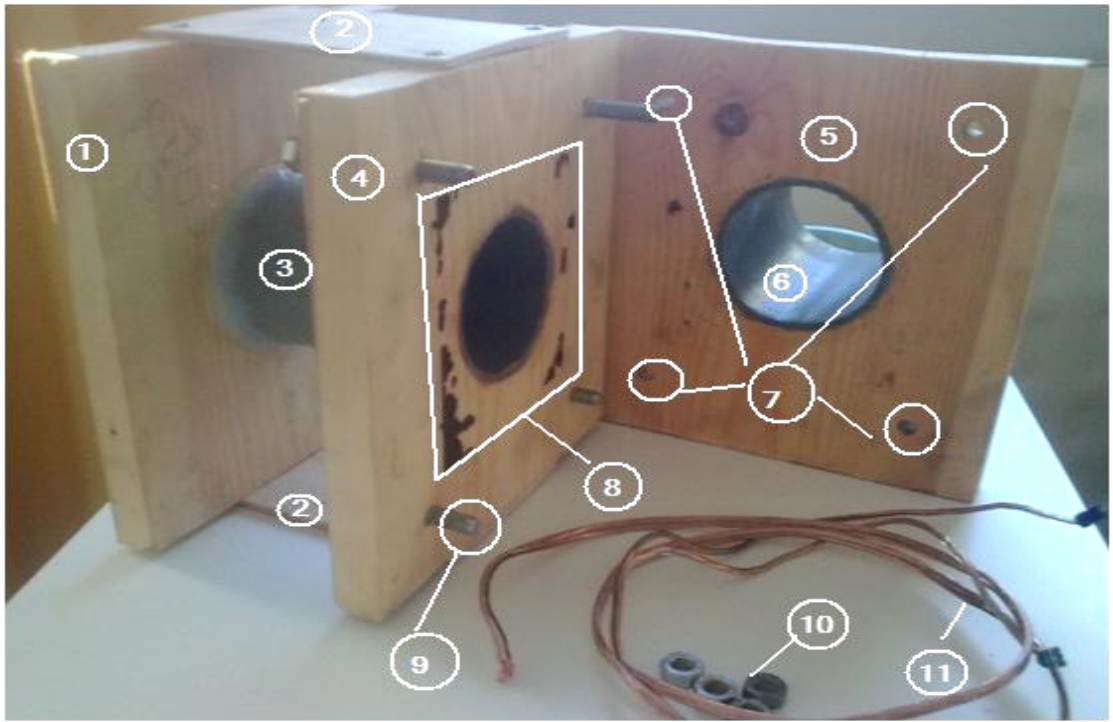
### **6.2.1 Testilaitteen rakentaminen**

Aloitin rakentamisen tekemällä jonkinlaisen rakennelman (kuva 4), johon pitäisi pystyä kiinnittämään äänieristelevyjä ja niiden läpi toistamaan eri ääniä siten, että enimmäkseen ääniaallot ainakin kohdistuisivat desibelimittarin mikrofonia kohden. Kasasin seuraavista tarvikkeista kyseisen laitteen:

- 3x höylätty mäntylauta 185mm x 215 mm ja paksuus 21 mm
- 2x vaneri 120 mm x 90 mm ja paksuus 3 mm
- 2x muoviputki pituus 110 mm sisähalk. 68mm, ulkohalk. 76 mm
- 12 kpl puuruuveja 20mm x3mm
- 4 kpl pultteja M6 50mm
- 4 kpl M6 mutteri
- Kaiutin Sony 2,5 W 3,2Ω 1-544- 436- 13
- Kaiutinjohto 1,2 m
- 2 kpl Abiko naaraspuolen liittimiä
- 1 Tuubi silikonia, saumojen eristykseen

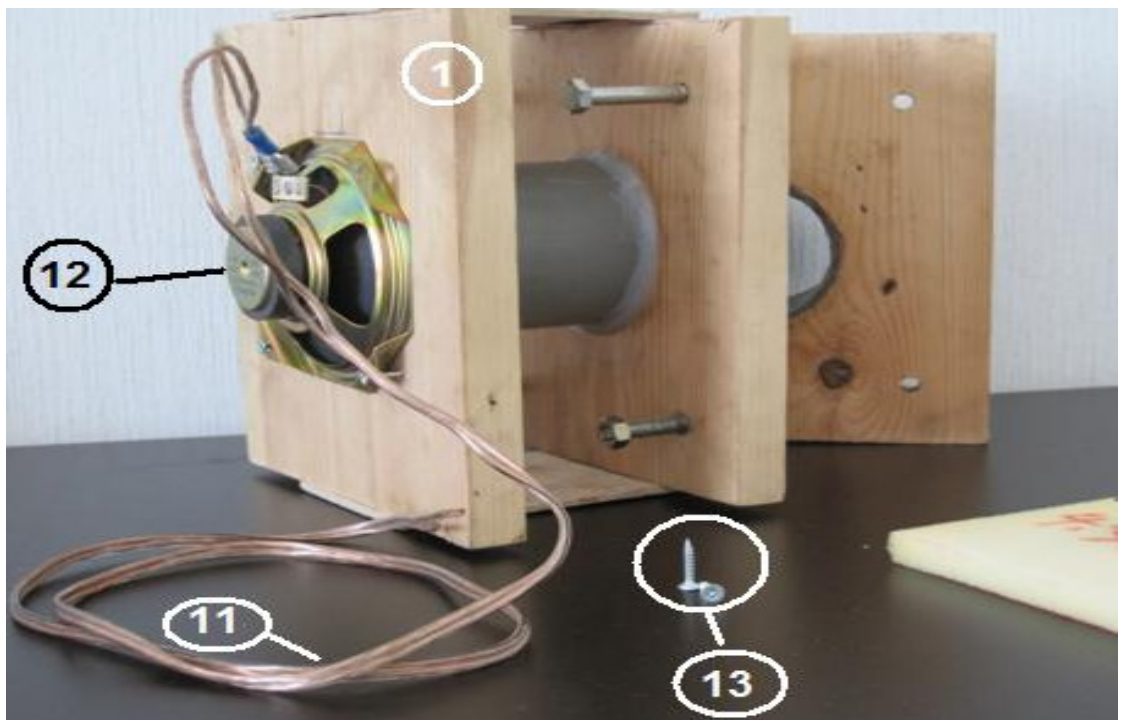
Rakentaminen alkoi sahaamalla mäntylaudasta 3 kappaletta 215 mm pituisia palasia. Seuraavaksi jokaiseen laudankappaleeseen tehtiin muoviputken mentävän reikä keskelle lautaa, jonka halkaisija oli 78 mm. Päätylauta (1), johon kaiutin tuli kiinni, sahattiin reikä isommaksi siten että reiän halkaisija oli 90 mm ja toiselta puolelta 78 mm. Näin ollen kaiuttimen pystyi kiinnittämään lautaan tiiviisti, mutta siten, että kaiuttimen kalvo ei ota kiinni lautaan vaan se mahtuu liikkumaan hyvin. Reiän viistosahaaminen tehtiin pistosahalla josta pystyi säätämään sahauskulmaa. Seuraavaksi pulteille porattiin kahdeksan 14 mm reikää (7) lautoihin (4) ja (5), joiden väliin mitattava materiaali sitten laitetaan (8). Ennen reikien poraamista laitoin muoviputken molempien lautojen läpi, jolloin sain kiinnityspulttien reiät tehtyä kätevästi yhtä aikaa molempaan lautaan.

Sitten muoviputki kiinni (3) levyyn (4). Putken pää tuli samaan tasoon laudan pinnan kanssa, kiinnitys tapahtui silikonilla. Silikonin kuivumisen jälkeen lauta (1) kiinnitettiin putkeen (3) kiinni myös silikonilla, mutta putki upotettiin vain neljä mm syvälle. Sitten asennettiin vaneripalat (2) paikoilleen puuruuveilla levyyn (1) ja (4), jolloin rakennelmasta tuli napakampi. Sitten kiinnitin muoviputken (6) lautalevyyn (5) samaan tasoon laudan pinnan kanssa silikonilla liimaamalla/tiivistämällä. Vielä kaiutinjohtoon (11) naaraspuoliset Abiko-liittimet kiinni, jolloin laite alkoi olla valmis. Kuvassa 4 näkyy myös kiinnityspultit (9) ja mutterit (10).



**Kuva 6. Testilaitte kuvattuna etupuolelta.**

Enää vain kaiutin (12) paikoilleen, se ruuvattiin neljällä puuruuvilla (13) kiinni (kuva7) levyyn (1).



**Kuva 7. Kaiuttimen sijainti testilaitteessa**

## 6.2.2 Mittajärjestelyt

Kasasin äänieristeiden testauslaitteen (kuva 5) työpöydälle, johon kuului seuraavat komponentit:

- Desibelimittari: Integroiva äänitasomittari 7078 (1)
- Testilaite: Omavalmiste (2)
- Kannettava tietokone: Hewlett Packard HP Pavilion dv6505eo (3)
- Yleismittari: LEXA MAS830L (4)
- Vahvistin: Sony 222W XM 222MK2 (5)
- Akku: Biltema 12V 45Ah 410CCA (6)
- Signaali johto: 3,5 mm → RCA
- Keinukatkaisin ja 4 Abiko liittintä, 2 rengaspääliitintä ja 2 lattanaarasliitintä.
- Lisäksi: Virta-, maadoitus- ja herätevirtajohdin.



Kuva 8 Mittausjärjestelyt

Kytkein ensiksi vahvistimen kiinni akkuun, akusta virtajohdin vahvistimen plusnapaan ja samalla akun plusnavasta herätevirtajohto vahvistimeen. Laitoin johdon väliin myös katkaisimen, jotta vahvistimen pystyi sammuttamaan helposti ilman että miinusjohtoa akun navasta olisi tarvinnut aina irrottaa. Seuraavaksi laitoin testilaitteen (kuvassa 5 laite (2)) kaiuttimen johdon kiinni vahvistimeen ja vahvistimelta signaalijohto kiinni tietokoneeseen. Lopuksi vielä kiinnitin vahvistimen maajohdon akun miinusnapaan. Näin ollen systeemi oli käyttövalmis.

### 6.2.3 Testilaitteiston käyttö

Mittaukset alkoivat taas tekemällä Excel-taulukko-ohjelmaan selkeä taulukko, johon syötin mitatut dB lukemat tietyltä taajuudelta. Toistettavat taajuudet latsin tietokoneelle Internetistä suomalaiselta äänitekniikkaan erikoistuneelta sivustolta. Lisäksi tarvitsin ohjelman tietokoneelle, jolla toistaa näytetaajuuksia. Ohjelmana käytin Winamp 5.572 musiikkiohjelmaa.

Näytetaajuuksia oli yhteensä 18 kappaletta väliltä 60 Hz – 20 000 Hz, joka vastaa suunnilleen ihmisen kuuloaluetta. Taajuudet olivat 60Hz, 100Hz, 250Hz, 440Hz, 1kHz, 2,5kHz, 4kHz, 6kHz, 8kHz, 10kHz, 12kHz ja 14kHz, 15kHz, 16kHz, 17kHz, 18kHz, 19kHz, 20kHz.

Testiin leikkasin äänieristelevyistä 120mm x 120mm kokoisia koekappaleita, jotka nimesin seuraavilla lyhenteillä:

- Äänieristyslevy 10 mm = **vaim 1**
- bitumimatto 1,2 mm = **vaim 2**
- Vaahtomuovi 12 mm = **vaim 3**
- Ilman vaimennusta = **nollataso**

Säädin vahvistimen minimiteholle ja Winampin ja tietokoneen oman äänenvoimakkuuden puolelle teholle ja annoin niiden olla mittausten ajan samoissa asetuksissa.

Ensiksi mittasin lähtöarvot eli tein vaimentamattomat (**nollataso**) mittaukset läpi koko näytetaajuusalueen ottaen joka taajuudelta viisi mittausarvoa ylös, joista Excel ohjelma laski keskiarvon. Sitten mittasin materiaalit **vaim1**, **vaim2** ja **vaim3** ja lisäksi yhdistelemällä materiaaleja seuraavasti: **vaim1 + vaim2** ja **vaim2 + vaim2**.

