

Risto Savola  
Arttu Räisänen

AUTOJEN  
ÄÄNENTOISTOJÄRJESTELMIEN  
KUSTANNUSTEHOKAS  
PARANTAMINEN


Opinnäytetyö  
Auto- ja kuljetustekniikka

Huhtikuu 2011




**MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU**  
Mikkeli University of Applied Sciences

## KUVAILULEHTI

 <b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences	<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b>  28.4.2011		
<b>Tekijä(t)</b> Arttu Räisänen, Risto Savola	<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b> Auto- ja kuljetustekniikka		
<b>Nimeke</b>  Autojen äänentoistojärjestelmien kustannustehokas parantaminen			
<b>Tiivistelmä</b>  <p>Työn tavoitteena oli tutkia autojen äänentoistojärjestelmiä. Perusta työlle lähti tyytymättömyydestä uusien autojen äänentoistojärjestelmiin. Tavoitteenamme oli löytää tapoja, joilla äänentoistojärjestelmiä voidaan parantaa kustannustehokkaasti jo suunnitteluvaiheessa.</p> <p>Perehdyimme uusien autojen äänentoistojärjestelmiin ja vertailimme niitä itse rakentamiimme jälkiasentisiin järjestelmiin. Kohdeautomme on vuoden 1998 Volkswagen Passat Variant. Siihen rakensimme kaksi erilaista laitteistoa ja tutkimme niiden avulla ääntä sekä siihen vaikuttavia tekijöitä. Painopiste työssä on pyrkiä mahdollisimman hyvään järjestelmään äänenlaadullisesti ja verrata sitä uusien autojen järjestelmiin. Tutkiminen tapahtuu taajuusvastemittauksien ja kuuntelukokeiden perusteella.</p> <p>Tulokset osoittivat kaiutinsijoittelun ja suuntauksen suuren merkityksen. Tehdasvalmisteisten laitteistojen välillä ilmeni huomattavia eroavaisuuksia, erityisesti laitteistojen laadussa. Tuloksista päätelimme, että suunnittelun ja laatuun panostamalla päästään parhaaseen lopputulokseen. Suurimmat parannusehdotukset koskevat auton vaimennusta, ohjelmalähteiden parantamista ja korkeita ääniä toistavien elementtien suuntausta.</p>			
<b>Asiasanat (avainsanat)</b> akustiikka, äänenlaatu, henkilöautot			
<b>Sivumäärä</b> 51 + 2	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><b>Kieli</b> suomi</td> <td style="width: 50%;"><b>URN</b></td> </tr> </table>	<b>Kieli</b> suomi	<b>URN</b>
<b>Kieli</b> suomi	<b>URN</b>		
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>			
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b> DI Jarkko Peltonen	<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b>		

## DESCRIPTION

 <p><b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences</p>		<b>Date of the master's thesis</b>  28.4.2011	
<b>Author(s)</b> Arttu Räisänen, Risto Savola		<b>Degree programme and option</b> Car and transport technology	
<b>Name of the master's thesis</b> Cost effective improving of car audio systems			
<b>Abstract</b>  <p>Target of our work was to examine mobile sound systems. Reason why we selected this subject was discontent to original audio systems. Our goal was to research ways for improving sound systems as early as designing stage.</p> <p>We studied sound systems of new cars and compared them to aftermarket sound systems we made for this research. Our car is Volkswagen Passat Variant year 1998. We researched sound and factors affecting the sound with two different installations we built. Priority was trying to build a sound system with as good sound quality as possible and compare it with original audio systems of new cars. Researching was made with frequency response measurement and listening experiment.</p> <p>Results showed that the way the speakers are installed is important. We noticed that there are significant differences in quality between different factory built sound systems. Focusing on quality and designing will lead to the best results. Major improving suggestions are to increase damping, use better sound sources and mount tweeters pointing to the listener.</p>			
<b>Subject headings, (keywords)</b> acoustics, sound quality, cars			
<b>Pages</b> 51 + 2	<b>Language</b> Finnish	<b>URN</b>	
<b>Remarks, notes on appendices</b>			
<b>Tutor</b> Jarkko Peltonen, MSc		<b>Master's thesis assigned by</b>	

# SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	ÄÄNENTOISTON PERUSTEET .....	2
2.1	Akustiikka.....	2
2.2	Ääni.....	2
2.3	Äänen heijastuminen, taipuminen ja vaimentuminen.....	2
2.4	Kaiuttimet .....	4
2.5	Kotelointi .....	7
2.6	Kaiutinasennukset.....	8
2.7	Ohjelmalähde .....	9
2.8	Signaaliprosessori .....	10
2.9	Vahvistimet.....	11
2.10	Johdotukset .....	11
2.11	Häiriöt .....	13
2.12	Säätäminen.....	14
3	TAAJUUSVASTEMITTAUS .....	14
3.1	Mittauslaitteisto .....	15
3.2	Mittausten suorittaminen .....	16
4	UUSIEN AUTOJEN ÄÄNENTOISTOJÄRJESTELMÄT .....	16
4.1	Suzuki Swift.....	16
4.2	Mitsubishi ASX .....	18
4.3	Mitsubishi Lancer .....	21
4.4	Skoda Octavia.....	21
5	PASSATIN ÄÄNENTOISTOJÄRJESTELMÄN RAKENTAMINEN .....	22
5.1	Vaimennus .....	23
5.2	Laitteisto .....	26
5.2.1	Ohjelmalähde .....	26
5.2.2	Vahvistin .....	26
5.2.3	Kaiutinelementit.....	26
5.3	Asennukset.....	27
5.4	Johdotukset .....	31
5.4.1	Virtajärjestelmä.....	31
5.4.2	Signaali- ja kaiutinkaapelit .....	33

5.5	Passatin äänentoistojärjestelmän säätäminen .....	34
5.6	Laitteistomuutokset.....	35
6	MITTAUSTULOKSET .....	39
6.1	Suzuki Swift.....	40
6.2	Mitsubishi ASX .....	40
6.3	Mitsubishi Lancer .....	41
6.4	Skoda Octavia.....	42
6.5	Passat laitteisto 1.....	43
6.6	Passat laitteisto 2.....	44
7	TULOSTEN ANALYSOINTI.....	45
8	POHDINTA .....	48
	LÄHTEET .....	50

#### LIITTEET

- 1 Taajuuden suhde aallonpituuteen
- 2 Kaapeleiden mitoitus

## 1 JOHDANTO

Valitsimme insinööriyömme aiheeksi autoäänentoiston tutkimisen. Äänentoisto on ollut harrastuksenamme jo pidemmän aikaa, mikä loi luonnollisen pohjan aiheemme valintaan. Auton äänentoistojärjestelmiin liittyviä aiempia opinnäytetöitä emme löytäneet, ja se lisäsi kiinnostavuutta entisestään. Valitsemamme aihe on haasteellinen johdun painetun tiedon vähäisyydestä. Tutkimme uusien autojen äänentoistojärjestelmiä, sekä rakennamme pääasiallisen tutkimuskohteemme Volkswagen Passat Variant -henkilöauton. Tutkimuksemme teemme äänenlaadun näkökulmasta.

Autojen äänentoistojärjestelmissä ja niiden suunnittelussa ei panosteta tarpeeksi äänenlaadullisiin tekijöihin. Useasti kaiuttimien asennus ja sijoittelu on puutteellista. Monissa järjestelmissä kaiuttimen puutteellista asennusta on yritetty paikata lisäämällä kaiuttimien määrää pääsemättä kuitenkaan hyvään lopputulokseen. Tällä tavoin lopputulos on huomattavasti kalliimpi, mutta ei juurikaan parempi. Ohjelmalähteissä keskitytään lisäämään ominaisuuksia ja hienouksia kuitenkin yrityksenä pitää kustannukset alhaisena. Perusajatus ohjelmalähteessä on äänen tuottaminen mahdollisimman neutraalisti, kuten se on tallenteelle taltioitu. Jos ohjelmalähde ei kykene edes siihen, on jossain menty pahasti pieleen. Kiinnittämällä suunnittelussa huomiota pieniin merkityksellisiin asioihin saataisiin kelvollinen äänentoisto kustannustehokkaasti. Yksinkertaisimpia parannuksia voisi olla esimerkiksi diskanttien suuntaaminen ja midbasso/keskiäänielementtien tukeva kiinnittäminen sekä ohjelmalähteiden laadun ja liitäntöjen parantaminen. On kuitenkin ymmärrettävää, että autoteollisuudessa suunnittelu on aina kompromissi monien tekijöiden suhteen. Koska äänentoistojärjestelmä on yksi tärkeimmistä mukavuusvarusteista, on omituista, että suunnitteluun ei kiinnitetä enempää huomiota.

Perehdymme työssämme ensin teoriaan. Teoriaosuus pyrkii käsittelemään perusasiat joiden tietäminen auttaa hahmottamaan ääneen vaikuttavia tekijöitä. Teorian pohjalta rakennamme pääasiallisen tutkimuskohteemme Volkswagen Passatin äänentoistojärjestelmän. Testaamme Passatissa kahta hieman erityyppistä laitteistoa, joiden avulla tutkimme myös asennuksen merkitystä. Passatin äänentoistojärjestelmän rakentamisen jälkeen tutkimme uusien autojen alkuperäisiä äänentoistojärjestelmiä ja teemme niihin taajuusvastemittaukset ja kuuntelukokeet. Lisäksi kiinnitämme huomiota kaiutinelementtien asennustapaan ja ohjelmalähteisiin. Uusien autojen osalta tulemme valitse-

maan useamman eri merkin autoja, jotta saisimme kartoitettua, minkä taseisia laitteis-toja uusissa autoissa on. Tulosten analysointi luvussa pohdimme taajuusvastemittauk-sia ja kuuntelukokeita.

## 2 ÄÄNENTOISTON PERUSTEET

### 2.1 Akustiikka

Ihminen on tutkinut ja soveltanut akustiikkaa jo monen vuosituhannen ajan. Jo antiikin Kreikan teattereissa on käytetty seinissä upotettuja ruukkuja resonaattoreina, joi-den on ollut tarkoitus parantaa äänenlaatua./1, s.7./ Akustiikka on ääni-ilmiöiden tut-kimista ja tieteenhaarana hyvin monimutkainen. Ääntä ja sen tulkintaa ei voi selittää ainoastaan fysiikan apukeinoin./1, s.9./ Akustiikasta on vähän suomenkielistä kirjalli-suutta johtuen sen monimuotoisuudesta ja osaltaan ilmiöistä, joiden selittäminen on nykyisin vielä mahdotonta. Akustiikkaa autossa on tutkittu vielä vähemmän kuin akustiikkaa yleensä. Sovellamme akustiikan perusteita pohtiessamme autoa musiikin kuunteluympäristönä.

### 2.2 Ääni

”Ääni on korvan aistimaa värähtelyä, joka tulee yleensä ilmaa pitkin”/2, s.11/. Ääni etenee ilmamolekyylien tihentyminä ja harventumina luoden paine-eroja, jotka korva aistii äänenä. Äänen voimakkuuden suurena käytetään äänenpainetta, joka on ääni-aallon synnyttämän hetkellisen paineen ja staattisen paineen erotus. Yksikkönä äänen-paineelle käytetään yleensä desibeliä. Desibeli-yksikkö on logaritminen, eli äänenpai-neen kaksinkertaistuessa kasvaa desibelimäärä aina kuudella. Desibeli-yksikkö on käytännöllinen, sillä yhden desibelin lisäys on juuri korvalla kuultavissa. Äänen kor-keus eli taajuus on äänen toinen muuttuva tekijä. Taajuuden yksikkönä käytetään hert-siä. Pienitaajuinen värähtely kuuluu matalana ja suuritaajuinen korkeana äänenä. Ih-misen kuuloalue alkaa noin 20 hertsistä ja päättyy noin 20 000 hertsiin. Äänen aallon-pituus on suoraan suhteessa äänen taajuuteen siten, että taajuuden kasvaessa, aallonpi-tuus pienenee./2, s.11–12./

### 2.3 Äänen heijastuminen, taipuminen ja vaimentuminen

”Kun ääni saavuttaa jonkin tasopinnan, esimerkiksi seinän, osa siitä imeytyy, eli absorboituu seinään ja osa välittyy sen läpi. Yleensä suurin osa heijastuu kuitenkin takaisin huoneeseen. Ääni heijastuu pinnoista kuten valo peilistä. Heijastuskulma on yhtä suuri kuin tulokulma. Jos pinnassa on aallon pituuteen nähden merkittäviä epätasaisuuksia, heijastuksia syntyy eri suuntiin, ja pinta toimii äänen hajottajana.” /2, s.16./

Kun ääni heijastuu, voi heijastunut ääniaalto vaikuttaa alkuperäiseen ääniaaltoon joko vahvistamalla tai heikentämällä sitä. Tätä ilmiötä kutsutaan seisovaksi aalloksi. Ääniaallon tulee mahtua kuuntelutilaan vähintään puoliksi, muuten seisovia aaltoja ei synny. Viiden metrin pituisessa kuuntelutilassa seisovia aaltoja syntyy vain tietyille taajuusalueille. Mahdolliset seisovien aaltojen taajuudet ovat 34, 68, 102, 136 ja 170 hertsiä sekä niiden kerrannaiset. Huoneen kaikki mitat vaikuttavat syntyvien seisovien aaltojen taajuuksiin. Nyrkkisääntönä pidetään sitä, että huone ei olisi kuution mallinen, muuten seisovat aallot voimistuvat entisestään. Autossa seisovia aaltoja esiintyy lähinnä yli 60 hertsin taajuuksilla. Kuitenkin alle 200 hertsin taajuiset seisovat aallot ovat melko vaimeita johtuen auton rakenteesta. Seisovia aaltoja esiintyy koko taajuusalueella, mutta yli 300 hertsin taajuuksilla ne ovat niin tiheässä, että niiden vaikutus koettuun ääneen on vähäinen./2, s.17–19./ Ääniaallot käyttäytyvät aaltoliikkeen perusyhtälön 1 mukaisesti.

$$v = \lambda * f \quad (1)$$

$$v = \text{äänennopeus} \left[ \frac{m}{s} \right] \text{ ilmassa } 343 \text{ m/s}$$

$$\lambda = \text{aallonpituus [m]}$$

$$f = \text{taajuus [Hz]}$$

Jos äänen taajuus on 40Hz, ääniaallon aallonpituus saadaan laskettua seuraavasti.

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

$$\lambda = \frac{343 \text{ m}}{40 \text{ Hz}} = 8,575 \text{ m}$$

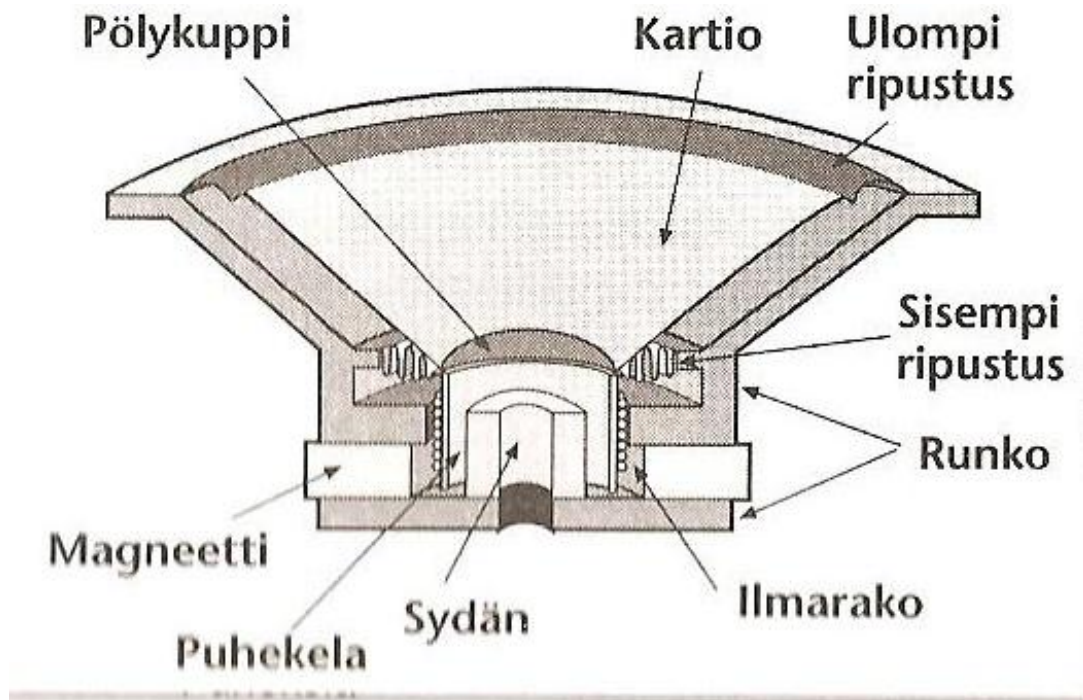


Kun ääni kohtaa esteen, esimerkiksi pylvään, se pyrkii kiertämään sen. Mitä suurempi este on, sitä suurempi katvealue esteen taakse jää. Jonkin matkaa pylvään takana katvealuetta ei kuitenkaan huomaa. Tämä johtuu äänen taipumisesta. Äänen taipuminen on myös riippuvainen sen taajuudesta. Matalat taajuudet pitkän aallonpituutensa vuoksi taipuvat helpommin kuin korkeat. Tästä johtuen on tärkeää suunnata korkeimpia taajuuksia toistavat elementit kohti kuuntelijaa./1, s.47./

Ääniaallot vaimenevat, kun ne etenevät ilmassa, kohtaavat esteitä ja leviävät. Aineilla on ominainen kyky imeä eli absorboida ääntä. Materiaaleille on määritelty absorptiokertoimia, joka kuvaa materiaalin kykyä imeä ääntä. Kertoimet ovat nollasta yhteen. Täydellistä absorboitumista kuvaa vaimennuskerroin yksi. Yleensä materiaalit absorboivat ääntä tehokkaasti vain kapealla taajuusalueella. Kun halutaan vaimentaa koko taajuusaluetta, saadaan toimiva ratkaisu vain huokoisilla rakenteilla /4/. Esimerkiksi 100 millimetriä paksu mineraalivilla absorboi tehokkaasti korkeita ja matalia ääniä. Ääntä vaimennettaessa tulisi sen taajuus aina selvittää, jotta päästäisiin mahdollisimman hyvään lopputulokseen./1, s.59./

## **2.4 Kaiuttimet**

Kaiutin muuttaa vahvistimelta saatavan sähkövärähtelyn ilmahiukkasten värähtelyksi, eli ääneksi. Kaiutinelementtejä on monella eri tavalla toimivia, mutta yleisin on dynaaminen toimintatapa (kuva 1). Dynaamisessa kaiutinelementissä on kestopagneetti jonka magneettikentässä on ohuesta johtimesta punottu käämi, eli puhekela. Puhekela on kytketty kartioon, joka on ripustettu kaiuttimen runkoon. Kartion ripustukset on jaettu ylempään ja alempaan. Kun puhekelaan johdetaan vaihtosähkömuotoista äänisignaalia, se saa puhekelan magnetisoitumaan. Puhekelan magnetisoituessa se vuoroin hylkii ja vuoroin vetää puoleensa kestopagneettia, jolloin kartio värähtelee synnyttäen ääntä./2, s.39./



**KUVA 1. Dynaamisen kartioelementin periaatekuva /2, s.39/**

Yleensä äänentoistojärjestelmissä käytetään vähintään kahta erityyppistä kaiutinelementtiä, koska koko taajuusalueen toistavia kaiuttimia on vaikea valmistaa. Kaiuttimen toimintaperiaatteita on monia, mutta keskitymme kuitenkin pelkästään dynaamiseen kaiuttimeen johtuen sen yleisyydestä autokäytössä. Yleisimmät autokäytössä olevat kaiutintyytit ovat subwoofer ja midbasso / keskiääni sekä diskantti-elementit.

Subwoofer elementti on matalimmat taajuudet toistava elementti, tyypillisesti kooltaan 8-12 tuumaa ja toistaa taajuusalueen 20-50 hertsiä. ”Elementin kartio ja sen ripustus muodostavat värähtimen, jolla on tietty ominaistaajuus, resonanssitaajuus... Resonanssitaajuuden alapuolella kaiuttimen toisto vaimenee”. Subwooferit ovat rakenteeltaan järeitä, ja koska ne toistavat alimmat taajuudet, niiden ominaisresonanssitaajuus on hyvin matala. Johtuen järeästä rakenteesta ja sitä kautta suuresta liikutettavasta massasta elementti tarvitsee tehoa huomattavasti enemmän kuin muut. Lisäksi tehoa tarvitaan pitämään elementti kontrollissa./2, s.41./

Midbasso/ keskiääni toistaa ylimmät bassotaajuudet ja keskitaajuudet tavallisesti 50-5000 hertsiä. Kokoa elementeillä on yleensä 5.25- 6.5 tuumaa. Rakenteeltaan kaiutinelementti on yleensä perinteinen dynaaminen kaiutin, mutta joissain tapauksissa niissä käytetään kartion pölykupin paikalla magneettiin kiinnitettyä vaiheplugia. Se poistaa onteloresonansseja, ja metallista valmistettuna se myös tehostaa puhkelan

jäähdytystä. Joissakin äänentoistojärjestelmissä käytetään erillisiä midbasso- ja keskiäänielementtejä, jolloin kaiuttimen ei tarvitse toimia optimaalisesti niin suurella taajuusalueella. Midbassoelementit ovat yleensä rakenteeltaan järeämpiä, koska niiden ei tarvitse toistaa keskitaajuuksia. Pelkät keskiäänikaiuttimet ovat kooltaan yleensä 2-4 tuumaa, ja niiden sijoitus on helpompaa. Erillisillä keskiääni- ja midbassoelementeillä voidaan päästä parempaan lopputulokseen kustannuksien kuitenkin kasvaessa./2, s.39./

Diskantit taas puolestaan toistavat vain korkeita taajuuksia, eli yli 5000 hertsin taajuudet. Kooltaan diskantit ovat pieniä noin 0.5-1 tuumaa. Diskanteissa voidaan perinteisen kartion tilalla käyttää myös puolipallon muotoista kalottia./2, s.39./

Diskanttielementit voidaan myös sijoittaa midbasson/keskiäänien vaiheplugin paikalle, jolloin saadaan lähes koko äänialueen kaiutin, koaksiaalikaiutin. Etuna on myös asennuksen helppous ja saatava äänikuva, koska ääni lähtee samasta pisteestä. Huonoa on korkeiden taajuuksien epätasaisuus ja särö johtuen diskantin ympäristön liikkeestä matalia ääniä toistettaessa./2, s.40./

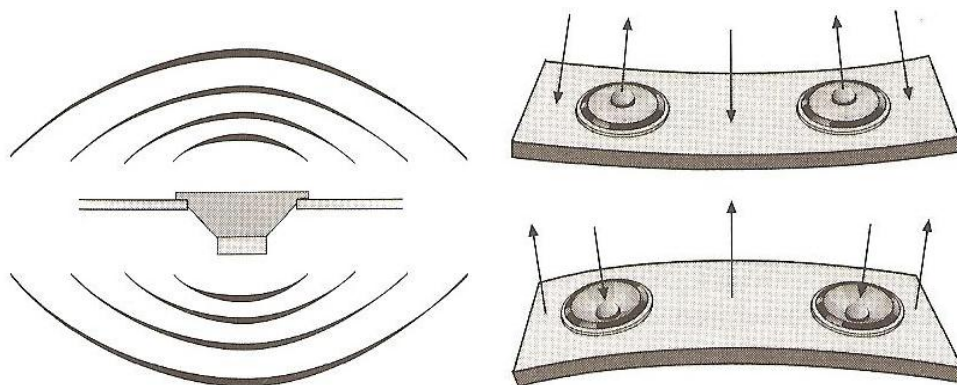
Kotihifipuolella jo paljon enemmän käytetty mahdollisimman suuren taajuuskaistan toistava elementtityyppi on viime vuosina alkanut yleistyä myös autohifipuolella. Näitä elementtejä kutsutaan laajakaistaelementeiksi. Laajakaistaelementtien suunnittelu on hyvin haastavaa ja yleensä erilliselementeillä päästäänkin parempaan lopputulokseen, mutta viime aikoina on päästy jo hyvin tuloksiin ylempien taajuuksien osalta. Erityisesti autoteollisuudessa laajakaistojen käyttö olisi kannattavaa, koska tuolloin saataisiin rakennettua hyvä äänentoisto vähillä elementeillä.