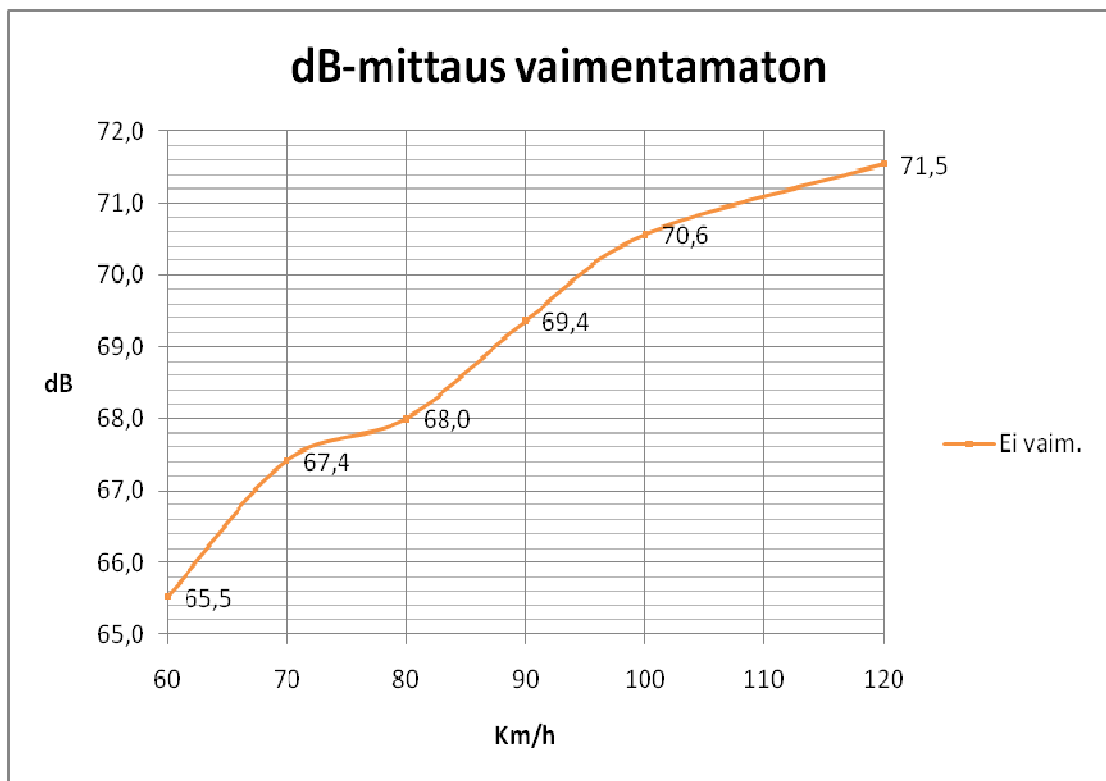


## 7 MITTAUSTULOKSET

Mittaustuloksissa on tarkisteltu autojen sisälle kuuluvaa rengasmelua ja sen vaimentamiseen käytettyjen eristemateriaalien vaikutusta havainnollisilla kuvaajilla, joista näkyy lähtötilanne ja vaimennuksen vaikutus. Lisäksi tien pinnan ja materiaalin sijoittelun vaikutus on tuloksissa esitetty. Tuloksissa on omassa kohdassaan tarkisteltu pelkästään eristemateriaalien vaimennuskykyä kuvaajien avulla. Myös rengasmelun äänen taajuutta on pyritty selvittämään. Taajuusmittausten tulokset on myös esitetty kuvaajien muodossa.

### 7.1 dB mittaustulokset Renault Megane 2006

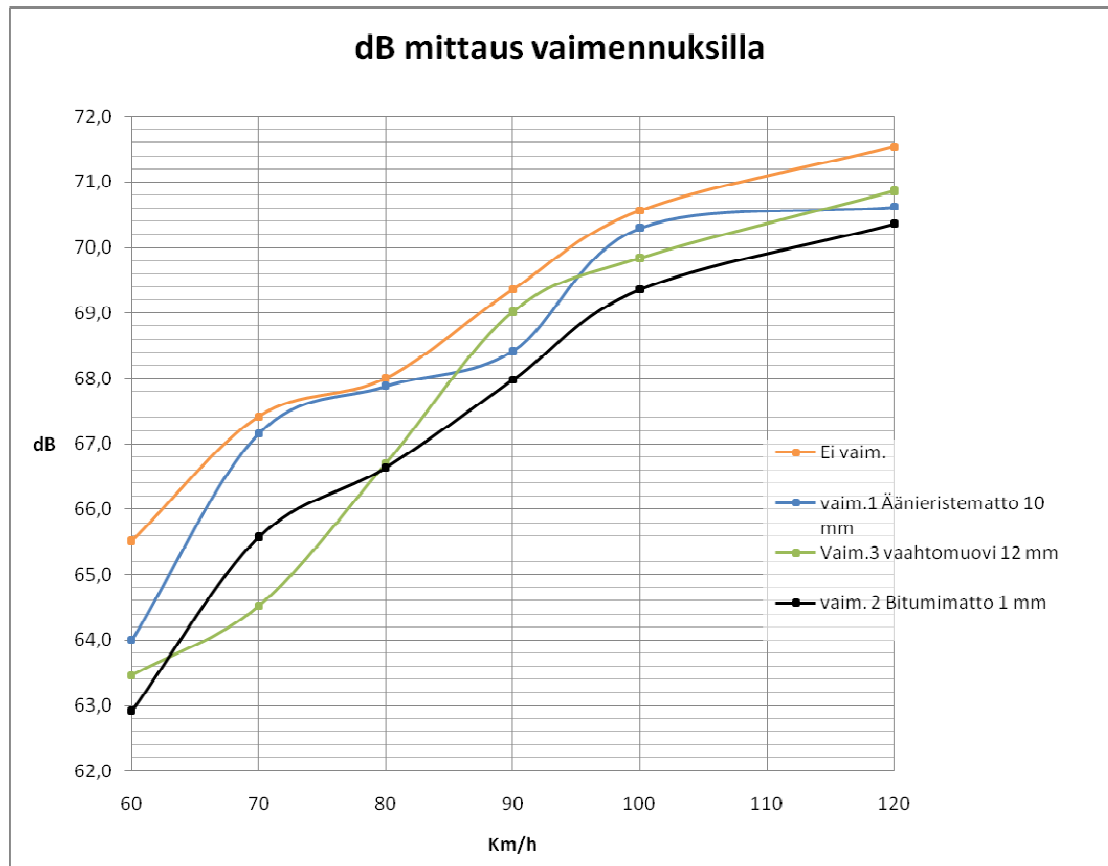
Kuvassa 9 on uudemman Renaultin sisälle kuuluvaa melua esittävä kuvaaja. Kuvaajasta näkyy lähtötilanne ilman lisättyjä äänieristyskykyjä.



**Kuva 9. Vm -06 Megane ja sen sisämelun kuvaaja**

Kuvassa 10 on verrattu vaimennusmateriaalien vaikutusta vaimentamattomaan lähtötilanteeseen. Tässä on nähtävissä, että pyöränkaariin ja takapenkkien alle sijoitetulla bitumimatolla (musta viiva kuvaajassa) päästään noin pari desibeliä alaspäin sisäme-

lussa hyvin tasaisesti. Kun taas 10 mm äänieristyslevy ei toimi kovin hyvin tässä tapauksessa, se lähinnä kykenee leikkaamaan sanottavasti melua alhaisessa sekä korkeammassa nopeudessa, silloinkin liikutaan 1-1,5 desibelin vaimennuksessa. Kun, taas bitumimaton vaimennuskyky oli lineaarisempaa. Vahtomuovi näytti käyttäytyvän taas juuri päinvastoin kuin äänieristelevy (vaim1). Sekin on lopputulokseltaan heikompi kuin bitumimatto.

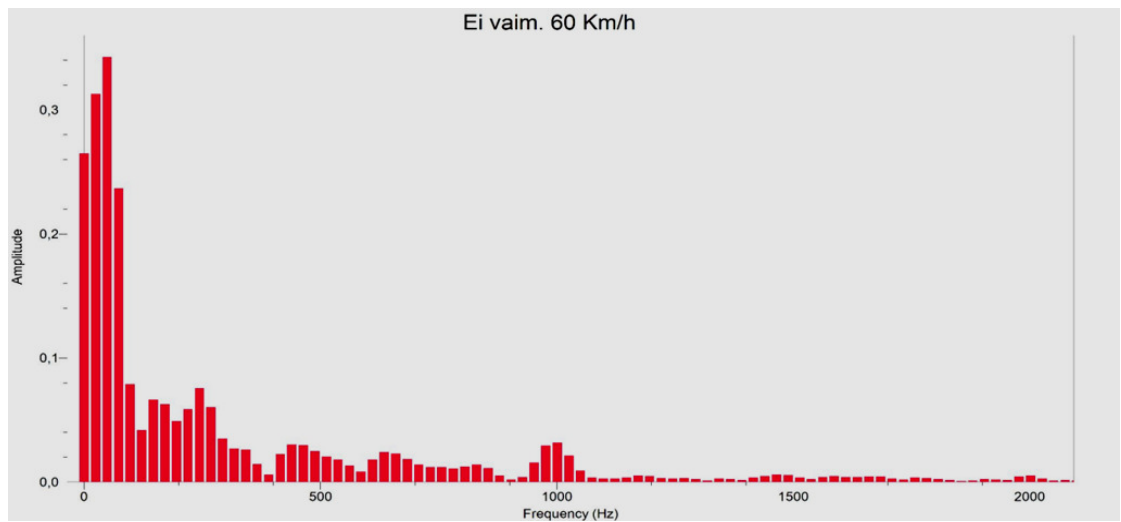


**Kuva 10. Kuvaajassa on nähtävissä äänieristuksen vaikutus eri ajonopeuksilla.**

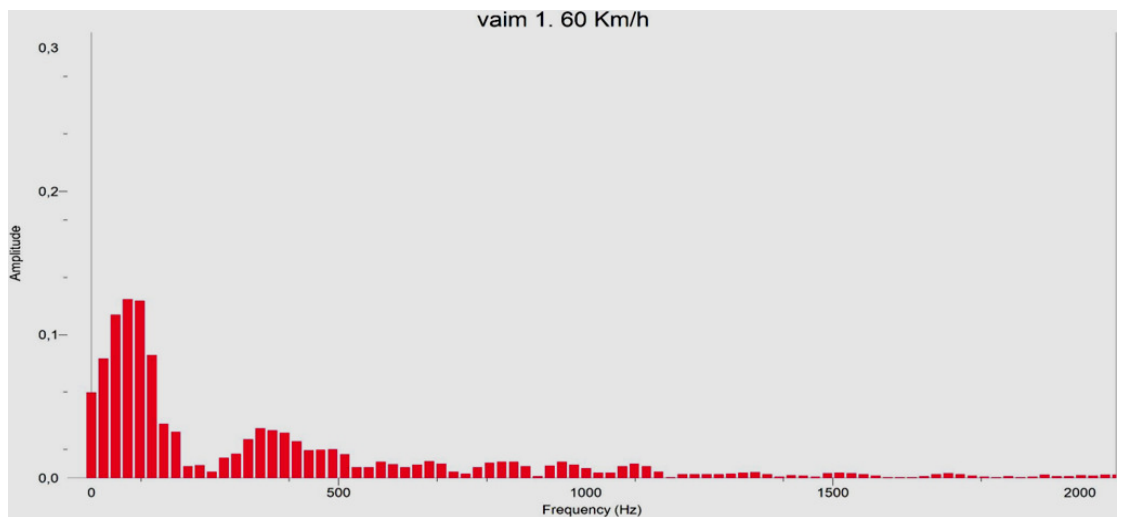
## 7.2 Äänentaajuuden muuttuminen 2006 Meganessa eri ajonopeuksilla

Äänentaajuuden osalta tuloksissa on tarkisteltu 60 Km/h, 80 Km/h ja 100 Km/h tuloksia, jotka ovat yleisimmät ajonopeudet Suomen tieliikenteessä. Testissä otettiin kolme mittaustosta jokaiselta ajonopeudelta ja eristevariaatiolta. Seuraaviin kuvaajiin on valittu saatujen mittaustulosten joukosta ne joissa on vähiten asiaankuulumattomia häiriöääniä. Kuvaajista on nähtävissä eri taajuudet 0-2000 Hertzin väliltä.

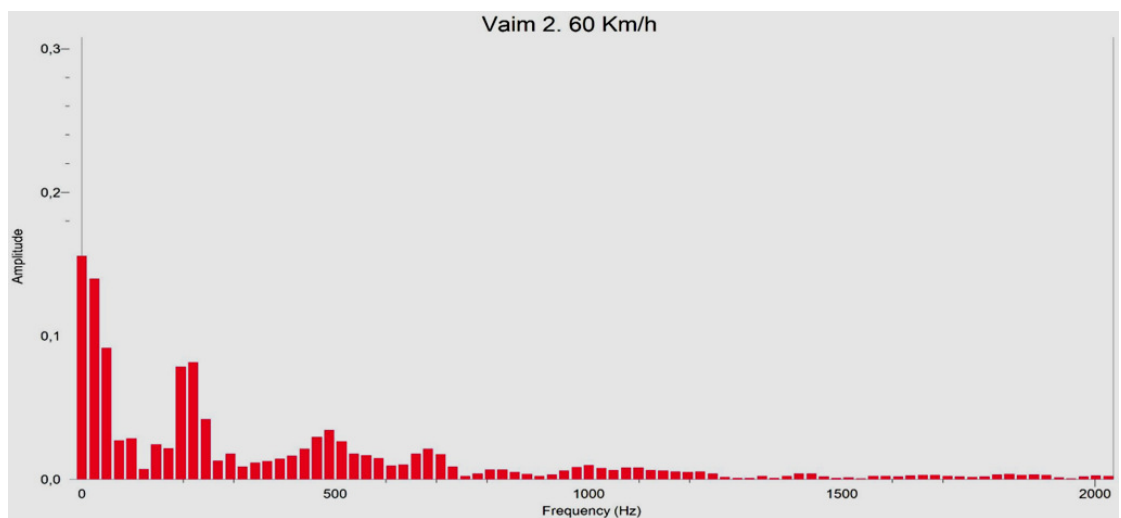




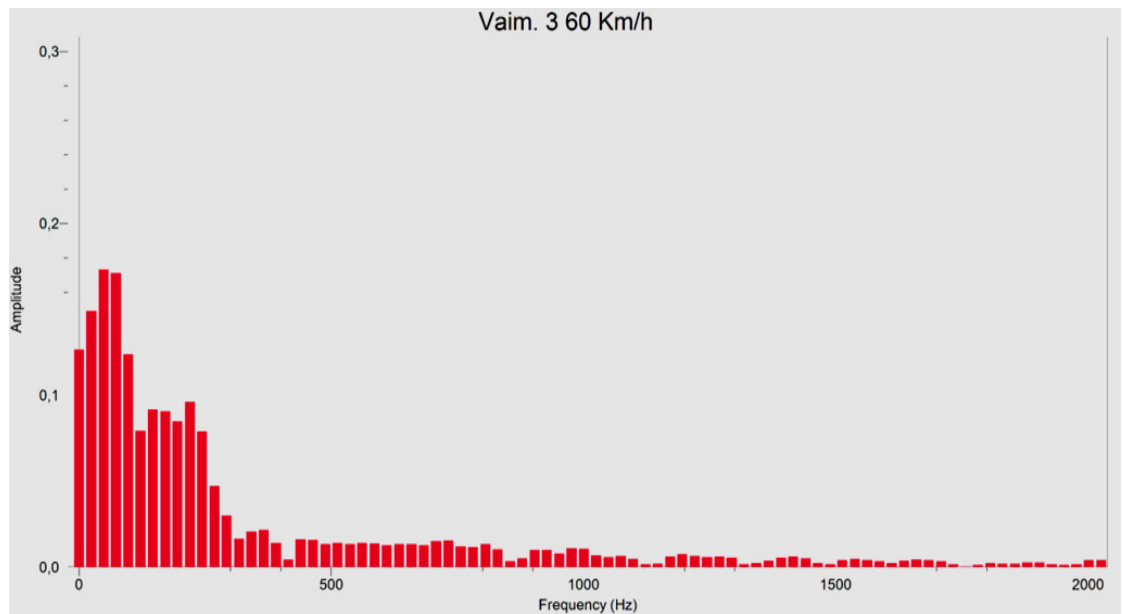
**Kuva 11. Eristämätön auto 60 Km/h nopeudessa. (Megane 06)**