Koska mitkään kaiuttimet eivät toista koko äänialuetta luonnollisesti ja pienet kaiuttimet voivat rikkoontua liian matalia ääniä toistettaessa, täytyy kaiuttimille syötettävää signaalia muokata. ”Eri taajuusalueita toistavat kaiuttimet sovitetaan yhteen jakosuotimella” /3, s. 36/. Jakotaajuuksista puhuttaessa käytetään termejä, alipäästö, kaistanpäästö ja ylipäästö. Alipäästöllä suodatetaan kaikki tietyn rajataajuuden ylimenevät taajuudet. Kaistanpäästöllä tarkoitetaan ylä -ja alarajataajuuksien ulkopuolella olevien taajuuksien suodattamista. Ylipäästö suodattaa asetun rajataajuuden alapuoliset taajuudet pois. Jakosuotimien jyrkkyys merkitään yksiköllä desibeliä per oktaavi, joka kertoo vaimenemisen oktaavia kohden. Esimerkiksi jos diskantin ylipäästön joko-

taajuus on 2500 hertsiä jyrkkyydellä 12 desibeliä per oktaavia, on diskantille menevä signaali vaimentunut 1250 hertsin kohdalla 12 desibeliä. Passiivijakosuotimet valmistetaan kytkemällä signaalia muokkaavia komponentteja kaiutinjohtojen väliin. Jakosuotimissa käytetään kondensaattoreita, vastuksia ja keloja. Valmiiden erillissarjojen mukana tulee tarvittavat jakosuotimet. Erilliselementeistä järjestelmää rakennettaessa passiivijakosuotimien tekeminen komponenteista on työlästä ja kallista, koska käytettävien komponenttien arvot määräytyvät aina kyseisen kaiuttimen ominaisuuksien perusteella. /3, s. 36- 37./

## 2.5 Kotelointi

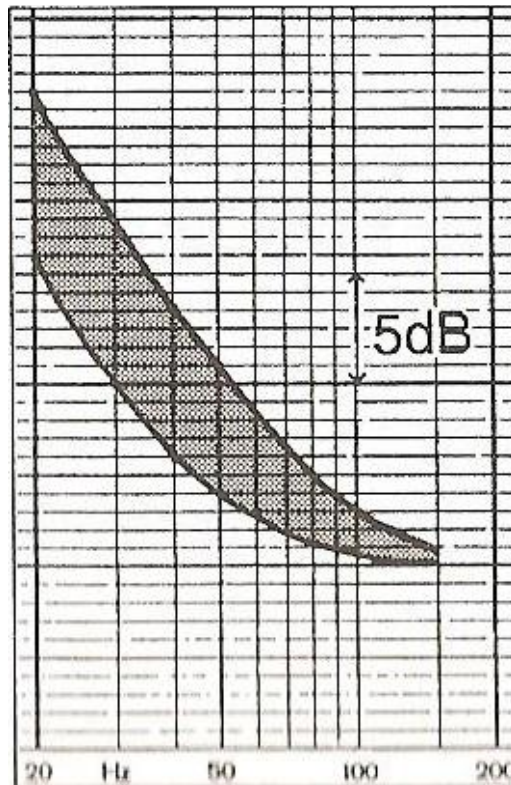
Useimmat kaiutinelementit vaativat koteloinnin toimiakseen suunnitellulla tavalla. Joissakin kaiuttimissa kotelo on integroituna elementin runkoon. Tämä on mahdollista vain pienissä keskiäänielementeissä ja diskanteissa, joissa kotelon tarve on hyvin pieni. Autokäyttöön tarkoitetut suuremmat keskiäänikaiuttimet ja midbassot soveltuvat yleensä asennettavaksi freeair -periaatteella. Freeair asennuksessa elementti asennetaan esimerkiksi oviin tai kojetaululle siten, että elementin etu- ja takaosan ilmatilat ovat erotettuna toisistaan. Asennuspaikan on oltava myös niin tukeva, että toimiessaan kaiutin ei aiheuta asennuspinnan värähtelyä. Jos elementin etu- ja takaosan ilmatilat pääsevät kohtaamaan, ne kumoavat osittain toisensa, ja syntyy akustinen oikosulku. Akustinen oikosulku syntyy myös siinä tapauksessa, jos kaiutin ei ole asennettu tarpeeksi tukevasti, jolloin asennuspinta alkaa värähdellä kaiuttimen toimiessa (kuva 2)./3, s.44–45./



**KUVA 2. Akustinen oikosulku ja asennuspinnan värähtely /3, s.44-45/**

Kotelointi on riippuvainen kaiutinelementistä ja halutusta käyttötarkoituksesta. Kaiutinelementin soveltuvuus eri koteloihin on riippuvainen elementin resonanssitaajuudesta ja Q-arvoista. Resonanssitaajuus on se taajuus, jossa kaiutinelementin kartio

alkaa resonoida vapaassa tilassa, se on riippuvainen kartion massasta ja ripustusten jäykkyydestä. Kaiuttimen käyttöalue sijoittuu tavallisesti resonanssitaajuuden yläpuolelle, mutta subwoofereiden kohdalla tämä ei aina päde. Elementin hyvyysarvo, eli  $Q$ -arvo, kertoo elementin toiminnasta resonanssitaajuuden läheisyydessä. Kaiuttimella on mekaaninen ja sähköinen hyvyysarvo. Näiden arvojen muodostama kokonaishyvyysarvo on merkittävä tekijä suunniteltaessa kotelointia. Kotelointi vaikuttaa elementin toimintaan, kokonaishyvyysarvoon ja resonanssitaajuuteen. Äänentoistollisesti kaikkein tärkein hyvyysarvo on lopullinen kokonaishyvyysarvo, jonka muodostavat elementti ja kotelo yhdessä. Subwooferin ihanteellisena kokonaishyvyysarvona ( $Q_{tot}$ ) autokäytössä pidetään 0,5-0,7, jos halutaan mahdollisimman korostumaton bassontoisto. Auto tyypillisesti korostaa alle sadan hertsin taajuuksia (kuva 3), jonka vuoksi  $Q_{tot}$ -arvoksi valitaan pienempi arvo kuin esimerkiksi kotikäytössä./2, s.51./



**KUVA 3. Bassotaajuuksien korostuminen /2, s.51/**

## 2.6 Kaiutinasennukset

Auton turvallisuuden ja äänentoistojärjestelmän oikein toimimisen kannalta on äärimmäisen tärkeää, että kaiuttimet on asennettu asianmukaisesti. Kaiuttimet tulisi olla kiinnitettynä tukevasti, ja niiden ei tulisi irrota edes rajussa kolaritilanteessa. Äänen-

toistollisesti tukevalla asennuksella estetään akustisen oikosulun syntyminen ja muu turha resonointi. Vaikka laitteisto olisi kuinka laadukas, ei siitä saada haluttua hyötyä irti jos asennuksia ei tehdä kunnolla.

Ihminen paikallistaa eritaajuisien äänien tulosuunnan eri tavoin. Korkeat äänet paikallistuvat helpommin kuin matalat. Pääkaiuttimien tulisi olla kuuntelupaikan etupuolella. Siten saadaan aikaan luonnollinen toisto. Eihän konserttialissakaan istuta selkä esiintyjään päin. Diskanttien oikea sijoitus on ensiarvoisen tärkeää, kun taas subwooferin sijoittaminen on puolestaan vapaampaa. Diskanttien hyviä sijoituspaikkoja ovat peilikolmiot, a-pilari, kojetaulun reunat ja ovien etu-yläreunat. Pääsääntönä on se, että kaiuttimet saadaan mahdollisimman leveälle ja kauas kuuntelupisteestä. Keskiäänet tulisi sijoittaa diskantin läheisyyteen, koska siten saadaan minimoitua elementtien toistamien taajuuksien vaihe-erot. Jos kaiuttimet eivät sijaitse samassa pisteessä saapuvat ääniaallot kuuntelupisteeseen eri aikaan, tällöin puhutaan vaihe-erosta. Jos keskiäänen sijoittaminen diskanttien läheisyyteen ei ole mahdollista, tulisi ne asentaa samalle etäisyydelle kuuntelupisteestä. Ihanteellisessa tilanteessa ääniaaltojen tulisi saapua jokaiselta elementiltä samanaikaisesti kuuntelupisteeseen. Keskiäänet sijoitetaan yleensä kojelaudalle tai ovien etureunaan. Koska ihmiskorvan on vaikea paikallistaa alle 100 hertsin taajuisia ääniä suljetussa tilassa, voidaan bassokaiuttimet sijoittaa melko vapaasti./3, s.43./ On kuitenkin ensiarvoisen tärkeää, että ääni kantautuu kuuntelupisteeseen muuttumattomana. Korostumia ja vaimentumia voi syntyä silloin, jos subwoofer on sijoitettu erilliseen kuuntelupisteestä erotettuun ilmatilaan. Esimerkiksi sedan -mallisen auton peräkonttiin sijoitettu subwoofer ei toimi yleensä optimaalisesti. Subwoofer -kaiuttimen kohdalla elementin muodostavat voimat ovat suuria, joten kotelon tukevuus ja kunnollinen kiinnittäminen auton rakenteisiin on tärkeää. Irtonainen painava kaiutinkotelo on kolaritilanteessa valtava riskitekijä./3, s.26–27./

## **2.7 Ohjelmalähde**

Kaiuttimien laadulla niiden asennuksilla ja sijoituksilla ei voi pelastaa sitä, että auton ohjelmalähde on huonolaatuinen. Ohjelmalähde tuottaa äänisignaalin, joka kuuluu auton äänentoistojärjestelmästä. Signaali voi olla peräisin radiolähetyksestä, CD-levyltä tai jostain muusta tallennusvälineestä. Monesti ohjelmalähteissä on itsessään vahvistin, ja siten erillistä vahvistinta ei välttämättä tarvita. Yleisimmin nykyautoissa on jo valmiina hyvälaatuiset vahvistimelliset ohjelmalähteet, joissa on hyvä radioviri-

tin ja CD-soitin. Viime aikoina on yleistynyt myös ominaisuus toistaa digitaalisessa muodossa olevaa musiikkia erillisestä tallennusvälineestä, kuten muistitikulta. Alkuperäiset ohjelmalähteet ovat monesti muuten tarpeeksi hyviä, mutta niiden heikkojen liitäntöjen takia laitteiston laajentaminen voi olla lähes mahdotonta. Ulkoisien lisälaitteiden kytkemiseen tarvitaan yleensä linjatasoinen signaali ohjelmalähteeltä, jota alkuperäisestä järjestelmästä ei yleensä saada. On olemassa myös lisälaitteita, jotka voivat ottaa signaalin vastaan kaiutintasoisena, eikä linjalähtöä välttämättä tarvitse.

Ohjelmalähde autossa voi olla joko kokonaan itsenäinen laite tai sulautettuna auton muihin järjestelmiin, se voi olla myös jotain näiden väliltä. Sulautetut ohjelmalähteet ovat monesti yhteydessä auton tiedonsiirtoväylään, josta se saa tiedon esimerkiksi auton ajonopeudesta ja lämpötilasta. Sulautetuissa järjestelmissä ohjelmalähde on lähes mahdoton vaihtaa. Sulautetussa ja osittain sulautetussa järjestelmässä ohjelmalähteen tiedot näytetään auton yleisnäytöstä. Osittain sulautetussa järjestelmässä ohjelmalähde näyttää olevan osa auton kojelautaa, mutta se on silti melko helposti vaihdettavissa. Jälkiasennettavat ohjelmalähteet on standardoitu. Yleisin käytössä oleva jälkiasennettavien ohjelmalähteiden standardi on DIN. Normaalin kokoinen ohjelmalähde on 1DIN kokoinen ja 2DIN kokoinen on tuplatan isompi. Jälkiasenteista ohjelmalähdettä asentaessa osittain sulautettuun järjestelmään voidaan joutua käyttämään sovitteita, joilla muunnetaan asennuspaikka DIN -normin mukaiseksi. Jos ohjelmalähdettä ei ole sulautettu, se on yleensä valmiiksi jo DIN -normin mukainen./3, s.53./

## **2.8 Signaaliprosessori**

Signaaliprosessorilla tarkoitetaan laitetta, joka muokkaa signaalia käyttäjän haluamaksi. Se sijaitsee vahvistimen ja ohjelmalähteen välissä. Niitä on analogisia ja digitaalisia, mutta analogisia ei nykypäivänä juuri autokäytössä ole. Signaaliprosessoria käytetään äänisignaalin viivästyttämiseen ja aktiivisena jakosuotimena. Äänisignaalin viivästäminen on tärkeää äänenkuvan kannalta etenkin autossa, koska asennukset on mahdoton tehdä symmetrisesti kuuntelupaikkaan nähden. Pahimmassa tapauksessa jokainen kaiutin saattaa sijaita eri etäisyydellä. Lähellä sijaitsevien kaiuttimien signaalia joudutaan viivästäämään, jotta ääni saapuisi samaan aikaan kuuntelupisteeseen niin lähemmistä kuin kauemmista kaiuttimista. Signaaliprosessoreissa on yleensä myös aktiivinen jakosuodin. Aktiivinen jakosuodin suodattaa signaalista halutut taajuudet pois jo ennen signaalin vahvistusta. Sen tärkeimpänä ominaisuutena voidaan pitää

suodatuksien säätömahdollisuuksia. Signaaliprosessorilla saadaan äänikuva optimoitua parhaaksi, mutta vain yhdelle kuuntelupaikalle kerrallaan. Tämän vuoksi sitä ei juurikaan käytetä uusissa autoissa. Lisäksi signaaliprosessorit ovat kalliita ja niiden käyttö vaatii hieman opiskelua ja kiinnostusta hyvään ääneen./3, s.57–58./

## 2.9 Vahvistimet

Vahvistimen tarkoitus on nimensä mukaisesti vahvistaa ohjelmälähteeltä tuleva linjatasoinen signaali. Ohjelmälähteeltä tuleva signaali on muutamien volttien luokkaa. Vahvistimelta kaiuttimille lähtevä signaali on taas puolestaan useita kymmeniä voltteja. Ensimmäiset asiat vahvistinta valittaessa ovat tarvittava kanavamäärä ja teho, jotka määräytyvät käytettävien kaiuttimien mukaan. Muita vaikuttavia tekijöitä näiden lisäksi on häiriöetäisyys, taajuusvaste ja särö. Häiriöetäisyydellä tarkoitetaan vahvistimesta lähtevän signaalin suhdetta pohjakohinaan. Taajuusvasteella tarkoitetaan kais-  
taa, jonka vahvistin pystyy toistamaan, esimerkiksi 20-20 000 hertsiä./5./ Kun signaalia vahvistetaan, se muuttuu aina, mutta laadukkaissa vahvistimissa muutos on hyvin vähäistä. Signaalin muutosta vahvistettaessa kutsutaan säröksi. Kaikissa nykyisissä autovahvistimissa on pääsääntöisesti säädettävät passiivijakosuodattimet. Jakosuodattimissa on vahvistinkohtaisia eroja suodatusjyrkkyydessä ja säätömahdollisuuksissa.

Vahvistimet jaotellaan eri luokkiin niiden toimintaperiaatteen mukaan. Autokäytössä käytettävät vahvistintyyppit ovat AB ja D. AB -luokan vahvistin on äänenlaadultaan hyvä ja särö on pientä. Sitä käytetäänkin koko äänialueen vahvistimena. D-luokan vahvistimissa hyötysuhde on huomattavasti parempi, mutta häiriöt ja säröarvot ovat suurempia. Koska sub -bassotaajuuksilla tehon tarve on suurempi ja äänen mahdolliset virheet eivät ole juuri kuultavissa, D-luokan vahvistimet ovat yleisimpiä subwoofer-vahvistimina./6./

## 2.10 Johdotukset

Johdotuksissa on tärkeintä kiinnittää huomiota kunnolliseen suojaukseen ja turvallisuuteen. Johtojen kulkureitit tulisivat valita niin, että johdot eivät altistu mekaaniselle rasitukselle ja pysyvät piilossa. Johdot tulee aina kiinnittää suunnitelluille paikoille, esimerkiksi nippusiteillä, etteivät ne pääse liikkumaan paikoiltaan. Läpivientien kohdalla on aina käytettävä läpivientikumia, tällä estetään johtimen eristeen puhki han-



kautuminen. Koska auton sähköjärjestelmässä käyttöjännite on vain 12 voltia, äänentoistojärjestelmässä kulkevat virrat ovat todella suuria, jopa yli 100 ampeeria. Tästä syystä on erityisen tärkeää tehdä virtajärjestelmä huolellisesti. /3, s.64–65; 10, s.31./

Päävirtakaapelit tulee mitoittaa maksimivirran mukaan ja suojata aina sopivalla sulakkeella. Mitoituksessa on hyvä muistaa riittävä varmuuskerroin, jolloin kaapelit eivät pääse lämpenemään. Pääsulake tulee sijoittaa mahdollisimman lähelle akkua, mielellään alle 40 senttimetrin päähän. Kaapelin mitoitukseen vaikuttaa sen pituus ja läpikulkeva virta. Kaapelin tarvittava poikkipinta-ala voidaan laskea kaavalla 2.

/3, s.64–65; 10, s.31./

$$A = I * \rho * \frac{l}{Uvl} \quad (2)$$

$A = \text{Johdinlangan poikkipinta - ala [mm}^2\text{]}$

$I = \text{Virran voimakkuus [A]}$

$\rho = \text{Ominaisvastus } [\Omega], \text{ kupari } 0,0185\Omega$

$l = \text{johtimen pituus [m]}$

$Uvl = \text{Sallittu jännitehäviö johtimessa [V]}$

Jos virran voimakkuus on 50A ja johtimen pituus on 5m, lasketaan kaapelin poikkipinta-ala seuraavasti.

$$A = 50A * 0,0185\Omega * \frac{5m}{0,3V} = 15,4166 \dots \text{mm}^2$$

Kaiutinkaapeleina ei ole tarpeen käyttää poikkipinta-alaltaan suuria johtimia, koska niissä kulkee lähinnä jännitettä, eikä juuri virtaa. Kaiutinkaapelit voidaan mitoittaa vahvistimen antaman kanavakohtaisen maksimivirran mukaan. Käytettävien kaiutinelementtien impedanssi, eli niiden vastusarvo, vaikuttaa vahvistin kanavan virran määrään. Se tulee ottaa huomioon kaapeleita mitoittaessa. Kaiutinkaapeleiden mitoituksesta löytyy paljon valmiita taulukoita (liite 2), joten niitä ei ole järkeä ruveta itse laskemaan. Jos on epävarma mitoituksesta, kannattaa aina valita vaihtoehdoista suurempi. Harvoin kuitenkaan käytetään yli neljän neliömillimetrin paksuista kaiutinkaapelia, paitsi painekäyttöön tarkoitetuissa erittäin järeissä subwoofer -järjestelmissä. /3, s.67- 68./

Johdotuksia tehdessä ylimääräisiä liitoksia tulisi välttää. Liitoksia tehdessä on kiinnitettävä huomiota liitoksen kestävyyteen ja suojaukseen. Paras tapa tehdä liitos on juottamalla käyttäen hyvälaatuista tinaa ja suojata liitos kutistesukalla. Aina liittäminen juottamalla ei ole mahdollista. Tällöin on hyvä käyttää mahdollisimman tukevaa kiinnitystä. Mainio tapa virtakaapeleiden liitoksiin ovat esimerkiksi erilaiset kaapelikengät. Vahvistimissa ja jakoblokeissa on yleensä valmiina ruuvikiinnitteiset terminaalit, joihin kuoritut kaapelit voi tukevasti kiinnittää. Irtosäikeiden välttämiseksi kaapeleiden päihin voi asentaa tarkoitukseen kehitetyt kupariholkit. /3, s.92- 93./

## 2.11 Häiriöt

Auton äänentoistojärjestelmän häiriöt voidaan jakaa kolmeen eri kategoriaan, indusoi-  
tuviin, laitteista aiheutuviin ja maalenkistä aiheutuviin häiriöihin. Indusoi-  
tuvat häiriöt johtuvat tasasähkövirran kulkiessa syntyvän staattisen magneettikentän johdosta. Mitä  
voimakkaampi magneettikenttä on, sitä voimakkaammin ja suuremmalla alueella se  
voi aiheuttaa häiriöitä. /7./ Tämän ilmiön vuoksi lähes kaikki autokäyttöön tarkoitetut  
signaalikaapelit ovat häiriösuojattuja. Suojauksesta huolimatta on suositeltavaa, että  
signaalikaapelit eivät ole virtakaapeleiden läheisyydessä./3./

Laitteistosta aiheutuvat häiriöt aiheutuvat nimensä mukaan ohjelmalähteen ja vahvis-  
timen pohjakohinasta ja niille ominaisista häiriöäänistä, esimerkiksi kappaletta vaih-  
dettaessa kuuluvasta napsahduksista. Häiriöt voivat johtua myös laitteiston teknisistä  
vioista tai maadoituksen puutteellisuudesta.

Maalenkistä johtuvat häiriöt syntyvät kun laitteiston eri osien maadoituspisteillä on  
potentiaaliero. Potentiaalierolla tarkoitetaan pisteitten välistä jännite-eroa. /8./ Tämä  
on tavallista, jos ohjelmalähde on maadoitettu alkuperäiseen johtosarjaan. Maalenkistä  
johtuvista häiriöistä päästään eroon kaikkein varmimmin siten, että kaikki laitteiston  
laitteet maadoitetaan samaan pisteeseen. Aina tämä ei kuitenkaan ole järkevää, koska  
tällöin johtimien pituus kasvaa. Parhaaseen lopputulokseen päästään käyttämällä  
mahdollisimman lyhyitä johtimia ja maadoittamalla laitteet samaan yhtenäiseen pel-  
tiin, esimerkiksi pohjalevyyn.

## 2.12 Säättäminen

Säättäminen on haastavin osa-alue koko autoäänentoistossa. Auton säättäminen niin, että se soi hyvin, voi olla suhteellisen vaivatonta, mutta hienosäätö on erittäin työlästä. Jotta päästäisiin parhaimpaan mahdolliseen lopputulokseen, on käytettävä tuttua säätämateriaalia, josta tiedetään, miltä sen tulisi kuulostaa. Säättämisessä auttaa teoriatiedon hallitseminen, kuten perustiedot akustiikasta ja äänen käyttäytymisestä.

Järjestelmän säättäminen tulee aloittaa linjatasojen sovittamisesta. Linjatasot säädetään vahvistimesta, koska yleensä säätöjä ei ole muualla. Säättötoimenpide toteutetaan tutulla musiikilla, näin huomaa muutokset äänessä paremmin. Linjaherkkyys tulee säätää siten, että ääni ei säröydy, vaikka ohjelmälähteen äänenvoimakkuus olisi maksimissa. Tässä vaiheessa on hyvä säätää myös kaiuttimien välinen voimakkuusero sopivaksi. Seuraavana on hyvä tarkastaa kaiuttimien vaiheistus eli tarkastaa että plus- ja miinusnavat ovat oikeinpäin kytkettynä. Jakotaajuuksien ja aikaviiveiden säättäminen on aina tapauskohtaista. Tähän osa-alueeseen kannattaa panostaa ja luottaa siihen, mikä kuulostaa hyvältä. Jakotaajuuksien säättäminen on tapauskohtaista, se riippuu käytettävistä elementeistä, niiden sijoituksista ja suuntauksista. Kaiuttimien mukana tulee yleisesti tiedot kaiuttimen toistamasta taajuusalueesta, mikä antaa suuntaa mahdollisista jakotaajuuksista. Aikaviivesäätöjä tehdessä tavoitteena on saada musiikki kuulumaan siten, että orkesteri soittaisi konepellillä. Oikein onnistuneilla säädöillä saadaan myös alimmat bassotaajuudet kuulumaan edestä. Säättämisen apuna voi käyttää myös taajuusvastemittausta, jolla voidaan selvittää laitteiston mahdollisia ongelmia.

## 3 TAAJUUSVASTEMITTAUS

Äänentoistojärjestelmien toisto-ominaisuuksia voidaan mitata taajuusvastemittauksen avulla. Taajuusvastemittaus kuvaa äänentoistojärjestelmän kykyä tuottaa eri taajuisia ääniä. ”Kaiuttimien taajuusvaste on eri suuntiin erilainen, ja kaikkiin suuntiin lähtevät äänet vaikuttavat lopputulokseen huoneessa tapahtuvien heijastusten välityksellä”/2.s29/. Kaiuttimien mukana tulevat mittaukset ovat vapaakenttävasteita, joilla tarkoitetaan pelkän kaiuttimen kykyä toistaa ääntä korostumattomassa ympäristössä. Vapaakenttävaste mitataan kohtisuoraan kaiuttimen edestä tai tietystä erikseen maini-

tusta kulmasta. Taajuusvasteeseen vaikuttaa vapaakenttävasteen lisäksi kuuntelutilan, asennuspaikan, koteloinnin ja suuntauksen tuomat väritymät./2./

Laitteistoa säädettäessä tulee muistaa, että tavoitteena on mahdollisimman hyvä ja luonnollinen ääni, eikä välttämättä mahdollisimman tasainen taajuusvaste. Pienet epätasaiset vaihtelut taajuusvasteessa eivät ole ihmiskorvan kuultavissa, kun taas liiallinen äänen korjaaminen esimerkiksi signaaliprosessorilla voi tehdä äänestä luonnottoman kuuloisin. Taajuusvastemittaus on hyvä apuväline järjestelmän säätämisessä. Sillä voidaan paikallistaa mahdollisten ongelmakohtien taajuudet, jolloin on helpompi ryhtyä korjaustoimenpiteisiin.

### 3.1 Mittauslaitteisto

Taajuusvastemittauksissa mittauslaitteistona käytettiin ulkoista äänikorttia, mikrofonia ja kannettavaa tietokonetta, jolle asennettiin tarkoitukseen sopiva ohjelmisto. Pyrimme pitämään mittauslaitteiston mahdollisimman yksinkertaisena eliminoidaksemme virheet.

Mikrofonina käytetään Behringerin ecm8000 -kondensaattorimikrofonia. Se on suunniteltu erityisesti taajuusvastemittauksia varten. Yleensä jokainen taajuusvastemittauksissa käytettävä komponentti on kalibroitava. Tämä mikrofoni oli kalibroimaton, mutta saimme ohjelmallisesti liitettyä kalibroitiedoston. Kalibroitiedosto oli viiden ecm8000 -mikrofonin keskiarvosta laskettu korjaustiedosto. Erot ovat kuitenkin todella pieniä, ja mittauksiin olisi täysin kalibroimatonkin mikrofoni kelvannut.

Ulkoisena äänikorttina toimi M-AUDIO Fast Track Pro. Siinä oli kaikki, mitä tarvitsemme mittauksiin. Tärkeimpänä ominaisuutena phantom-jännitesyöttö, jonka mikrofoni tarvitsee toimiakseen. Phantom-jännitesyötössä mikrofonille syötetään 48 voltin jännitettä, jolla kondensaattori saadaan varatuksi. Äänenpaine muuttaa kondensaattorin kapasitanssia liikuttaen siinä olevaa kalvoa. Saatava signaali on erittäin heikko, joten sitä täytyy vahvistaa lähellä mikrofoniakapselia./9./

Mittauksissa käytimme TrueRTA -nimistä ohjelmistoa. Ohjelmisto oli helppokäyttöinen ja soveltui tarkoitukseemme. Mittaustarkkuuden pystyy valitsemaan yhdestä oktaavista 1/24 oktaavin tarkkuuteen asti. Oktaavilla tarkoitetaan taajuuden puolittumista

tai kaksinkertaistumista. Ohjelma näyttää esiintyvät taajuudet ja niiden voimakkuuden reaaliaikaisesti, jolloin tuloksia pystyy tulkitsemaan välittömästi. Tämä helpottaa esimerkiksi taajuuskorjaimen käyttöä ja jakosuotimien hienosäätöä.