**Kuva 12. Vaim. 1 vaikutus äänentaajuuksiin 60 Km/h nopeudessa. (Megane 06)**



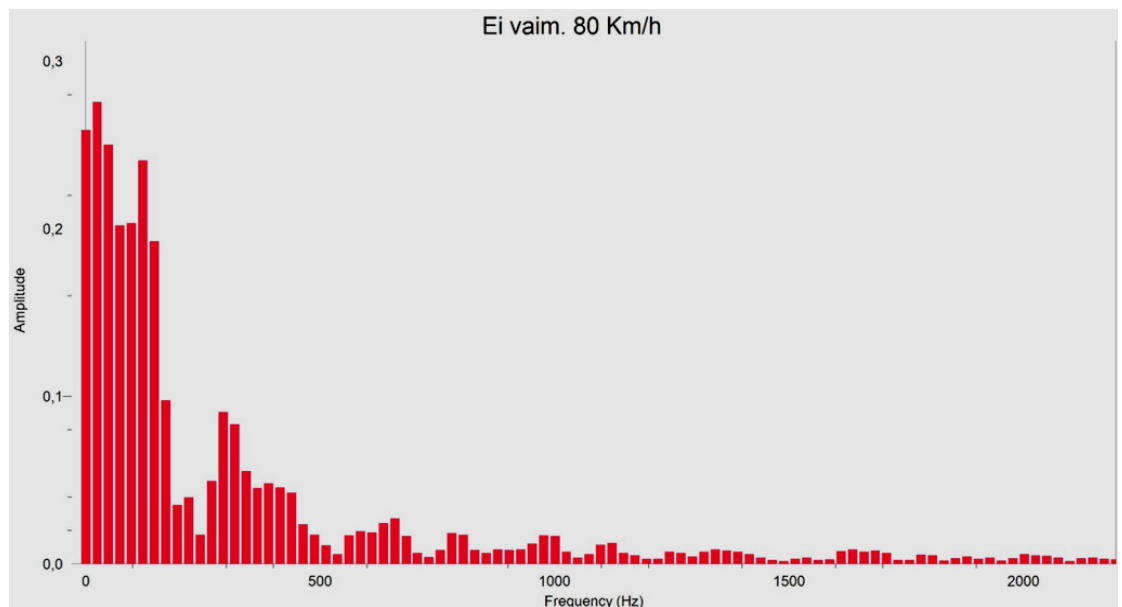
**Kuva 13. Vaim. 2 vaikutus äänentaajuuksiin 60 Km/h nopeudessa (Megane 06)**



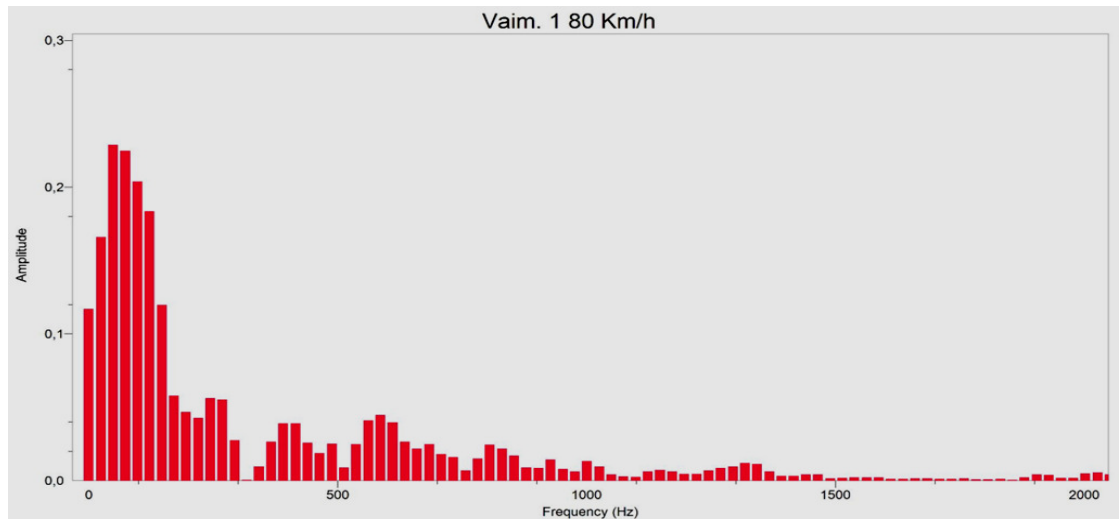
**Kuva 14. Vaim. 3 vaikutus äänentaajuuksiin 60 Km/h nopeudessa (Megane 06)**

Kuvissa 11- 14 on esitetty kuvaajien muodossa 60 Km/h ajonopeudella äänieristyksen vaikutusta äänentaajuuksiin. Lähtöarvona on kuvan 11 kuvaaja. suurin ero on noin 100 Hertzin tietämillä, jossa äänieristysmateriaalit pystyvät leikkaamaan äänentaajuuksia noin 1/3 osan.

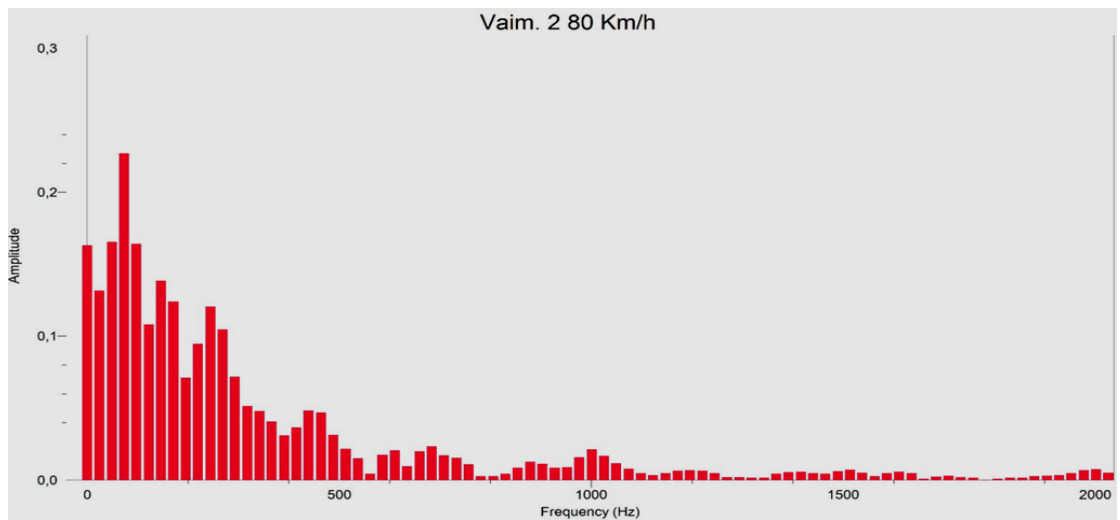
Kuvissa 15- 18 on taajuudet 80 Km/h nopeudelta. Kuvaajista näkee, että kovin suurta muutosta ei tapahdu, vaikka ajonopeus kasvaa 20 Km/h.



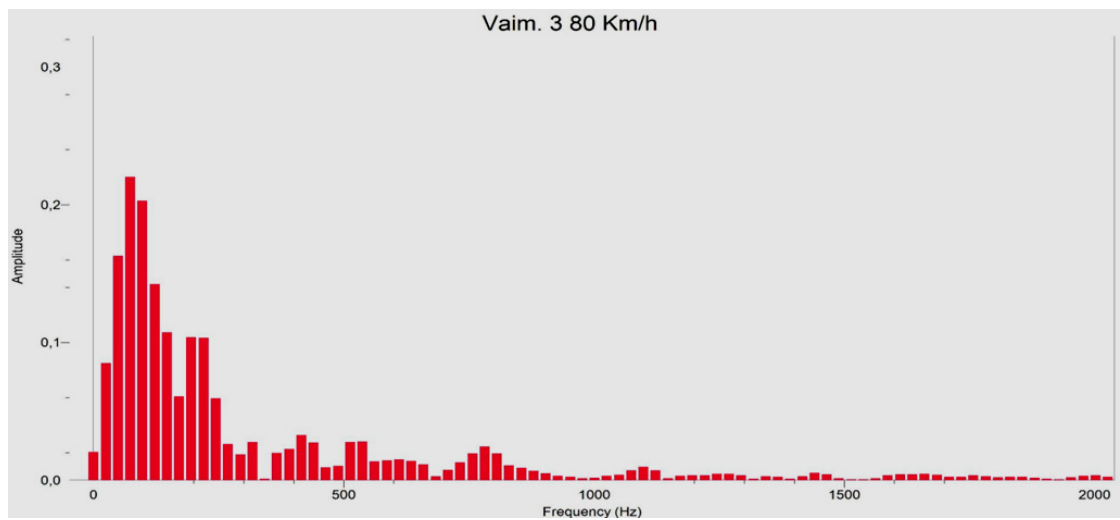
**Kuva 15. Eristämätön auto 80 Km/h nopeudessa (Megane 06)**



**Kuva 16. Vaim. 1 vaikutus äänentaajuuksiin 80 Km/h nopeudessa (Megane 06)**



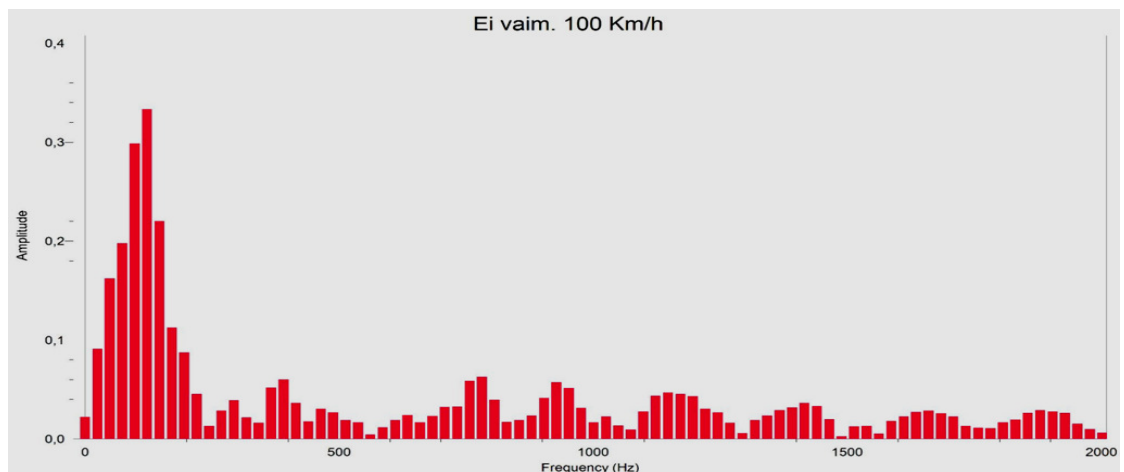
**Kuva 17. Vaim. 2 vaikutus äänentaajuuksiin 80 Km/h nopeudessa (Megane 06)**



**Kuva 18. Vaim. 3 vaikutus äänentaajuuksiin 80 Km/h nopeudessa (Megane 06)**

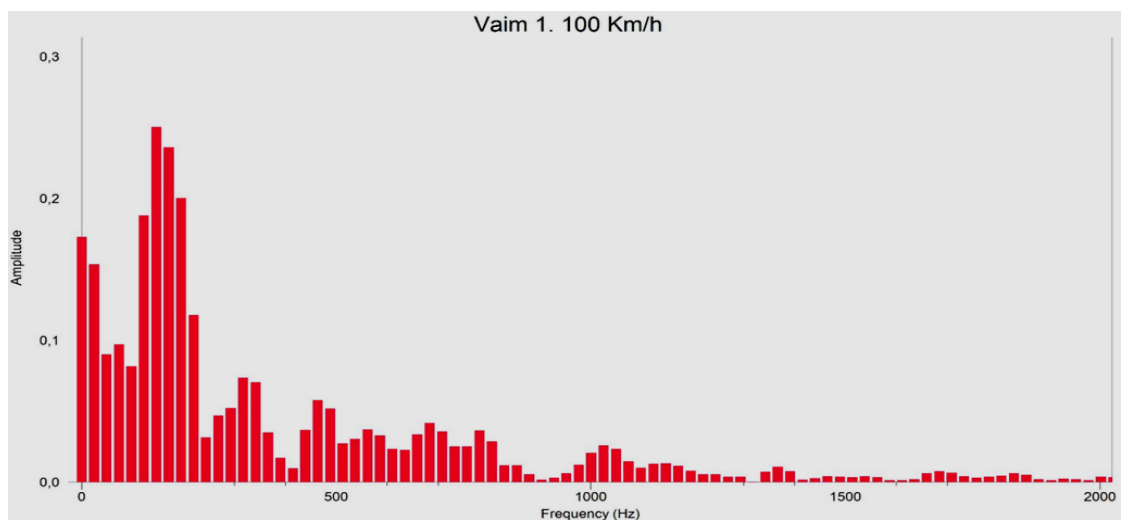
Kuvassa 19 on vaimentamattoman mittauksen kuvaaja 100 Km/h nopeudesta. 500 Hertzin yläpuoliset äänet ovat voimistuneet verrattaessa kuvien 11 ja 15 kuvaajiin. Alemmat taajuudet ovat kestäneet samansuuruisina.