### **3.2 Mittausten suorittaminen**

Suoritimme kaikki mittaukset autolaboratiomme tiloissa. Pyrimme pitämään mittaukset mahdollisimman samanlaisina, jolloin tuloksista saadaan vertailukelpoisia. Mikrofonin asensimme kuljettajan niskatuen ja penkin väliin. Kaapeloinnin teimme takaikunan kautta ja suljimme sen mahdollisimman kiinni. Ennen varsinaisen mittauksen aloittamista tarkastimme auton sisällä olevan taustamelun. Halusimme eliminoida ulkopuolelta kantautuvien äänien vaikutuksen pois. Häiriöetäisyytenä taustamelun ja mittaustuloksen välillä pidimme yli 10 desibeliä. Mittauksia tehdessämme suoritimme jokaisen mittauksen vähintään kahteen kertaan ja tarkkailimme tuloksien yhtäläisyyttä. Mittaukseen tarvittava äänisignaali tuotettiin cd-levyltä, johon oli tallennettu pink-noiseksi kutsuttua kohinaa. Pink-noise sisältää jokaista taajuutta väliltä 20- 20 000 hertsiä energiasisältö oktaaveittain pysyy samana /9/. Optimitilanteessa mittaustulos olisi viivasuora.

## **4 UUSIEN AUTOJEN ÄÄNENTOISTOJÄRJESTELMÄT**

Perehdyimme muutamien uusien autojen äänentoistojärjestelmiin. Valitsimme tarkoituksella hieman erityyppisiä järjestelmiä, mikä tekee vertailusta mielenkiintoisempaa. Uusissa autoissa on alettu panostaa myös tehdasasennettujen äänentoistojärjestelmien laatuun. Usealla automerkillä on lisävarusteena saatavilla normaaliversiota parempia äänentoistojärjestelmiä. Kaikki testaamamme autot olivat uusia, joten laitteiston soinnissa voi tapahtua pieniä muutoksia sisäänajon myötä.

### **4.1 Suzuki Swift**

Suzuki Swift voidaan luokitella noin 15 000 euron lähtöhintansa mukaan edullisiin autoihin. Auton hinnan perusteella oletimme, että Suzukin äänentoistojärjestelmä ei ole testiautojemme parhaimmasta päästä. Suzukin järjestelmä on toteutettu edessä kaksitie -erillissarjalla (kuva 4) ja takana koaksiaalikaiuttimilla. Diskantit sijaitsivat peilikolmioissa, suunnattuna toisiaan kohden. Midbassot/ keskiäänet sijaitsivat ovien

etualareunassa suuntaamattomina. Takakaiuttimet sijaitsivat ovien etualareunassa myös suuntaamattomina.



**KUVA 4. Suzuki Swiftin kaiutinsijoittelu**

Ohjelmalähde oli helppokäyttöinen CD-radio mp3 -toistolla sekä usb-liitännällä. Usb-liitännään voi kytkeä erillisen tallennusvälineen, esimerkiksi muistitikun. Testiautom-



me ohjelmalähteen näytössä oli kosketushäiriöitä, ja ajoittain näytöstä oli mahdotonta saada selvää. Ominaisuuksiltaan ohjelmalähde (kuva 5) on monipuolinen ja kaiutinsijoittelu vaikuttaa onnistuneelta. Ennen kuuntelun aloittamista järjestelmä vaikutti oikein hyvältä lukuun ottamatta ohjelmalähteen häiriöitä.



**KUVA 5. Suzukin ohjelmalähde**

## **4.2 Mitsubishi ASX**

Kuuntelemassamme Mitsubishi ASX:ssä on lisävarustepakettiin kuuluva Rockford Fosgateen äänentoistojärjestelmä. Rockford Fosgate on tunnettu autohifi-valmistaja.

Järjestelmä koostuu parannellusta alkuperäisohjelmalähteestä, erillisestä vahvistimesta, kahdesta kaksitie-erillissarjasta ja subwooferista. Edessä diskantit sijaitsevat peili-kolmioissa suunnattuina etupenkien väliin ja Midbassot/ keskiäänit sijaitsevat ovien etualareunassa suuntaamattomina (kuva 6). Takakaiuttimet sijaitsevat takaovissa etualareunassa. Takana erillissarja on asennettu koaksiaalisesti, eli diskantti on sijoitettu midbasson yhteyteen. Subwoofer on sulautettu tavaratilan oikeanpuoleiseen verhoukseen (kuva 7).



**KUVA 6. Mitsubishi ASX:n kaiutinsijoittelu**





**KUVA 7. Mitsubishi ASX:n Subwoofer**

Ohjelmalähde (kuva 8) on päivitetty normaaliversiosta lisäämällä ominaisuuksia. Tärkeimpiä ominaisuuksina oli cd-vaihtaja, bluetooth handsfree, sekä aux- ja usb-liitännät. Ulkoisten tallennusvälineiden liitännät on toteutettu hyvin sijoittamalla ne kynnärtuessa olevaan lokeroon. Ohjelmalähde oli helppo käyttää, säätöominaisuuksina oli subwooferin, basson, keskialueen ja diskantin säädöt. Lisäksi oli mahdollista valita esiohjelmoituja ääniasetuksia esimerkiksi musiikin tyyppin mukaan ja kuuntelukentän valinta, jonka merkitys jäi hieman epäselväksi.



**KUVA 8. Mitsubishi ASX:n ohjelmalähde**

### 4.3 Mitsubishi Lancer

Valitsimme kuunteluun myös Mitsubishiin perusversion, jolloin saimme mielenkiintoisen vertailun. Edessä on kaksitie-erillissarja (kuva 9) ja takana koaksiaalikaiuttimet. Diskantit on sijoitettu peilikolmioihin lievästi suunnattuna kuuntelijaa kohden. Midbassot/ keskiäänät sijaitsevat ovien etualareunassa. Takakaiuttimet sijaitsevat takaovien etualareunassa. Ohjelmalähde on samanlainen kuin Rockford Fosgaten järjestelmässä, tosin vähemmillä ominaisuuksilla. Ohjelmalähteessä on CD-radio mp3 toistol- la.



**KUVA 9. Mitsubishi Lancerin kaiutinsijoittelu**

### 4.4 Skoda Octavia

Valitsimme Skoda Octavian tarkastelumme kohteeksi, koska se on Suomessa erittäin suosittu ja paljon myyty automalli. Kiinnostustamme lisäsi etukaiuttimien kummallinen sijoittelu. Ohjelmalähde (kuva 10) on helppokäyttöinen mp3-toistoon pystyvä CD-radio. MDI -multimediasovite, jolla saadaan ohjelmalähteeseen kytkettyä erillinen audiolaite, on lisävaruste. Kaiuttimina toimivat kaksitie-erillissarjat sekä edessä (kuva 11) että takana. Edessä diskantit on sijoitettu ovien etu-yläreunaan hieman suunnattuna ja keskiääni/midbasso -kaiuttimet ovat poikkeuksellisesti ovien taka-alareunassa. Tyypillisimmässä etukaiutinpaikassa, eli oven etu-alareunassa, on juomatelineet. Takakaiuttimien osalta sijoittelu on tavallisempi: diskantit ovat etu-yläreunoissa ja keskiääni/midbasso kaiuttimet etu-alareunoissa.



**KUVA 10. Skoda Octavian ohjelmälähde**



**KUVA 11. Skoda Octavian kaiutinsijoittelu**

## **5 PASSATIN ÄÄNENTOISTOJÄRJESTELMÄN RAKENTAMINEN**

Tarkoituksenamme on rakentaa itse mahdollisimman hyvin soiva äänentoistojärjestelmä 1998 vuosimallin Volkswagen Passat Variant -henkilöautoon. Järjestelmän rakenteeksi päätimme mahdollisimman monipuolisilla säätömahdollisuuksilla olevan aktiivisen kolmitiejärjestelmän. Hankkimamme tietojen perusteella yritämme panostaa niihin asioihin, jotka ovat osoittautuneet tärkeiksi, ja yritämme välttää turhia merkityksettömiä ylilyöntejä järjestelmän rakentamisessa. Tarkoituksenamme ei ole rakentaa sellaista järjestelmää, joka soveltuisi sellaisenaan sarjavalmistukseen, vaan rakentaa Passatista tutkimusväline, jossa voimme kokeilla eri muuttujien vaikutusta ja merkityksellisyyttä. Passatin rakentamisen ohjeistamisessa ja laitteiston toimittamisessa toimi korvaamattomana apuna Joensuun Eastaudio. Aiomme rakentaa auton järjestelmän EMMA sääntökirjan mukaisesti, että haluttaessa autolla olisi mahdollista kilpailla äänenlaatukilpailuissa luokassa experienced 5.

## 5.1 Vaimennus

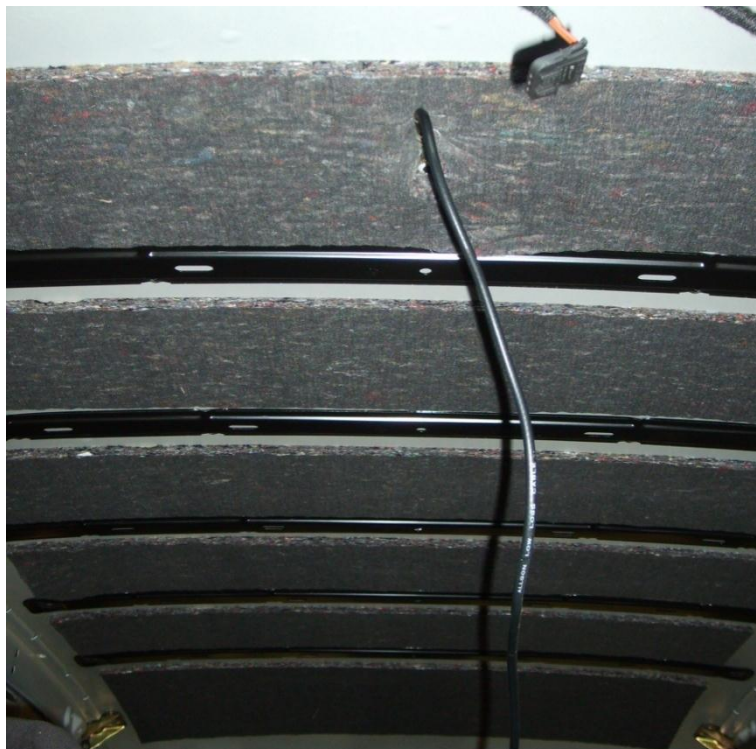
Passatin rakentaminen aloitettiin vaimentamisella. Vaimentaminen on hyvin tärkeää autoäänentoistossa, koska vaimentamaton auto resonoi, ja auton ollessa liikkeessä rengasmelu ja moottorin äänet pilaavat kuuntelukokemuksen. Tarkoituksenamme on vaimentaa vain lisävaimennusta tarvitsevat paikat, koska Passatin on vaimentaminen hoidettu keskivertoa paremmin jo tehtaalla. Autohifi-autoa rakennettaessa pitkälle edenneet harrastajat jäykistävät auton suuria metallipintoja usein myös liimaamalla metallilevyjä alkuperäisen pellin päälle. Tämä jäykistää pintoja tehokkaasti ja lisää massaa, mutta me emme tähän ryhtyneet, koska uskomme, että pääsemme riittävän hyvään lopputulokseen jo kevyellä lisävaimennuksella.

Käytimme vaimentamiseen Silent Coat -raskasmattoa ja kevyempää Silent Coat Noise Isolator 8 -polyeteenimattoa. Silent Coat -raskasmatto koostuu alumiinilla vahvistetusta butyylikumiseoksesta. Matossa on itsessään liimapinta, ja se tarttuu puhdistettuun ja rasvattomaan pintaan todella tehokkaasti. Matto on noin 2 millimetriä paksua. Suuren massansa ja kimmoisan rakenteensa vuoksi se estää peltipintojen resonointia, jäykistää rakennetta ja vaimentaa ulkopuolelta kantautuvia ääniä. Joillakin pinnoilla käytimme raskasmaton lisäksi myös Silent Coat Noise Isolator 8 -polyeteenimattoa. Noise Isolator -matto on kahdeksan millimetriä paksua sandwich-rakenteista solukumimattoa, joka ei ime kosteutta, joten sitä voi käyttää lähes missä vain. Matto on pehmeää ja kevyttä, joten se vaimentaa tehokkaasti myös korkeita ääniä.



Vaimentamisen aloitimme etuovista. Passatin ovien rakenne on äänentoistollisesti todella hyvä. Oven sisäpelti on irrotettava, jäykkä ja yhtenäinen alumiinilevy, jonka irrottamalla on oven ulkopellin vaimentaminen erittäin miellyttävää. Oven ulkopeltiin liimasimme kaksi kerrosta Silent Coat -raskasmattoa, ja kaiutinpaikan kohdalle laitoimme lisäksi Noise Isolator -mattoa. Oven alumiinisen sisäpellin päällystimmme kummaltakin puolelta raskasmatolla.

Toinen tärkeä vaimennuskohde kohdeautossamme on katto. Farmariautossa katto on pitkä, ja sen vaimentaminen on ensiarvoisen tärkeää, kun halutaan luonnollinen bassonoisto. Tehtaalla katto on vaimennettu pelkästään paksulla huovalla (kuva 12). Aloitimme vaimentamisen poistamalla alkuperäinen vaimennusmateriaalin. Liimasimme koko katon alueelle kerroksen raskasmattoa (kuva 13), ja sen päälle kerroksen Noise Isolator -mattoa (kuva 14). Lopulta saimme katosta jäykemmän ja kumismattoman. Oli yllättävää, miten paljon katon vaimentaminen vaikutti myös ajomeluun.



**KUVA 12. Katon alkuperäinen vaimennusmateriaali**



**KUVA 13. Raskasmaton asennus kattoon**



**KUVA 14. Raskasmaton päälle asennettu solukumimatto**

Liimasimme raskasmattoa myös Passatin tavaratilaan, tavaratilan luokkuun ja taka-penkin alle. Vaimentamatta autosta jäi matkustamon lattia, takaovet ja tulipelti, koska niiden vaimentaminen ei ole ensiarvoisen tärkeää äänentoiston parantamisessa. Tulevaisuudessa on tarkoituksena vaimentaa auto läpikotaisin, mutta tällä saatava hyöty kuuluu hyvin pitkälti vain ajomelun pienenemisenä. Koska työssämme kuuntelut suoritetaan auton ollessa paikallaan, ei lattian, takaovien ja tulipellin lisävaimennuksella ole työn kannalta merkitystä.

## **5.2 Laitteisto**

Pidämme Passatin laitteiston mahdollisimman yksinkertaisena, huomaamattomana, suhteellisen edullisena. Laitteiston tulee myös rajoittaa käytettävyyttä mahdollisimman vähän. Kun muutamme järjestelmää, vaihdamme vain kaiutinelementtejä ja niiden asennuspaikkoja. Muutetussa järjestelmässä ohjelmalähde, vahvistin ja johdotukset pysyvät samoina. Järjestelmä pysyy aktiivisena 2-tie-etupää- ja subwoofer-yhdistelmänä koko tutkimuksen ajan.

### **5.2.1 Ohjelmalähde**

Ohjelmalähteenä kohdeautossamme toimii Alpine CDA-9887, jossa on sisäinen signaaliprosessori. Valintaan päädyimme laitteen hyvien ominaisuuksien, suosion ja kilpailukykyisen hinnan vuoksi. Laitteen tärkeimpiä ominaisuuksia ovat aktiivinen kolmitie jakosuodin riittävän tarkoilla ominaisuuksilla, kolme paria laadukkaita linjaulostuloja, kaikkien kuuden kanavan viiveet ja yksilölliset tasonsäädöt joka kanavalle. Laitteessa on myös viisialueinen parametrinen tai vaihtoehtoisesti seitsemän alueinen graafinen taajuuskorjain. CDA-9887:ssa on myös laadukas CD-soitin mp3-valmiudella, bluetooth- ja iPod -valmius. Valintaamme puolsivat myös Alpinen soittimien toimintavarmuus ja selkeä käyttöliittymä.

### **5.2.2 Vahvistin**

Vahvistimena toimii Helix P500 Esprit. Se on pienehkö viisikanavainen AB-luokan vahvistin, joka on ihanteellinen käyttöömmme. Vahvistin tarjoaa neljän ohmin kuormaan 13,8 voltin käyttöjännitteellä neljä kertaa 60 wattia ja subwooferille 170 wattia. Kahden ohmin kuormaan saadaan neljä kertaa 80 wattia ja subwooferille 250 wattia jatkuvaa tehoa, joka riittää käyttöömmme mainiosti. Vahvistin on koottu laadukkaista komponenteista ja se on äänenlaadullisesti hyvä. Valmistajan ilmoittama harmoninen särö on arvoltaan 0,009 %. Vahvistin on kooltaan suhteellisen pieni, leveydeltään 20 senttimetriä, pituudeltaan 43,2 senttimetriä ja korkeudeltaan vain 3,15 senttimetriä./11./

### **5.2.3 Kaiutinelementit**

Elementtien valinnassa tärkeimpinä kriteereinä pidimme äänenlaatua ja hyvää hintalaatu-suhdetta. Äänenlaadun mittarina emme käyttäneet valmistajan kehuja, vaan elementtien menestymistä eri testeissä ja kilpailuissa sekä äänentoiston erikoisliike Eas-taudion henkilökunnan suosituksia. Kohdeautomme ensimmäisen järjestelmän kaiuttimet ovat kaikki Ruotsalaisen kaiutinvalmistaja DLS:n mallistosta. Valinnan syynä on elementtien menestyminen testeissä ja edullinen hinta. Kaikkia valitsemiamme elementtejä on käytetty paljon äänenlaatukilpailuissa.

Toiston ylimmät taajuudet toistaa DLS Nobelium 1 -diskanttielementit. Nobelium 1 on tukevalla metallirungolla ja integroidulla kammiolla varustettu elementti. Elementin värähteliänä toimii 28 millimetrin kangaskalotti. Elementin resonanssitaajuus on 900 hertsiä, ja valmistajan ilmoittama taajuusvaste on 1-25 kilohertsiä. Jatkuvaksi tehonkestoksi ilmoitetaan 50 wattia. Elementin jakotaajuudeksi suositellaan alimmitaan 2,5 kilohertsiä./12./

Järjestelmän keskiääni/midbassoina toimivat DLS MS6A 6,5 -tuumaiset elementit. Elementit on tarkoitettu asennettavaksi Free-air -periaatteella. MS6A-kaiutinta suositellaan monissa alan liikkeissä aktiiviseen kaksitie järjestelmään käyttämiemme Nobelium 1 -diskanttien pariin.

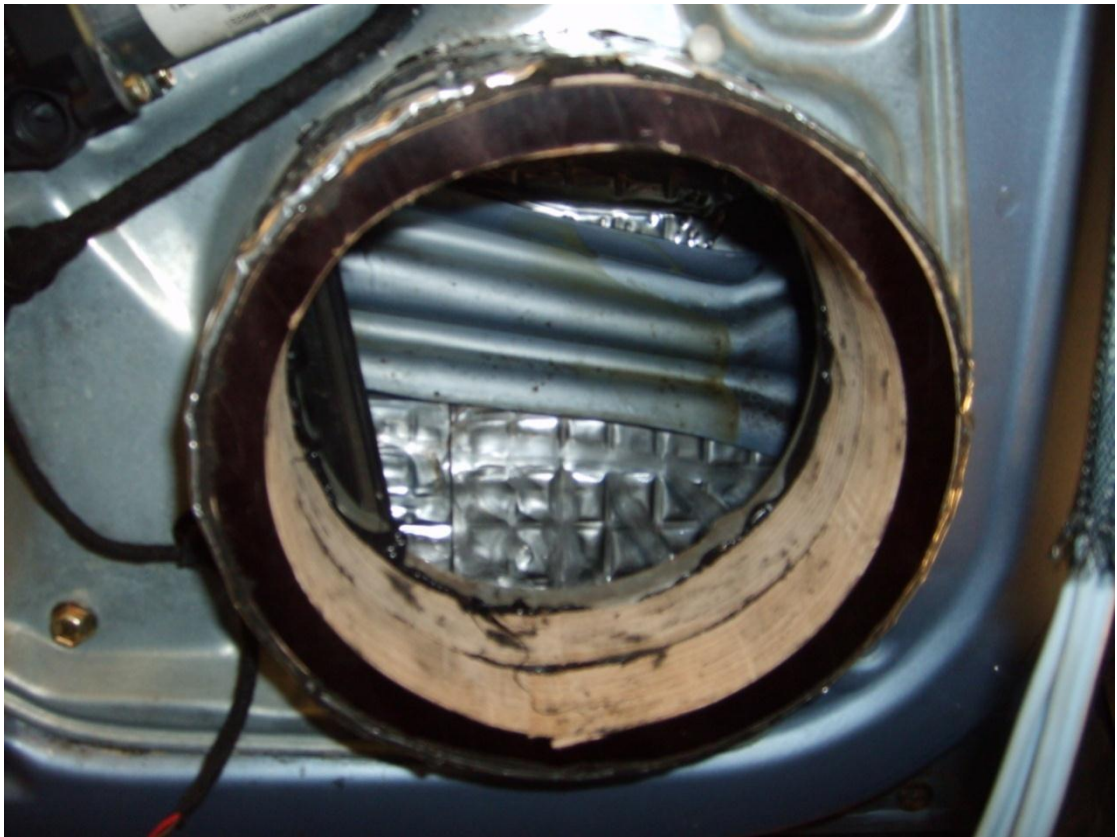
Subwooferina laitteistossamme toimii DLS RW10-10 -tuumainen elementti. Valintakriteereinä subwooferille oli soveltuvuus pieneen suljettuun koteloon ja pieni tehontarve. Valmistaja suosittelee elementin koteloitavaksi 18 litran suljettuun koteloon. Koska elementin puhekela on impedanssiltaan vain kaksi ohmia, saadaan sille käyttämältämme vahvistimelta enemmän tehoa irti. Jatkovaa tehoa elementti kestää 250 wattia. RW10:n vapaakenttävästeeeksi ilmoitetaan 25- 2000 hertsiä./13./

### **5.3 Asennukset**

Pyrimme tekemään Passatin asennukset mahdollisimman tukevasti ja äänenlaadullisesti mahdollisimman hyviin paikkoihin uhraamatta kuitenkaan auton normaaleja käyttöominaisuuksia. Koska yksi helpoimmista keinoista pilata muuten laadukas äänentoistojärjestelmä on tehdä asennukset kiireessä, käytimme asennuksiin paljon aikaa. Panostimme asennusten tukevuuteen välillä jopa liioitellusti, ettei järjestelmän toimivuus jäisi kiinni asennuksista.

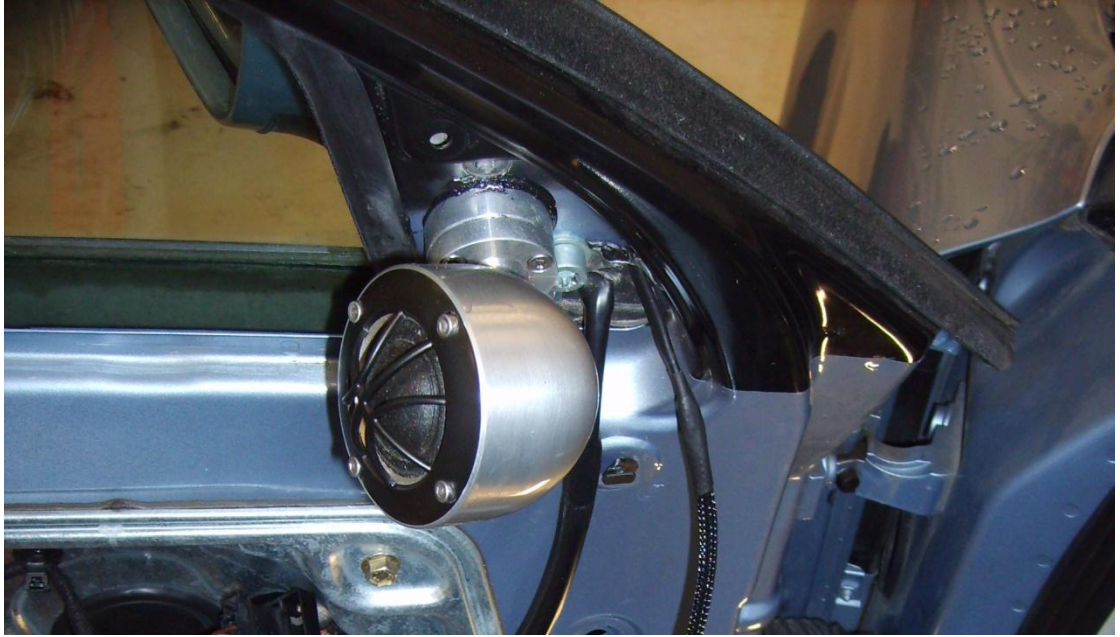


Kojetaululle emme keskiäänikaiuttimia asentaneet, koska valitsemassamme kolmitieperiaatteessa tulisi keskiäänien toimia myös midbasso-alueella. Sekä keskiääni- että midbassoalueet toistavan elementin tulee olla kooltaan vähintään 5,25 tuumaa, mikä vaikeuttaa kojetauluasennusta. Passatin kojelaudan muodon takia suurehkot keskiäänielementit on lähes mahdottomat asentaa kojelaudalle ilman työlästä kojelaudan muokkausta. Tilanteessamme helpoin tapa saada toimiva keskiääni- ja midbassotoisto on asentaa kaiuttimet ovien etualareunoihin. Teimme kaiuttimille vanerista noin 60 millimetriä paksut korotusrenkaat, joilla kaiutin saadaan ovipahvin tasalle. Tukevoitimme korotusrenkaita kahdella kerroksella Silent Coat -raskasmattoa ja kiinnitimme ne liimalla ja ruuveilla oven runkoon (kuva 15). Jouduimme oven runkorakenteen takia tekemään korotusrenkaista täsmälleen kaiuttimen upotusreiän kokoisen, vaikka äänenlaadullisesti ajateltuna se ei ole paras mahdollinen vaihtoehto. Kaiuttimen asentaminen putkeen, jossa se ei mahdu hengittämään ollenkaan sivulle, vaikuttaa äänenlaatuun negatiivisesti. Jätimme keskiääni/midbassot kokonaan suuntaamatta, koska äänentoistokilpailuissa on menestytty hyvin myös suuntaamattomilla asennuksilla. Koska halusimme käyttää kaiuttimien mukana tulleita äänenlaadullisesti parempia kaiutinritilöitä, leikkasimme alkuperäisen kaiutinritilän pois. Alkuperäinen kaiutinritilä oli melko tiheä ja valmistettu muovista, kun taas kaiuttimen mukana tulleet ritilät ovat metalliset ja hyvin hengittävät. Liian paljon peittävä ritilä vääristää ääntä enemmän kuin voisi olettaa.