Kuten teoriaosuudessa oli mainittu rengasmelun yhdeksi aiheuttajaksi ilman ”pumpautumis ilmiö” suuremmilla ajonopeuksilla, jota tapahtuu 1-3 kHz välillä. Tässä (kuva 19) on nähtävissä todennäköisesti kyseistä ilmiötä, amplitudi on kasvanut 1000 Hertzin ja sen yläpuolisilla taajuuksilla.

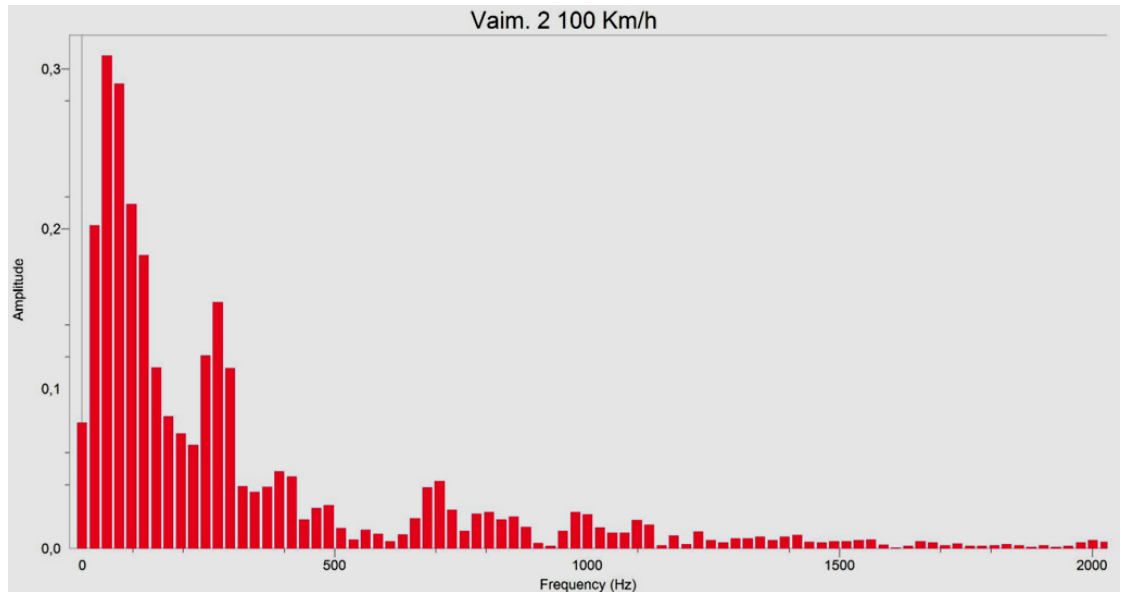


**Kuva 19. Eristämätön auto 100 Km/h nopeudessa (Megane 06)**

Mittaustuloksista voi havainnoida myös sen, että 60 ja 80 kilometrin tuntinopeuksilla äänieristeet leikkasivat 100 Hertzin tienoilla olevaa huippua, mutta taas ei enää 100 Km/h nopeudella.

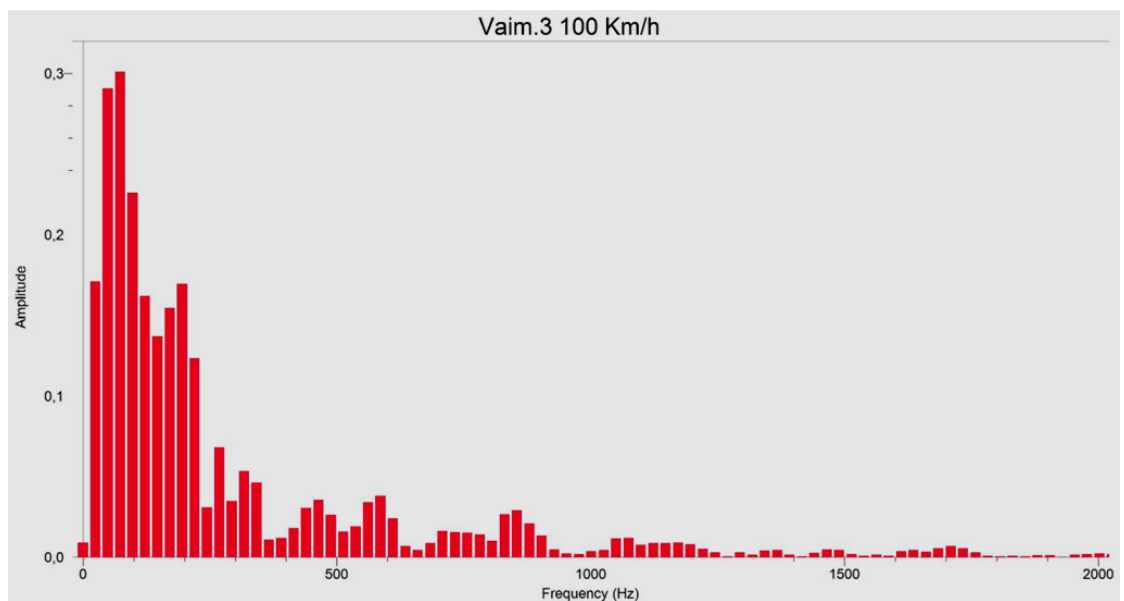


**Kuva 20. Vaim.1 vaikutus äänentaajuuksiin 100 Km/h nopeudessa (Megane 06)**



**Kuva 21. Vaim. 2 vaikutus äänentaajuuksiin 100 Km/h nopeudessa (Megane 06)**

100 Km/h nopeudessa kasvoivat 1000 Hertzin yläpuolisten äänentaajuuksien amplitudi selkeästi ja äänieristeet pystyivät vaimentamaan sitä.

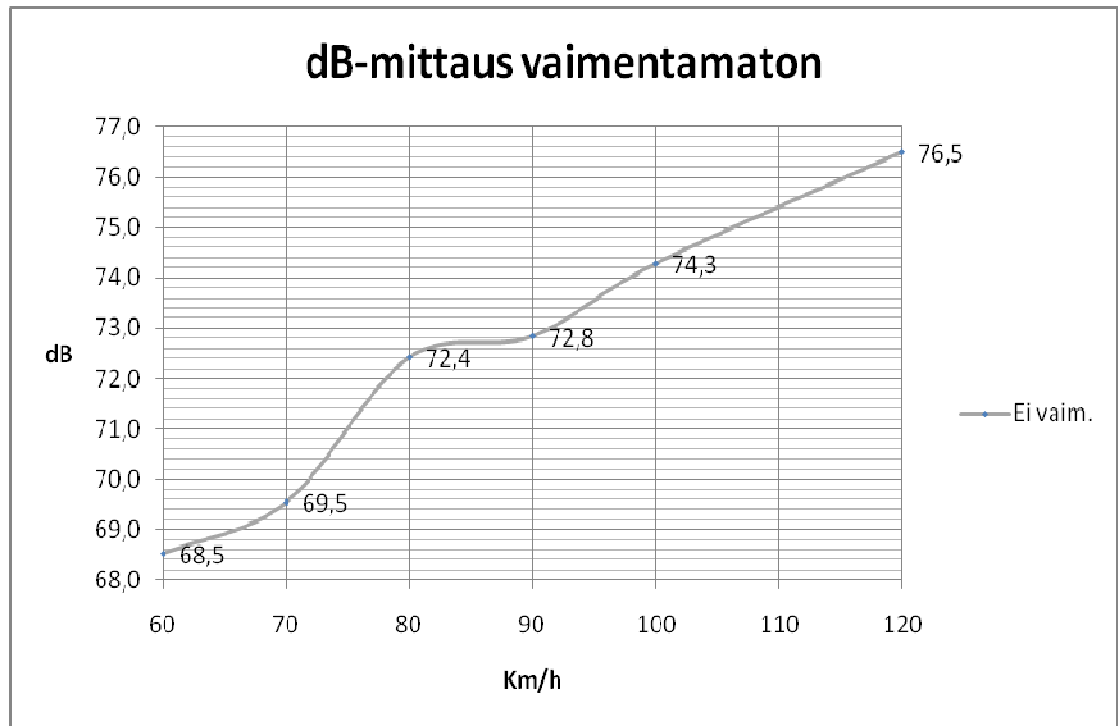


**Kuva 22. Vaim. 3 vaikutus äänentaajuuksiin 80 Km/h nopeudessa (Megane 06)**

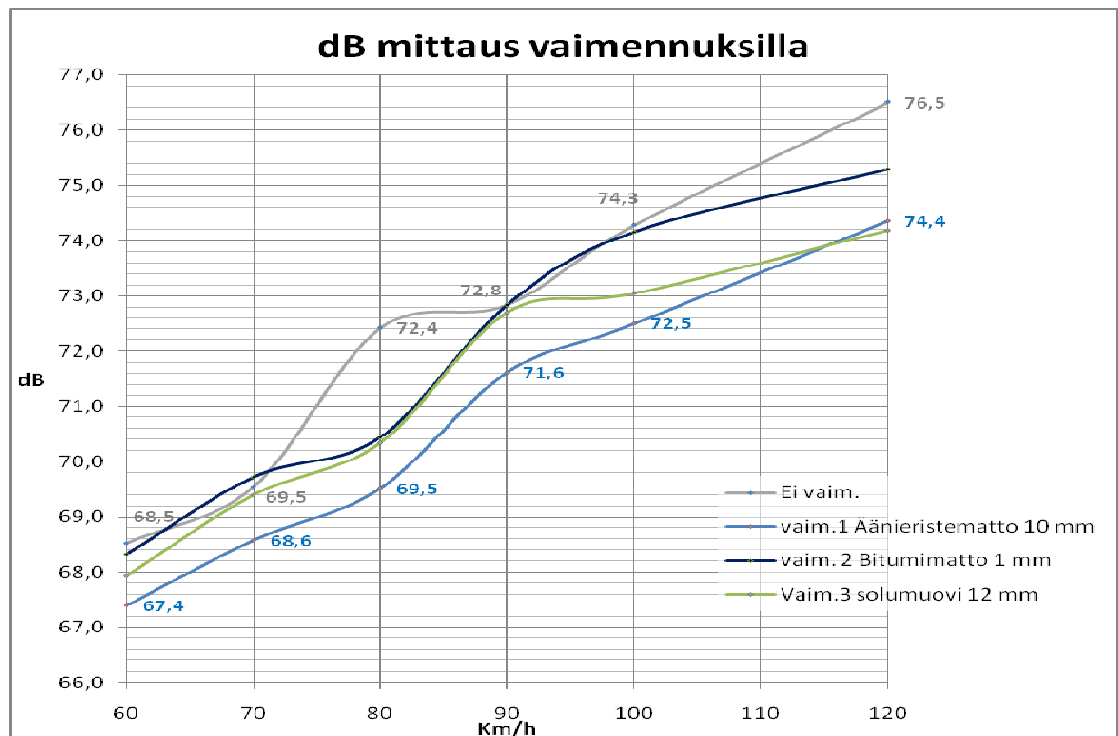
### 7.3 dB mittaustulokset Renault Megane 2002

Vanhempi Renault Megane oli otollisempi testikohde sen ollessa meluisampi auto, joten eroja oli helpompi saada esille ja vaimennuksesta on tässä autossa käytännössäkin enemmän hyötyä meluisuutensa takia. Kuvaajasta (kuva 23) näkyy auton lähtöti-

lanne. Havaittavaa siinä 80 kilometrin nopeudella oleva ”hyppäys” sisämelussa. Samantyylinen pykällys löytyy uudemmastakin Meganen sisämelun kuvaajasta, mutta miedompana.