**KUVA 15. Oven asennuspaikka**

Diskanttien asennuspaikkojen päättäminen järjestelmässä, jossa keskiäänät sijaitsevat ovien etualareunoissa, on suhteellisen haastavaa. Diskantit tulisi asentaa kuuntelijan korvan korkeudelle, mahdollisimman kauas niin syvyys, kuin sivusuunnassa, mutta ei kuitenkaan kovin kauas keskiäänistä. Yleisimpiä diskanttien asennuspaikkoja kyseisessä tilanteessa ovat A-pilarit, kojelauta, peilikolmiot ja ovien etuyläreunat. A-pilari-asennuksessa kaiutin saadaan tarpeeksi ylös ja pituussuunnassa kauas, mutta kuuntelijan puoleinen diskantti on tuolloin sivusuunnassa hyvin lähellä kuuntelijaa ja diskantit ovat kaukana keskiäänistä. Kun diskantit asennetaan kojelaudan kulmiin, saadaan ne pituussuunnassa todella kauas, mutta kuuntelijan puoleinen diskantti on melkein kuljettajan edessä. Kojelauta-asennuksessa diskantti ei ole kovin korkealla eikä myöskään kovin lähellä keskiääntä. Peilikolmioasennuksessa elementit ovat sivusuunnassa hyvin etäällä, eikä kovin kaukana keskiäänistä, mutta kaiutin ei ole kovin ylhäällä eikä pituussuunnassa kaukana. Oven etureuna-asennuksessa diskantit ovat lähimpänä keskiääniä, mutta muilta osin asennuspaikka on melko heikko. Pitkällisen pohdinnan jälkeen päätimme asentaa elementit peilikolmioihin. Asennusta varten hankimme alumiinista sorvatut asennusjalat, joissa olevien pallonivelien vuoksi diskantin suuntausta voi säätää helposti (kuva 16). Asennusjalkojen kiinni pysymisen varmistamiseksi kiinnitimme ne koriliiman lisäksi ruuveilla oven runkoon.

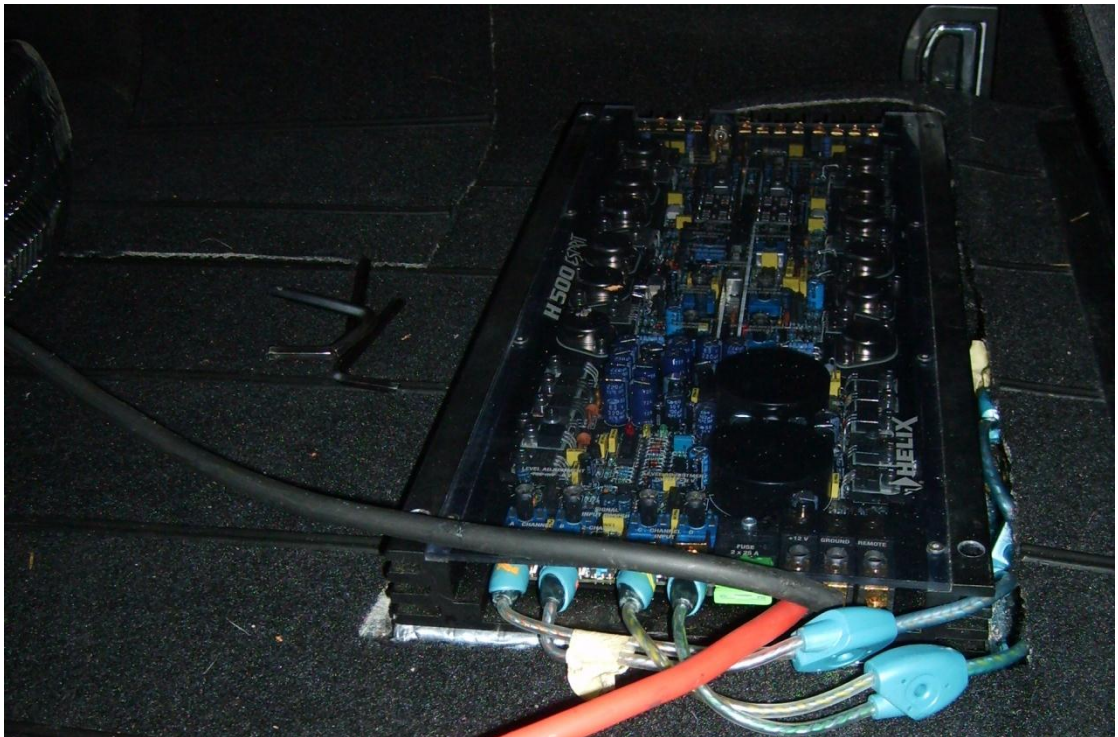


**KUVA 16. Diskantin asennus**

Suunnitellessamme subwoofer asennusta päätimme rakentaa järeän, mutta siirreltävän kotelon, jonka tilavuutta voi tarvittaessa muuttaa. Aluksi rakensimme tilavuudeltaan 26 litraisen suljetun kotelon 27 millimetriä paksusta vanerista. Kaiutinjohdot vietiin koteloon käyttämällä tarkoituksenmukaista valmisteterminaalia, johon kotelon sisällä olevat johdot liitettiin tinaamalla. Terminaalin ulko-osaan voidaan johdot liittää joko banaaniliittimillä tai käyttämillämme puristusliitoksilla. Kotelon seinämiä jäykistettiin hiekkahartsimassalla, jota koteloon kaadettiin yhteensä noin viisi litraa. Kotelosta tuli painava, luja ja resonoimaton. Kotelo kiinnitettiin auton kuormansidontalenkkeihin kuormaliinalla. Koteloa voi tarvittaessa pienentää liimaamalla sen sisälle esimerkiksi mdf-levyn paloja.

Vahvistinta asentaessa on huomioitava se, että vahvistimeen on tarvittaessa päästävä käsiksi. Koska vahvistimeen liitetään kaikki kaiutinjohdot, signaalijohdot, vahvistimen herätejohto, maadoitusjohto ja päävirtajohto, vahvistimen tulisi olla sellainen, että liitännät olisi helppo tehdä. Koska maadoitusjohdon tulisi olla mahdollisimman lyhyt, vahvistimen sijoituspaikan kannattaa olla mahdollisimman lähellä maadoituspistettä. Vahvistimen yleisimpiä asennuspaikkoja ovat takaistuimen selkänoja, tavaratilan lattia, tavaratilan sivut ja vararengaskotelo. Koska halusimme säilyttää kääntyvät takapenkit sekä varapyörän ja käyttämämme vahvistin on hyvin matala, valitsimme asennuspaikaksi tavaratilan lattian etureunan. Asennuspaikka on hyvin lähellä käyttä-

määmmme maadoituspistettä, eli takapenkin selkänojan kiinnityskohtaa. Kiinnitimme auton pohjalevyyn tiivisteliimamassalla vahvistimen kokoisen 27 millimetriä paksun vanerilevyn. Liiman kuivumisajaksi laitoimme levyn päälle noin 150 kilogrammaa rautalevyjä ja rautasyntereitä, että levy puristuisi tiukasti pohjalevyyn kiinni. Liiman kuivuttua laminoimme levyn pohjapeltiin Silent Coat- raskasmatolla. Näin saimme asennuspaikan, joka ei ääritilanteissakaan varmasti irtoa. Vahvistimen kiinnitimme ruuveilla asennuslevyyn. Passatin tavaratilan pohjaa peittää muovinen verhoilulevy, johon jouduimme sahaamaan reiän vahvistimen kohdalle. Vahvistin tulee normaalista lattiatasosta noin kolme senttimetriä korkeammalle, joka ei rajoita tavaratilan käyttöä juuri ollenkaan (kuva 17). Vahvistimeen on myös helppo päästä käsiksi.



**KUVA 17. Vahvistin asennettuna tavaratilan pohjaan**

## 5.4 Johdotukset

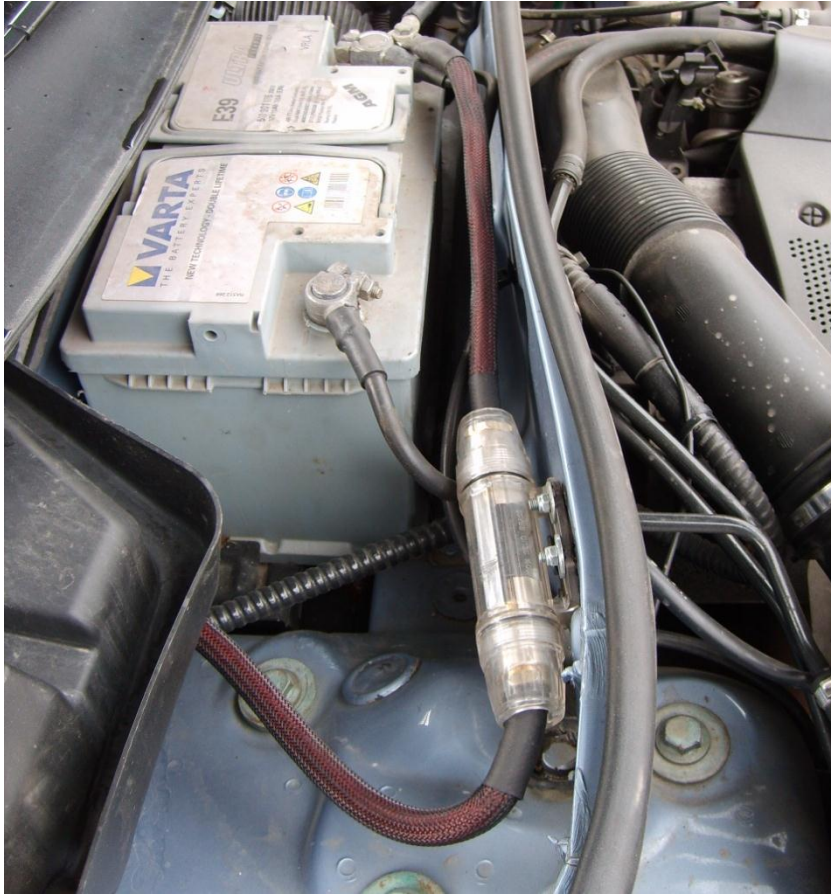
Kaapeleita valitessa tarjontaa löytyy todella paljon ja hintahaitari on laaja. Passatin johdotukset on tehty hinta-laatusuhteeltaan järkevästi. Kaapelointi on tehty Emma Finland ry:n sääntökirjaa noudattaen.

### 5.4.1 Virtajärjestelmä



Päävirtakaapelina Passatissa on HiFlex 50 neliömillimetrin paksuisena. Kaapeli on mitoitettu varman päälle, vaikka nykyisellä järjestelmällä puolet tuosta kaapelinpaksuudesta riittäisi. Paksusta kaapelista ei ole mitään haittaa, päinvastoin tämä mahdollistaa laitteiston päivittämisen tehokkaampaan. Hiflex on kuparikaapelia, jossa on paksu eriste ja erinomaiset virrankuljetusominaisuudet. Kaapelia käytetään muun muassa hitsauskoneiden kaapeloinnissa, missä tarvitaan suurta kulutuskestävyyttä sekä hyvää virran johtavuutta. Päävirtakaapeli on suojattu oikosulun varalle ANL-sulakepesällä, sulakkeen koko on 150 ampeeria. Sulakepesä on asennettu mahdollisimman lähelle akkua. Sulakepesä sijaitsee tulipellisä ja on kiinnitetty pulteilla tukevasti (kuva 18). Kaapeli on kiinnitetty akkuun tinapäälysteisellä kuparisella kaapelikengällä.