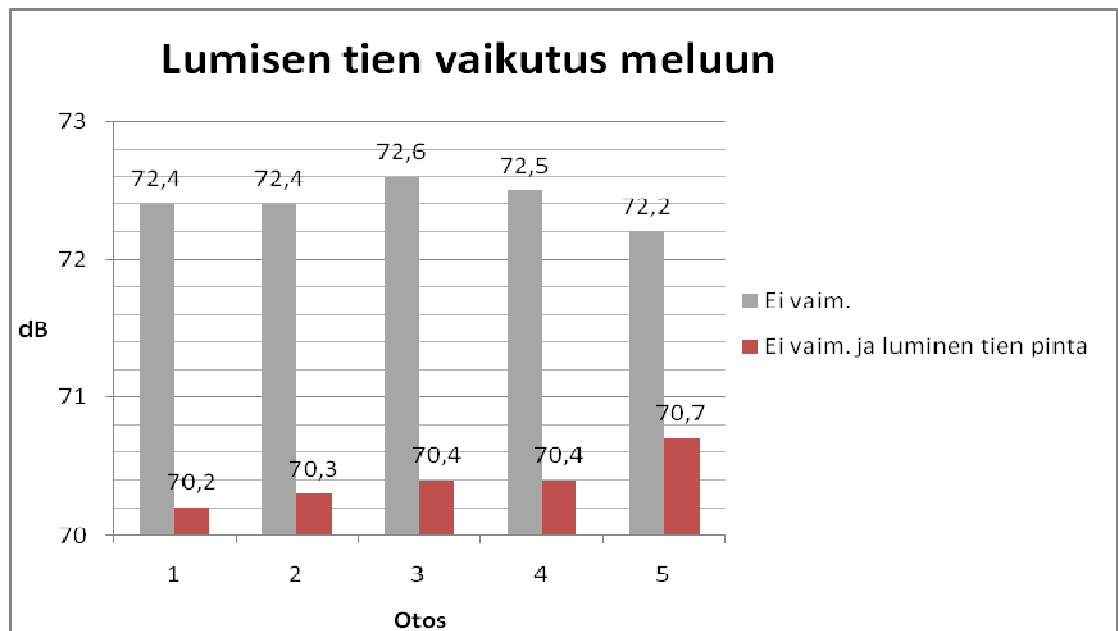
**Kuva 23. 2002 vuosimallin Meganen sisämelukuvaaja 60- 120 Km/h väliltä.**



**Kuva 24. Vertailu eristeiden vaikutuksesta lähtöarvoon (Megane 2002)**

Huomattavaa on, että materiaalit toimivat eri tavalla eri autoissa. Huomioitava on myös, että auton korimallillakin voi olla vaikutusta materiaalien toiminnassa. Kuten edellisellä sivulla olevasta kuvasta 24 on havaittavissa, että bitumimatto, mikä toimi uudemmassa Meganessa parhaiten näyttäisi toimivan huonosti tässä autossa. Bitumimaton hyöty on lähes olematon muulta osin paitsi 80 kilometrin tuntinopeuden kohdalla. Parhaiten näyttäisi toimivan taas 10 mm äänieristematto, joka oli huonoin toisen auton kohdalla. Eristyskykyä oli äänieristematolla parhaimmillaan liki 3 desibeliä. Vaahtomuovi toimi suunnilleen samalla tavalla kuin toisenkin auton kohdalla.

Tienpinnalla oli vaikutusta sisälle kuuluvaan rengasmeluun lähinnä hävittämällä häiritsevin nastan aiheuttama rohina. Kuvasta 25 näkyy viisi eri mittaustosta, joista näkyy ero sulan asfaltin ja lumisen tienpinnan välillä.

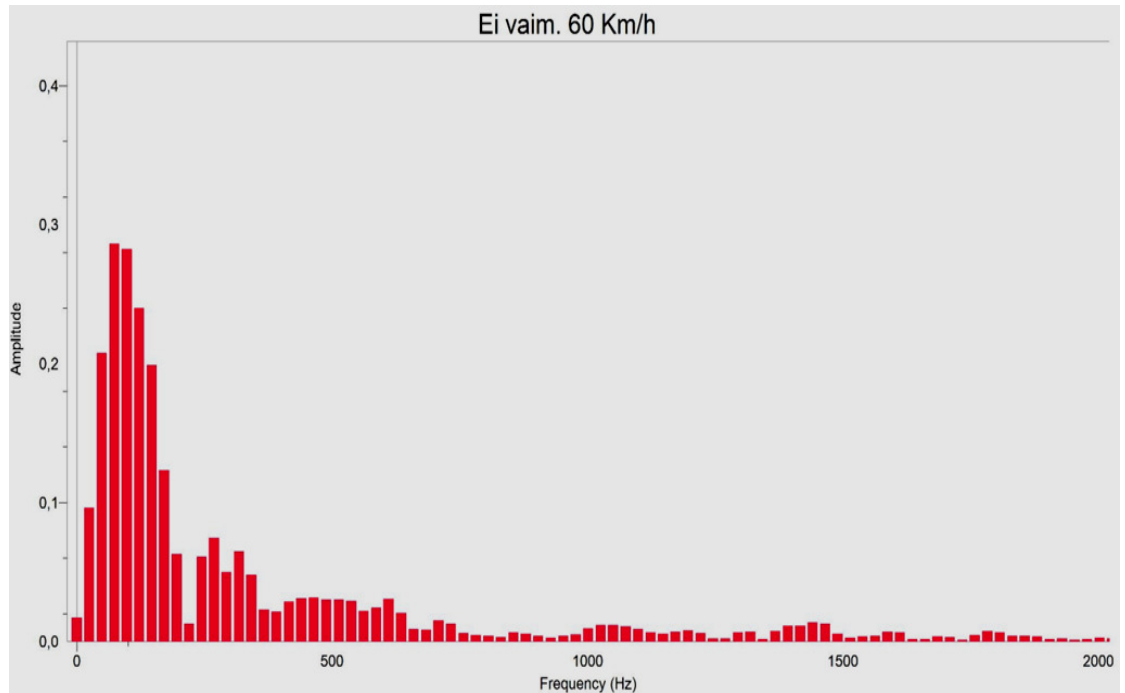


**Kuva 25. Renault Megane 2002 ajonopeus 80 Km/h**

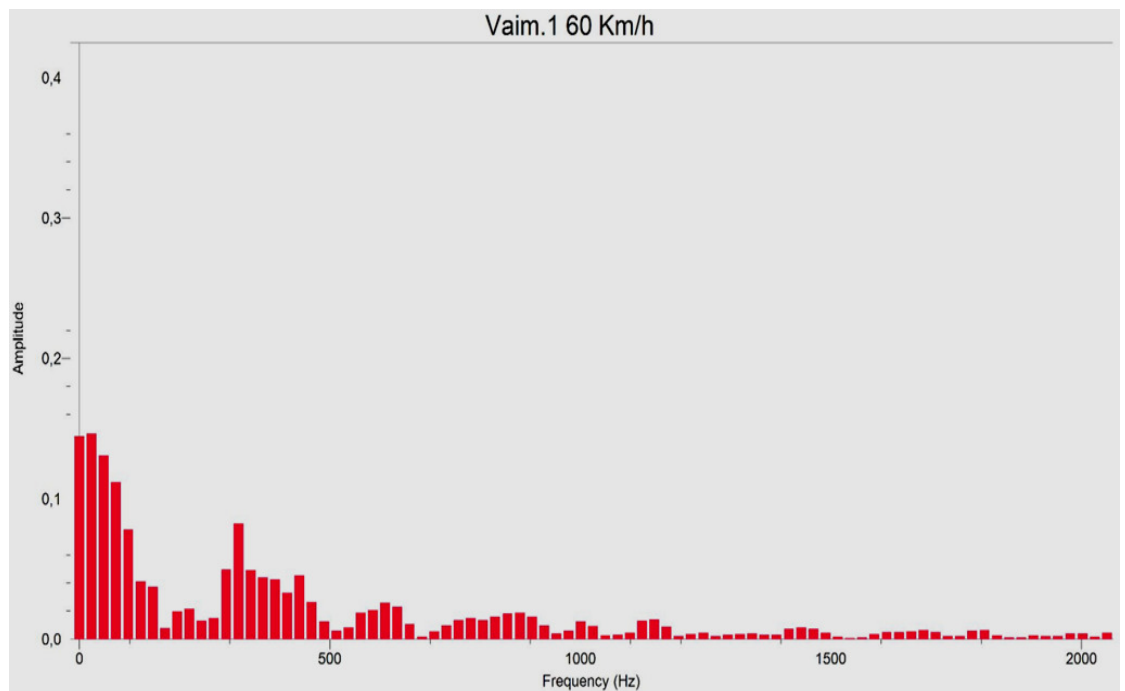
Eroa syntyi keskimäärin 2 desibeliä. Luku on saatu laskemalla keskiarvo mittaustuloksista ja vähentämällä se sulan tien mittaustuloksen keskiarvosta. Mittaus suoritettiin 80 kilometrin tuntinopeudessa.

#### **7.4 Äänentaajuuden muuttuminen 2002 Meganessa eri ajonopeuksilla**

Vanhemmastakin Meganesta mitattiin äänentaajuudet samalla tavalla kuin 2006 vuosimallin Meganestakin. Seuraavilla sivuilla on esitetty saadut mittaustulokset.



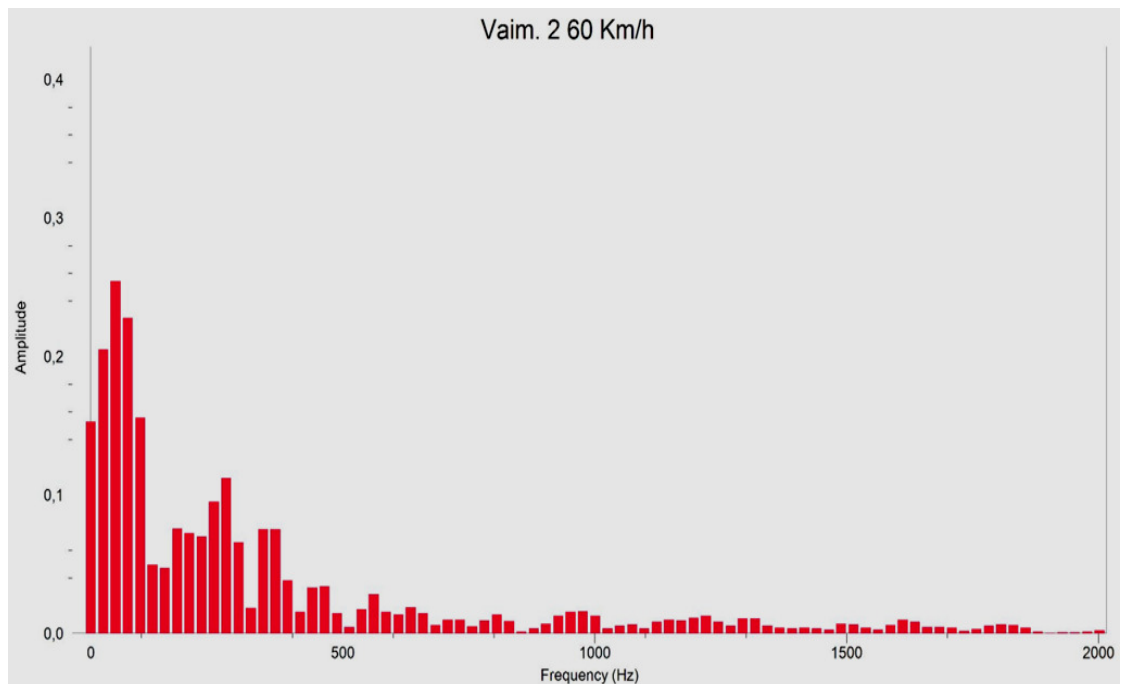
**Kuva 26. Eristämätön auto 60 Km/h nopeudessa (Megane 02)**



**Kuva 27. Vaim. 1 vaikutus äänentaajuuksiin 60 Km/h nopeudessa (Megane 02)**

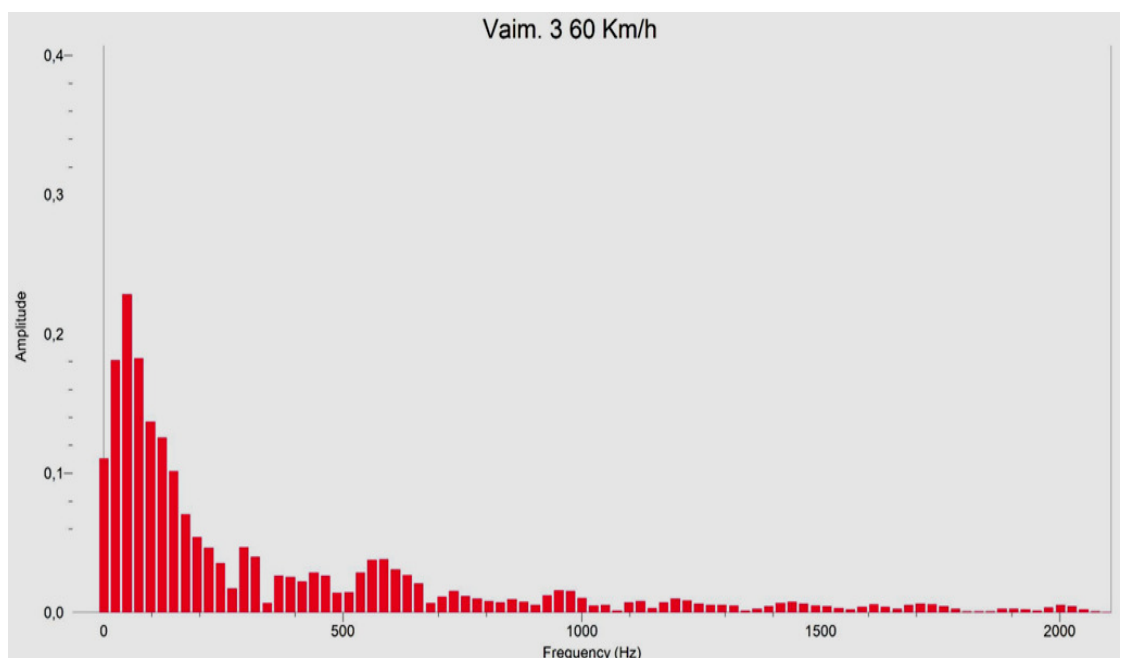
Kuvasta 27 näkyy äänieristyslevyn 10 mm vaikutus 60 Km/h ajonopeudessa. Kyseinen eriste osoittautui parhaiten toimivaksi dB mittauksissakin



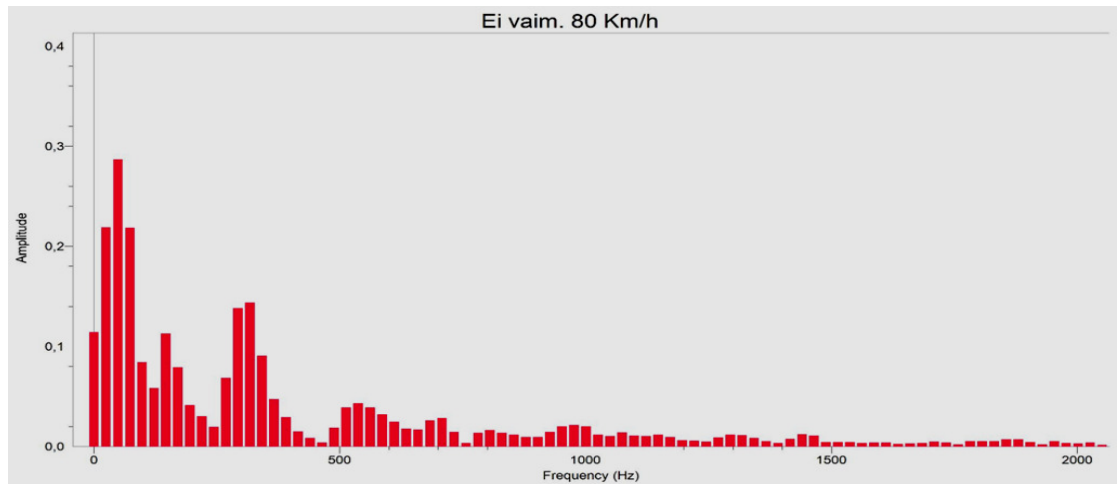


**Kuva 28. Vaim. 2 vaikutus äänentaajuuksiin 60 Km/h nopeudessa (Megane 02)**

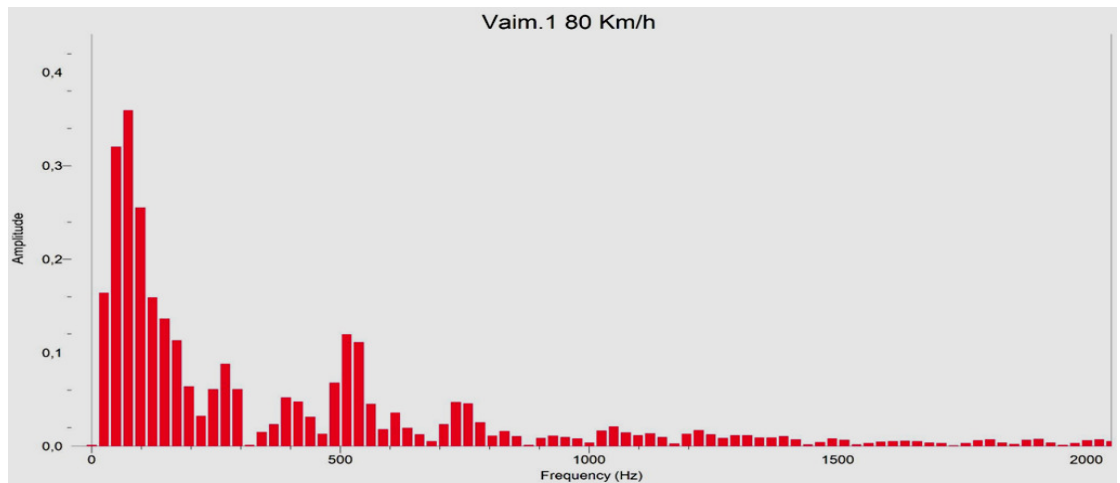
Kuvassa 28 on bitumimaton taajuuskuvaaja 60 km/h nopeudelta. Kuvaajasta näkee, että eristämisellä ei ole ollut kovin paljon hyötyä. Kuvaaja on muodoltaan hyvin samanlainen kuin eristämättömänkin auton kuvaaja (kuva 26).



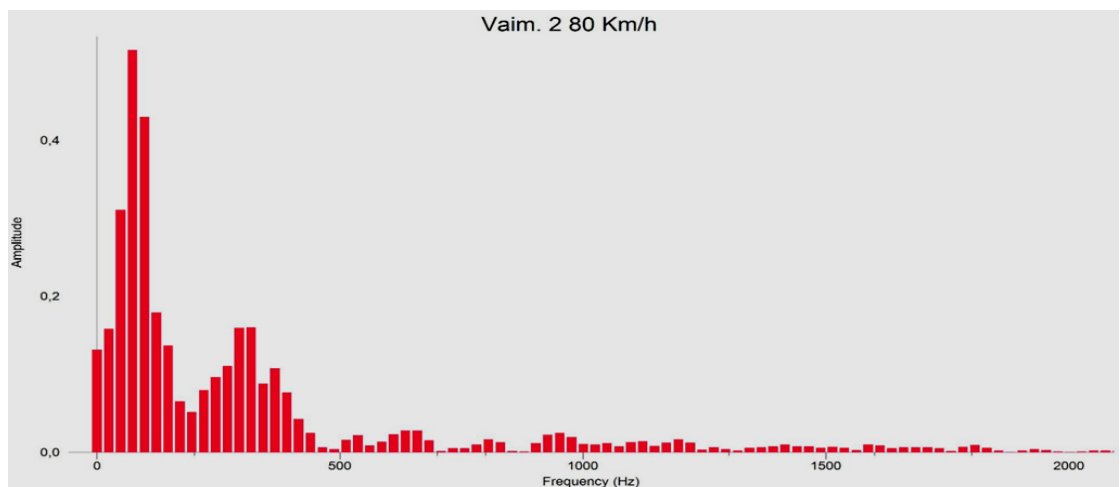
**Kuva 29. Vaim. 3 vaikutus äänentaajuuksiin 60 Km/h nopeudessa (Megane 02)**



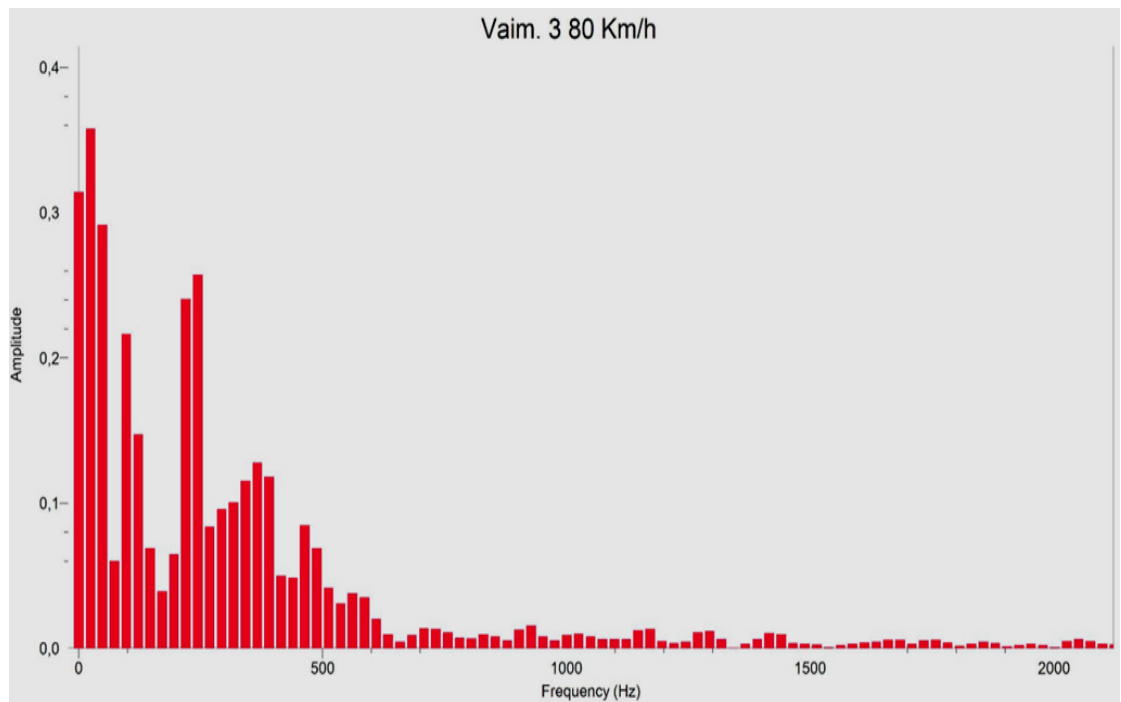
**Kuva 30. Eristämätön auto 80 Km/h nopeudessa (Megane 02)**



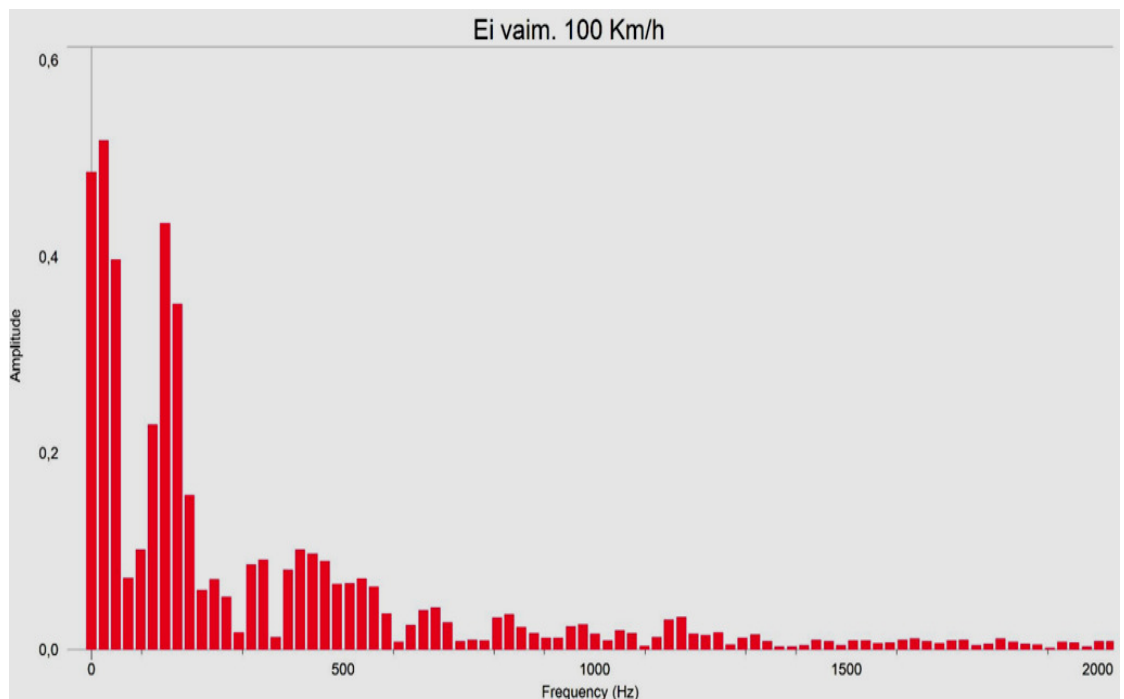
**Kuva 31. Vaim. 1 vaikutus äänentaajuuksiin 80 Km/h nopeudessa (Megane 02)**



**Kuva 32. Vaim. 2 vaikutus äänentaajuuksiin 80 Km/h nopeudessa (Megane 02)**

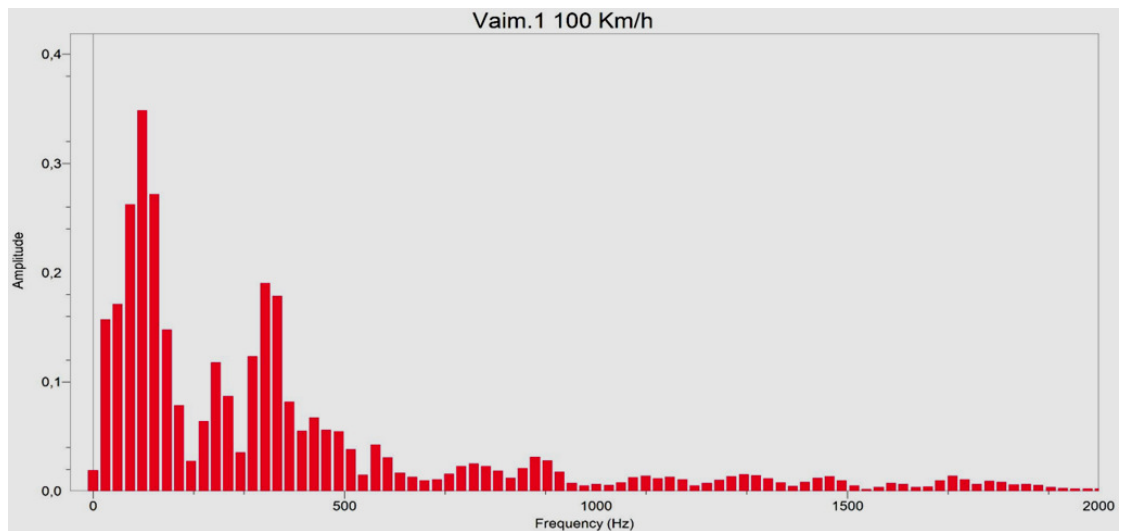


**Kuva 33. Vaim. 3 vaikutus äänentaajuuksiin 80 Km/h nopeudessa (Megane 02)**

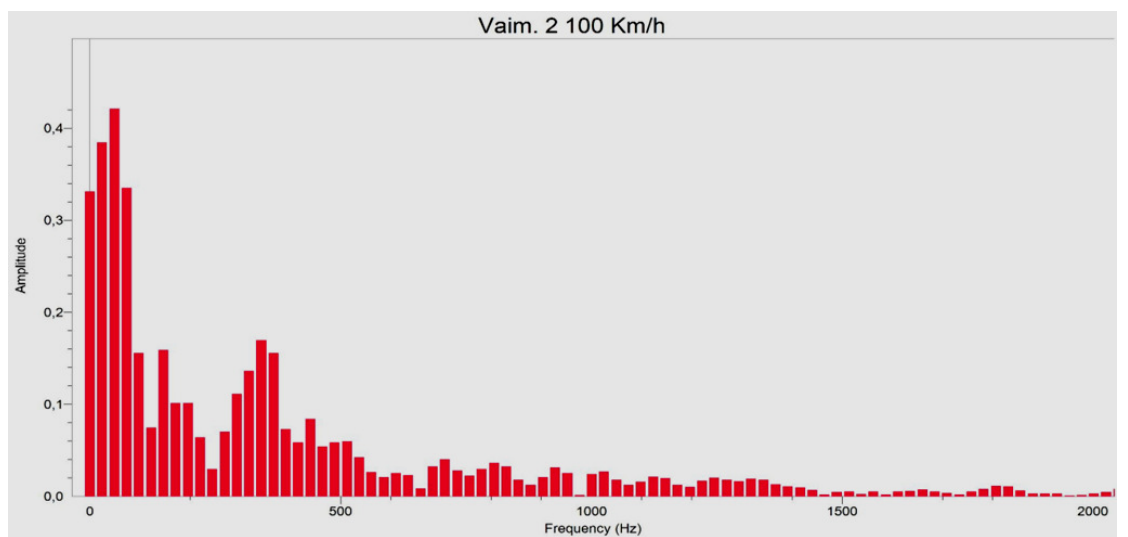


**Kuva 34. Eristämätön auto 100 Km/h nopeudessa (Megane 02)**

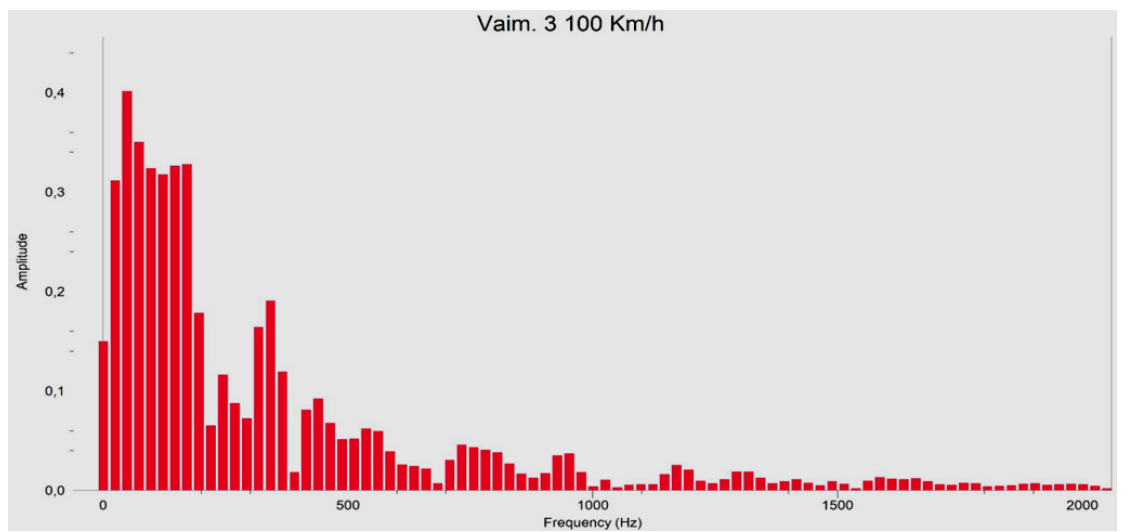
100 Km tuntinopeudessa on jo 300 Hz kohdilla äänen amplitudi kasvanut. Myös 500 Hz tienoilla on kasvua. Äänieristeiden vaikutus näkyy eniten juuri 300 Hertzin tienoilla olevan ”äänipiikin” pienenemisenä.



**Kuva 35. Vaim. 1 vaikutus äänentaajuuksiin 100 Km/h nopeudessa (Megane 02)**



**Kuva 36. Vaim. 2 vaikutus äänentaajuuksiin 100 Km/h nopeudessa (Megane 02)**



**Kuva 37. Vaim. 3 vaikutus äänentaajuuksiin 100 Km/h nopeudessa (Megane 02)**

## 7.5 Materiaalien ominaisuusmittausten tulokset

Materiaaleille sain seuraavanlaisia tuloksia mitatessa niiden kykyä vaimentaa eri äänentaajuuksia. Vertailuarvona on alla olevissa taulukoissa 3 ja 4 ”nollataso” sarake, jossa on mitattu äänilähteen tuottama äänenpaine. Taulukoissa on jaoteltu mitatun eristeen/eristevariaation nimikkeen alle (esim. vaim1) mitattu arvo desibeleinä, muutos desibeleinä verrattaessa ”nollatason” arvoon ja muutos myös prosenteissa.

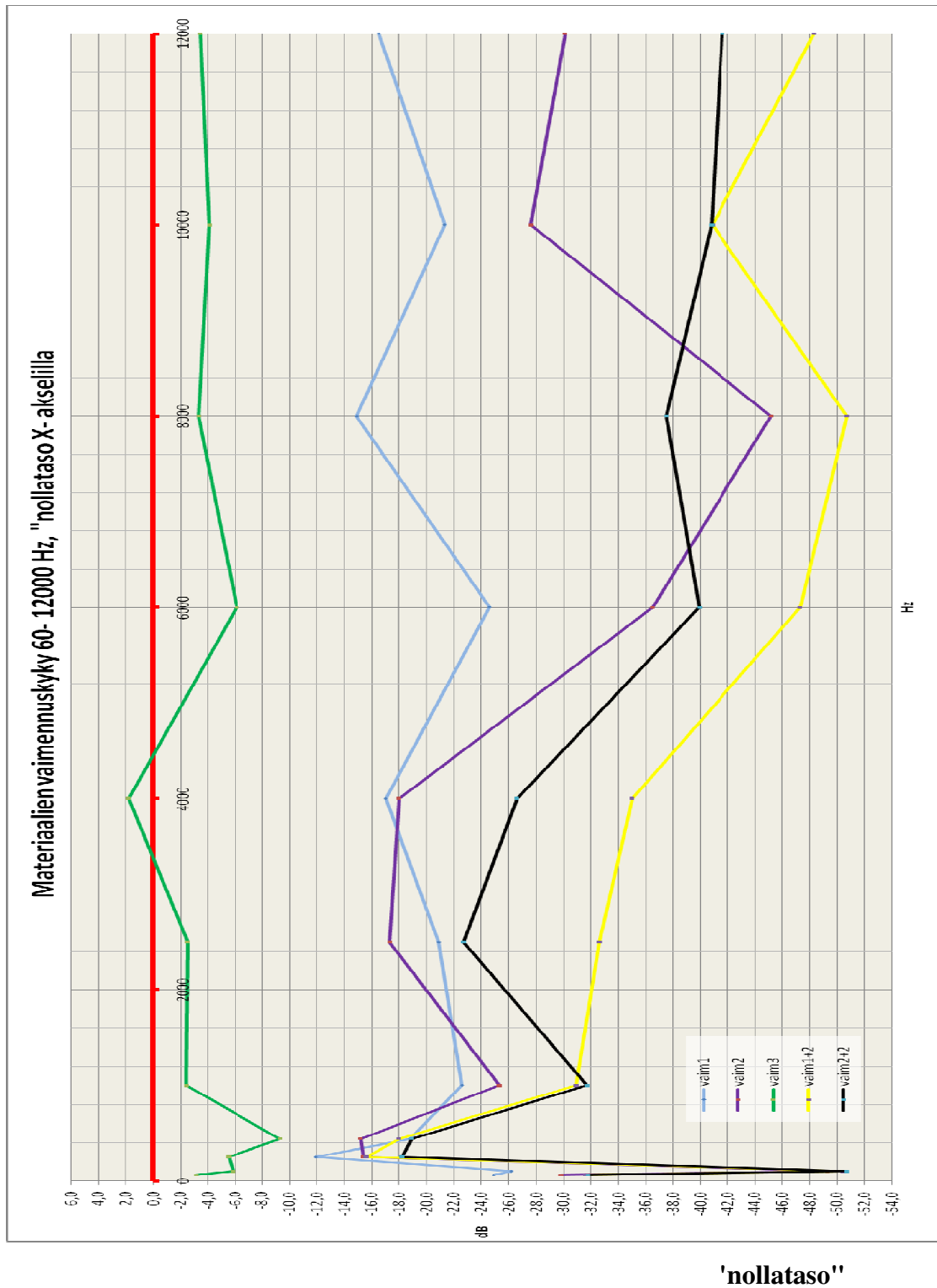
**Taulukko 3.**

|           | <b>nollataso</b> | <b>vaim1</b> |                  |                 | <b>vaim2</b> |                  |                 | <b>vaim3</b> |                  |                 |
|-----------|------------------|--------------|------------------|-----------------|--------------|------------------|-----------------|--------------|------------------|-----------------|
| <b>Hz</b> | <b>dB</b>        | <b>dB</b>    | <b>Muutos dB</b> | <b>Muutos %</b> | <b>dB</b>    | <b>Muutos dB</b> | <b>Muutos %</b> | <b>dB</b>    | <b>Muutos dB</b> | <b>Muutos %</b> |
| 60        | 64,8             | 39,9         | -24,9            | 38,4            | 35,0         | -29,8            | 46,0            | 61,7         | -3,1             | 4,8             |
| 100       | 84,8             | 58,6         | -26,2            | 30,9            | 35,5         | -49,3            | 58,1            | 79,0         | -5,8             | 6,8             |
| 250       | 93,9             | 82,0         | -11,9            | 12,7            | 78,5         | -15,4            | 16,4            | 88,4         | -5,5             | 5,9             |
| 440       | 110,8            | 92,0         | -18,8            | 17,0            | 95,6         | -15,2            | 13,7            | 101,5        | -9,3             | 8,4             |
| 1000      | 103,4            | 80,8         | -22,6            | 21,9            | 78,1         | -25,3            | 24,5            | 101,0        | -2,4             | 2,3             |
| 2500      | 97,4             | 76,5         | -20,9            | 21,5            | 80,1         | -17,3            | 17,8            | 94,9         | -2,5             | 2,6             |
| 4000      | 87,0             | 70,0         | -17,0            | 19,5            | 69,0         | -18,0            | 20,7            | 88,8         | 1,8              | -2,1            |
| 6000      | 96,3             | 71,7         | -24,6            | 25,5            | 59,8         | -36,5            | 37,9            | 90,2         | -6,1             | 6,3             |
| 8000      | 95,6             | 80,7         | -14,9            | 15,6            | 50,4         | -45,2            | 47,3            | 92,3         | -3,3             | 3,5             |
| 10000     | 83,0             | 61,7         | -21,3            | 25,7            | 55,4         | -27,6            | 33,3            | 78,9         | -4,1             | 4,9             |
| 12000     | 82,1             | 65,6         | -16,5            | 20,1            | 52,0         | -30,1            | 36,7            | 78,7         | -3,4             | 4,1             |
|           |                  |              |                  | <b>22,2</b>     |              |                  | <b>33,0</b>     |              |                  | <b>4,0</b>      |

**Taulukko 4.**

|           | <b>nollataso</b> | <b>vaim1+2</b> |                  |                 | <b>vaim2+2</b> |                  |                 |
|-----------|------------------|----------------|------------------|-----------------|----------------|------------------|-----------------|
| <b>Hz</b> | <b>dB</b>        | <b>dB</b>      | <b>Muutos dB</b> | <b>Muutos %</b> | <b>dB</b>      | <b>Muutos dB</b> | <b>Muutos %</b> |
| 60        | 64,8             | 33,2           | -31,6            | 48,8            | 33,0           | -31,8            | 49,1            |
| 100       | 84,8             | 34,4           | -50,4            | 59,4            | 34,1           | -50,7            | 59,8            |
| 250       | 93,9             | 78,3           | -15,6            | 16,6            | 75,7           | -18,2            | 19,4            |
| 440       | 110,8            | 92,8           | -18,0            | 16,2            | 91,9           | -18,9            | 17,1            |
| 1000      | 103,4            | 72,5           | -30,9            | 29,9            | 71,7           | -31,7            | 30,7            |
| 2500      | 97,4             | 64,8           | -32,6            | 33,5            | 74,7           | -22,7            | 23,3            |
| 4000      | 87,0             | 52,0           | -35,0            | 40,2            | 60,4           | -26,6            | 30,6            |
| 6000      | 96,3             | 49,0           | -47,3            | 49,1            | 56,4           | -39,9            | 41,4            |
| 8000      | 95,6             | 44,9           | -50,7            | 53,0            | 58,1           | -37,5            | 39,2            |
| 10000     | 83,0             | 42,1           | -40,9            | 49,3            | 42,2           | -40,8            | 49,2            |
| 12000     | 82,1             | 33,8           | -48,3            | 58,8            | 40,5           | -41,6            | 50,7            |
|           |                  |                |                  | <b>41,4</b>     |                |                  | <b>37,3</b>     |

Kuvassa 38 on nähtävissä sama, mikä ilmeni myös autossa tehdyissä testeissä, eli vaahtomuovi on huono eriste. Mutta sitä ei ole suunniteltu äänieristeeksi, kuten kahta muuta materiaalia, jotka olivat testeissä mukana. Bitumimatto ja äänieristelevy osoittivat kykynsä vaimennustehtävissä.



Kuvassa 38 on esitetty edellisen sivun taulukot 3 ja 4 graafisessa muodossa. Kuvasta voi päätellä, että testissä parhaaseen eristystulokseen päästiin yhdistämällä kahta eri vaimennusmateriaalia (vaim1+vaim2). Tässä variaatiossa yhdistyy bitumimaton ja

äänieristelevyn ominaisuudet. Äänieristelevy näytti toimivan paremmin 300 Hertzin ja 1000 Hertzin tietämillä.

Vahtomuovin eristyskyky oli huono, 3000 Hertzin kohdalla jopa näytti voimistavan ääntä. Testin perusteella ei vahtomuovia kannata käyttää ääneneristämiseen. Bitumimatto oli tasaisin ominaisuuksiltaan. Kaksinkertaisella bitumimattokerroksella (vaim2+vaim2) saavutettu hyöty ei ollut enää järin suuri, kuten kuvasta 38 on nähtävissä. Hyötyä kerroksen kaksinkertaistamisella oli korkeammilla äänentaajuuksilla.

Autokäytössä hyötyä on enemmän matalien äänentaajuuksien eristämisestä. Mittauksissa kävi ilmi auton sisälle kuuluvan rengasmelun olevan voimakkaampi alle 1000 Hertzin alueella.

## **7.6 Tulosten tarkistelu ja mittausten onnistuneisuus**

Tuloksiin vaikutti moni asia. Jo pelkästään sääolot tienpinta ja muu liikenne aiheuttivat haasteita mittausten onnistuneisuuteen. Tulokset ovat suuntaa antavia, ja mittauksissa kävi ilmi, että testatuista materiaaleista kevyt vahtomuovi oli huonoiten toimiva, jota arvelinkin jo ennen mittausten tekemistä. Mittauksissa saadut erot jäivät melko pieniksi ja etenkin taajuusmittauksissa tulosten tulkitseminen oli haasteellista. Mittaukset onnistuivat suunnitelmien mukaan ja kestivät aikataulussakin kiinni. Testilaitteet toimivat hyvin koko testin ajan.

Testatuista autoista 2006 vuosimallin Meganessa toimi parhaiten bitumimatto, kun taas vuosimallin 2002 Meganessa toimivin materiaali oli äänieristematto. Vahtomuovi oli huonoin 2002 Meganessa, mutta 2006 Meganessa se pärjäsikin osittain jopa paremmin kuin äänieristematto. Eristeiden sijoittelun suhteen olennaisin eristämisen kohde on takapyöränkotelot.

Erot jäivät noin 2 dB luokkaan vaimentamattoman vaimennetun mittausten välillä. Ruotsalaisen autolehden artikkelin mukaan autonvalmistaja Toyota oli tehnyt erääseen automalliinsa muutoksia sisämelun vaimennuksen suhteen ja muutokset olivat myös muutaman desibelin luokkaa. Tämä antaa pohjaa myös tekemilleni mittauksille ja vaimennuksille ja tulosten suuruusluokalle.

## 8 YHTEENVETO

Työ oli mielenkiintoinen ja kävi ilmi myös, että jo lisäämällä pienen määrän äänieristeitä pystyy hieman vaikuttamaan auton sisämeluun. Työssä selvisi myös, mitä ja millaisia äänentaajuuksia rengasmelu ylipäättensä on. Ihmetystä aiheutti, että ennakkosuosikkini pitämä bitumimatto toimi yllättävän huonosti vanhemmassa Meganessa.

Materiaalien sijoittelulla on vaikutusta eristyksen toimivuuteen. Testissä olleissa autoissa eristeet toimivat parhaiten takapyörien pyöränkoteloissa. Takapenkkien istuinosan alle sijoitetulla eristyksellä ei ollut suurta merkitystä. Varmaan autonvalmistajakaan ei sen takia ole sinne laittanut eristeitä kovin paljon. Itse auton penkit toimivat jo äänieristeinä. Pyöränkaarissa näyttäisi eristeestä olevan jo hyötyä pienissä määrin ja eristyksen asentaminen on suhteellisen vaivatonta. Osa autonvalmistajista laittaa autoihinsa jo valmiiksi sisälokasuojiin jonkinnäköisen eristeen, joten se luo uskottavuutta tekemilleni testeille. Muualle autoon eristyksen tekeminen vaatii auton sisustan purkamista, jos vaikka auton oviin lisäksi äänieristystä. Tavaratilaan lisäämällä eristystä en työssä tutkinut, mutta on todennäköistä, että suurta hyötyä ei siitä nykypäivän henkilöautoissa autoissa ole. Tavaratilat on pääsääntöisesti verhoiltu, ja tämäkin vaatisi sisustuksen purkamista.

Todettava on, että lisättäessä eristystä pyöränkaariin on syytä olla kokonaiset tai edes osittaiset sisälokasuojat, joihin on helppo kiinnittää äänieristeitä. Ongelmaksi voi muodostua pidemmällä aikavälillä materiaalien säänkestävyys. Lisäksi lian ja ravan jääminen auton korin ja eristeen väliin lisää ainakin ruostumisen riskiä. Laittamalla eristeet muovilokasuojien sisäpinnalle, joka vaatii niiden irrottamista eristeen asentamisen ajaksi, lopputulos on siistimpi ja varmasti pitkäikäisempi.

Materiaaleja yhdistämällä eli käyttämällä esimerkiksi testissä olleita bitumimattoa ja äänieristyslevyä päästään parempaan lopputulokseen. Eristeet kannattaa asentaa siten, että ensiksi pohjalle bitumimattoa ja sen päälle sitten äänieristelevyä. 30 eurolla saa eristemattoa ostettua 4 kappaletta 1000 mm x 500 mm kokoista levyä. Tämä määrä riittää hyvin pienempiin autoihin. Eristäminen ei siis vaadi suuria investointeja materiaalien osalta.



Mittauksia voisi jatkaa pelkästään käyttämällä yhtä autoa ja valitsemalla testiin enemmän äänieristemateriaaleja. Myös eristyskerroksen paksuuden vaikutusta voisi tutkia lisää. Taajuusmittausten osalta rengasvertailua nastarenkaan ja kitkarenkaan välillä olisi hyvä jatkotutkimuksen kohde. Jos testissä käyttäisi samaa autoa ja samaa rengaskokoa kitka- ja nastarenkaalla, löytyisi nastarenkaan nastoista johtuva häiriömelun äänentaajuuskin todennäköisesti. Näin ollen äänieristystä pystyisi kohdentamaan paremmin niiden ominaisuuksien mukaan.

## LÄHTEET

1 Borenius Juhani, Lampio Eero, Pesonen Kari, Jauhiainen Tapani, Nuotio Juhani, Pyykkö Ilmari. Akustiikan perusteet. Insinööritieto oy. 1985.

2 Peltonen Hannu, Perkkiö Juha, Vierinen Kari. Insinöörin (AMK) FYSIIKKA osa 2. Lahden Teho-opetus Oy.1998.

3 Björk Erkki. Meluntorjunta. Kuopion yliopisto, Ympäristötieteiden laitos. 1995.

4 Korpinen Pertti. 2005. Äänen taajuus. www-dokumentti.  
[http://www.aanipaa.tamk.fi/taajuu\\_1.htm#mozTocId883252](http://www.aanipaa.tamk.fi/taajuu_1.htm#mozTocId883252). Päivitetty 24.4. 2007.  
Luettu 25.2.2011.

5 Kokkonen Jarno. 2008. Diplomityö. Rengasmelun emissio ja leviäminen. www-dokumentti. <http://lib.tkk.fi/Dipl/2008/urn010295.pdf>. Ei päivitystietoa. Luettu 10.3.2011.

6 Bergman Björn. 2004.. Toyota lyssnade och dämpade. www-dokumentti.  
<http://www.automotorsport.se/nyhetsmall.asp?version=12182>. Päivitetty 4.4.2011.  
Luettu 4.4.2011

LIITE 1.

Äänitasomittarin tekniset tiedot

**MIP OY**

LIITE 1

INTEGROIVA ÄÄNITASOMITTARI 7078

TEKNISET TIEDOT

Tarkkuusluokka

Suosituksen SFS 2877 ja IEC 123 mukainen

Toiminta-alueet

20 -- 60 dB  
40 -- 80 dB  
60 -- 100 dB  
80 -- 120 dB  
+10 dB signaalihiipulle

Ylikuormitustaso

130 dB tai 350 mV mikrofoniliittimeen

Sähköinen kohinataso

25 dB(A) tai 2  $\mu$ V rms Mikrofoniliittimessä  
40 dB(A) tai 10  $\mu$ V rms Mikrofoniliittimessä

Mikrofoni

1" Elektrettimikrofoni  
Herkkyyks 5,6 mV/Pa  $\pm$  2,5 dB  
Taajuusvaste vapaassa äänikentässä: 22 -- 10 000 Hz  $\pm$  dB  
50 -- 1250 Hz  $\pm$  1 dB

Suuntaavuusominaisuudet IEC 123 edellyttämät

Mikrofoniliittimen ottoimpedanssi 50 k $\Omega$

Suurin sallittu signaalijännite  $\pm$  5 V

Ylitysilmaisoin

Hälyttää yli 30  $\mu$ s pituisista toiminta-alueen ylityksistä

Tehollisarvon ilmaisin

Todellisen tehollisarvon laskenta  
Dynamiikka-alue 60 dB  
Huipputekijä  
10 dB täydellä näyttämällä  
30 dB 1 dB:n virheellä ilman ylitystä

Aikapainotus

Fast ja Slow IEC 123 mukaan

Lähtösignaali

Vaihtojännitelähtö 0,4 rms täydellä näyttämällä  
Lähtöimpedanssi 2,2 k $\Omega$   
Logaritminen tasajännitelähtö 5 V täydellä näyttämällä  
0,1 V/dB muunnostekijä  
Lähtöimpedanssi 600  $\Omega$

Osoittava mittari

Näyttöalue: 40 dB lineaarisella asteikkojaotuksella

Integrointi

Jatkuva energian integrointi toiminta-alueella, q-arvo = 3

Digitaalinäyttö

3  $\frac{1}{2}$ -numeron LED-näyttö, erotuskyky 0,1 dB  
Kokonaisnäyttöalue 20 -- 120 dB

**LIITE 2(1).**

## Taajuusmittarin tekniset tiedot

| <b>Technical Specifications for LabPro</b> |  |
|--|--|
| <b>General Specifications</b>              |  |
| Power Requirements                         | 6VDC reg, 600mA or 4AA Alkaline Batteries  |
| Power Connection                           | 2.1mm Power Jack, center negative          |
| Physical Dimensions                        | 8.4" x 3.3" x 1.2"(214mm x 84mm x 31mm)    |
| Weight                                     | 280g (w/o batteries)                       |
| Operating Temperature range                | -40°C to 70°C                              |
| Storage Temperature range                  | -40°C to 85°C                              |
| Relative Humidity                          | 0 to 95% noncondensing                     |
| Analog Channels CH1 – CH4                  | British Telcom 6 pin Right Hand socket     |
| Digital Channels DIG1, DIG2                | British Telcom 6 pin Left Hand socket      |
| Power at sensor connectors                 | 5.3VDC (nominal). 180mA max.               |
| <b>Analog Inputs</b>                       |  |
| ADC Architecture                           | 12-bit Successive Approximation ADC        |
| Number of inputs                           | 8 single ended inputs (2/analog connector) |
| Input ranges (CH1 – CH3)                   | 0 - 5V, +/- 10V                            |
| Input ranges (CH4)                         | 0 - 5V, +/- 5V                             |
| Resolution 0-5V inputs                     | 1.2mV                                      |
| Resolution +/- 10V inputs                  | 4.9mV                                      |
| Max Sample rate                            | 50,000 samples per second                  |
| Max Sample Storage                         | 12k samples                                |
| Input impedance: 0 –5V input               | >10M $\Omega$                              |
| Input impedance: +/- 10V input             | 1M $\Omega$                                |
| Overvoltage protection                     | 110V powered/unpowered.                    |
| Temperature Drift                          | 100ppm/°C                                  |

**LIITE 2(2).**

## Taajuusmittarin tekniset tiedot

| Analog Inputs (Cont.)  |   |
|--|---|
| <b>DC Parameters</b>   |   |
| Integral Nonlinearity  | +/- 0.5 LSB                                   |
| Differential Nonlinearity  | +/- 1 LSB (no missing codes)                  |
| Offset Error   | 1 LSB   |
| System noise   | +/- 1 LSB                                     |
| <b>AC Parameters</b>   |   |
| Input Bandwidth: 0-5V input  | 50kHz (f3dB)                                  |
| Input Bandwidth: +/- 10V input   | 5kHz (f3dB)                                   |
| * For the Ch4 +/-5V input, use the +/- 10V input AC and DC parameters. |   |
|  |   |
| Analog Output  |   |
| Connector  | CH4 same pin as Vin (+/- input)               |
| Signal Output Range  | +/- 2V at 100mA                               |
| Configuration  | 2 – 12 bit DACs (amplitude and offset)        |
| Current sense resistor   | 0.1 $\Omega$ 1%                               |
| Update rate  | 200 Hz  |
| Max load   | 8 $\Omega$                                    |
| Protection   | Short circuit to ground                       |
|  |   |
| Digital I/O  |   |
| Connector  | British Telecom Left Hand connector           |
| Signals  | 8 configurable I/O lines; 4 on each channel   |
| <b>Input Characteristics:</b>  |   |
| Input High Voltage   | 3.5V min.                                     |
| Input Low Voltage  | 1.5V max.                                     |
| <b>Output Characteristics:</b>   |   |
| Output High Voltage  | 4.2V min. Ioh = -400uA                        |
| Output Low Voltage   | 0.45V max. Iol = 1.6mA                        |
| Timing Resolution  | 1.6 $\mu$ s, 100 $\mu$ s (depending on mode). |
|  |   |

## LIITE 3.

### Tietokoneen tekniset tiedot

# HP Pavilion dv6505eo

- Notebook PC
- AMD Athlon™ 64 Mobile Technology TK-53 and 512KB L2 Cache (1.7 GHz)
- 15.4" WXGA High-Definition BrightView Widescreen Display
- 120GB (5400RPM) Hard Drive
- 2048MB DDR2 SDRAM (2 Dimm)
- 802.11a/b/g WLAN
- LightScribe Super Multi 8X DVD±RW with Double Layer Support
- 6-Cell Lithium-Ion battery
- HP QuickPlay
- 5-in-1 Digital Media Reader
- ExpressCard/54 PC Card Slot
- HP Mobile Remote Control
- nVidia GeForce 7150M with shared graphics memory
- Windows Vista™ Home Premium
- HP Webcam
- Expansion Port 3