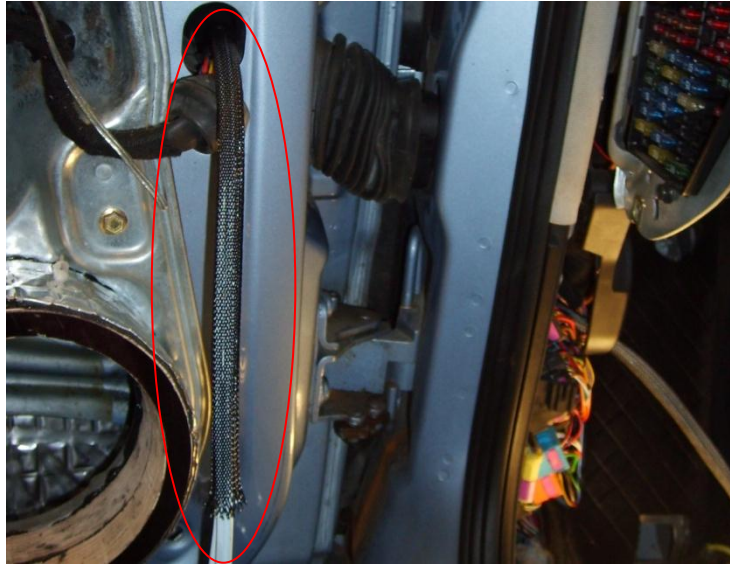
Vaikka kaapelin oma eriste on todella paksua, kaapeli suojattiin nylon punossukalla koko matkalta. Tulipellin läpivienti on tehty auton omaa läpivientikumia käyttäen. Kaikki liitoskohdat sekä punossukan alku ja loppukohdat on suojattu kutistesukalla. Vahvistimeen kiinnitettävän virtakaapelin maksimipaksuus on 16 neliömillimetriä, joten peräkonttiin asennettiin sulakkeellinen jakoblokki. Jakoblokilla saadaan jaettua paksu virtakaapeli useaksi pieneksi. Jakoblokkiin tulee siis 50 neliömillimetrinen kaapeli ja siitä lähtee vahvistimelle 16 neliömillimetrinen kaapeli. Sulake on jakoblokissa arvoltaan 60 ampeeria, koska kaapelin läpimitan muuttuessa se täytyy suojata aina kyseisen kaapelin maksimivirran mukaan. Lisäksi mitoitus pitää tehdä aina ohuimman kaapelin mukaan, sulakkeen mitoituksessa pitää siis ottaa huomioon myös maadoituskaapelit. Esimerkiksi jos virtakaapeli on 16 neliömillimetriä ja maadoituskaapeli kymmenen neliömillimetriä, täytyy mitoitus tehdä maadoituskaapelin mukaan./10, s.31–32/ Vahvistimen maadoitus on tehty 16 neliömillimetrin kaapelilla. Maadoituspisteinä Passatissa toimii takapenkin selkänöjan kiinnityspiste. Maadoituspiste puhdistettiin huolellisesti maalista hyvän kontaktin takaamiseksi.



**KUVA 18. Päävirtasulakkeen asennus**

#### **5.4.2 Signaali- ja kaiutinkaapelit**

Signaalikaapelina on Audison connectionin BT6 550. Kaapeli on kuusikanavainen ja pituudeltaan 5,5 metriä. Siinä on hyvät häiriönsuojauksen ominaisuudet ja tukevut liittimet. Kaiutinkaapeleina on kaikille elementeille Supra Classic 2,5 neliömillimetrin paksuisena. Kaapeli on puhdasta kuparia, jonka pinta on tinattua. Valmistajan mukaan tinan tarkoitus on estää kaapelin hapettuminen ja parantaa äänenlaatua sekä estää virran hyppiminen säikeiden välillä./14./ Kaiutinkaapelit on suojattu kauttaaltaan punosukalla (kuva 19) ja läpivienneissä on käytetty läpivientikumeja.



**KUVA 19. Kaiutinkaapelit suojattuna punossukalla**

### **5.5 Passatin äänentoistojärjestelmän säätäminen**

Vaikka järjestelmä olisi muuten kuinka laadukas, se ei välttämättä soi hyvin, jos se ei ole säädetty oikein. Säättämisen aloitimme ohjelmalähteen aktiivijakosuotimien säädöllä. Jakosuotimien säätö on tehtävä ensimmäiseksi, että kaiutinelementit eivät joutuisi toistamaan sellaisia taajuuksia, mitä niiden ei ole suunniteltu toistavan. Diskanttelementit voivat rikkoutua hyvinkin nopeasti, jos niillä toistetaan liian matalia ääniä. Kun olimme säättäneet suotimet sinnepäin, säädimme taajuusbalanssin sopivaksi vahvistimelta. Taajuusbalanssia on myöhemmin helppo hienosäätää ohjelmalähteestä tarpeen vaatiessa. Taajuusbalanssin säädön jälkeen kokeilimme, millaisella suuntauksella diskantit kuulostivat miellyttävimmiltä. Kyseiset diskantit kuulostivat mielestämme parhaalta, kun ne olivat suunnattuina suoraan kuljettajalle.

Kun taajuusbalanssi oli kunnossa ja diskanttien suuntaus valmiina, jatkoimme jakosuotimien hienosäätöä. Tämä toimenpide osoittautui yllättävän merkitykselliseksi ja vaativaksi. Diskanttien jakoa kokeilimme väleillä 2,5 kilohertsistä viiteen kilohertsiin. Alimmilla jakotaajuuksilla äänenkuvaa saatiin korkeammalle, mutta tuolloin ääneen tuli joillakin musiikkikappaleilla rasittavuutta. Kaikilla musiikkikappaleilla rasittavuutta taas ei ilmennyt. Etsiskellessämme säätöapua monista lähteistä huomasimme, että elementtien jakotaajuuksien väliin kannattaa yleensä jättää oktaavin kokoinen taajuusväli, jos pelataan normaaleilla suodatusjyrkkyyksillä, eli 12–18 desibeliä per oktaavi. Kokeilimme jättää taajuusaukot, ja yllättäen edellä mainittu rasittavuus väheni huomattavasti.

Ehdottomasti eniten päänvaivaa säätämisessä tuotti viiveiden säätäminen oikein. Viiveiden säätäminen vaikuttaa pääasiassa siihen, että mistä musiikki kuulostaa tulevan. Tavoitteena on saada musiikki kuulumaan siten, että orkesteri kuulostaa soittavan auton konepellillä. Järjestelmässämme on viivesäädöt jokaiselle kaiutinelementille erikseen. Aloitimme viivästyttämällä lähintä kaiutinta, eli kuljettajan puolen diskanttia niin paljon kuin mahdollista. Sen jälkeen viivästimme kuljettajan puoleisen keskiäänimidbasson samalle etäisyydelle. Oikean puolen kaiuttimet säädimme kuuntelemalla ja kokeilemalla sopivalle etäisyydelle. Kauan kestäneen kuuntelun, kokeilun ja säätämisen jälkeen alkoi musiikki kuuluvan jo kojelaudan keskeltä. Kaikkein vaikein säädettävä oli ehdottomasti subwoofer. Subwooferin viivesäädön tarkoituksena on, että bassotaajuudet saataisiin kuulostamaan siltä, että ne tulevat kuuntelijan etupuolelta. Subwooferin ollessa eri vaiheessa kuin pääkaiuttimet näin ei kuitenkaan tapahdu, vaan sub-bassotaajuudet paikallistuvat auton takaosaan. Kokeilimme subwooferille eri suuntaus ja sijoituspaikkoja. Parhaiten saimme subwooferin integroitumaan muuhun järjestelmään silloin, kun asetimme sen takapenkille suunnattuna auton etuosaan. Tällöin bassotaajuudet oli suhteellisen helppo saada kuulumaan auton etuosasta. Takapenki ei lopullisena asennuspaikkana ole kuitenkaan kannattava, joten sijoitimme kotelon tavaratilan oikeaan reunaan suunnattuna vasemmalle. Lopulta saimme subwooferin viiveet säädettyä jotakuinkin kohdalleen.

Uskomme, että asiantuntevalla säätämisellä kyseisen laitteiston voi saada soimaan vielä paremmin, mutta omalla kokemuksella ja muutaman viikon säätöajalla pääsimme lopputulokseen, jota aiomme kuunnella ja jonka taajuusvasteen mittaamme.

## **5.6 Laitteistomuutokset**

Kokeilimme Passatissa myös erilaista kaiutinkokoonpanoa. Uutta kaiutinjärjestelmää valittaessa pyrimme valitsemaan ensimmäisistä kaiuttimista mahdollisimman paljon eroavat, mutta ei kuitenkaan äärimmäisen kalliit elementit.

Yläpään toistosta toisessa järjestelmässämme vastaa Ground Zeron GZPM60SQ – laajakaistaelementit. Elementit kuuluvat valmistajan Plutonium-mallisarjaan, ovat halkaisijaltaan 2,36 tuumaa ja niiden suunnittelussa on panostettu mahdollisimman hyvään äänenlaatuun. Elementit ovat rakenteeltaan perinteiset dynaamiset elementit,



joissa on normaali kartio ja pölykuppi. Elementtien runko on lujaa muovia, kartio on valmistettu alumiinista ja elementissä on neodymimagneetti. Elementin toistoalueeksi ilmoitetaan 300- 20000 hertsiä. Elementeillä varustetuilla järjestelmillä on vuonna 2010 voitettu kaksi Suomen mestaruutta, mikä lisäsi kiinnostustamme elementtejä kohtaan. Koska kyseiset elementit toistavat todella laajan taajuusalueen ja nimenomaan sen taajuusalueen, jonka tulosuunnan ihmiskorva helpoiten tunnistaa. Ovat kyseiset elementit autokäyttöön juuri optimaaliset, jos luvattu taajuusalue toistuu luonnollisesti./15./

Keskiaäni- ja midbassotaajudet toisessa järjestelmässämme hoitaa Rainbow Germanium Line W130 Germanium 5,25-tuumaiset elementit. Halusimme kokeilla, vaimeneko bassontoisto autossamme siirtyessämme pienempiin elementteihin. Pienempien elementtien soveltuvuutta autoomme puoltaa myös se, että korotusrenkas on 6,5 tuuman elementin upotusreiän kokoinen, joten 5,25-tuumainen elementti mahtuu hengittämään asennuspaikassa vapaammin. Elementit ovat valmistettu käsityönä, niiden kartio on valmistettu alumiinista ja runko on seosmetallivalua. Elementissä on myös joitakin yllättäviä ominaisuuksia, kuten hopeoidut sisäiset johtimet, palladiumpinnoitetut ruuviterminaalit ja impedanssia tasaava kuparinen magneettinen oikosulkurengas. Kyseisillä elementeillä on pärjätty hyvin myös äänenlaatukisoissa./16./

Toisen järjestelmämme subwooferiksi valitsimme Ground Zeron GZHW20X -elementin. Elementti kuuluu valmistajan Hydrogen-mallisarjaan, eikä ole valmistettu suoraan äänenlaatukilpailukäyttöön, ja näyttääkin enemmän paine-subwooferilta. Halusimme mahdollisimman pienen elementin, joka tarvitsee toimiakseen pienen kotelon, koska tarkoituksenamme on kokeilla subwooferin toimintaa auton etuosassa. Elementillä on kokoa kahdeksan tuumaa, ja valmistajan suosittelu suljetun kotelon tilavuus on neljästä kymmeneen litraan. Elementin kartio ja runko on alumiinia. Puhekeloja on kaksi, ne ovat kooltaan kaksi tuumaa, ja impedanssiltaan kaksi ohmia. Subwooferin ilmoitettu tehonkesto on 400 wattia jatkuvaa tehoa. Vaikka elementti ei vaikutaakaan perinteiseltä äänenlaatukäyttöön valmistetulta subwooferilta, sitä on käytetty Emma Finlandin äänenlaatukilpailuissa menestyksekkäästi./17./

Koska toisen kaiutinkokoonpanon elementit ovat erilaisia ja erikokoisia, jouduimme tekemään asennuspaikkoihin muutoksia. Koska laajakaistaelementit ovat fyysiseltä kooltaan suuremmat ja tarvitsevat oikein toimiakseen 4-10 desilitran suljetun kotelon,

ne olivat mahdottomat asentaa diskanttien asennusjalkoihin. Jos olisimme teettäneet uudet asennusjalat alumiinista, niistä olisi tullut todella suuret, joten näin emme voineet menetellä. Teimme laajakaistaelementeille ensin neljän desilitran tilavuiset testikotelot, joilla kokeilimme, millaisella suuntauksella elementit toimivat. Haluttuun lopputulokseen pääsimme suuntaamalla elementit auton etupenkkien selkänojien väliin siten, että suuntauskulma oli auton kummallakin puolella sama. Seuraavaksi leikkasimme kymmenen millimetrin paksuisesta MDF-levystä renkaat, joihin elementit asennetaan, ja kiinnitimme ne auton a-pilareihin kuumaliimalla. Suuntauksen haimme samaksi, kuin testikoteloilla, mutta asennuskorkeutta nostimme tavallista ylemmäs, että äänenkuva muodostuisi mahdollisimman ylös. Seuraavaksi irroitimme a-pilarit ja pingotimme ohuen kankaan avulla a-pilareihin halutun muodon. Kun a-pilarin muoto näytti halutulta, ja kangas oli saatu kireäksi, laminoimme kankaan päälle kaksi kerrosta lasikuitua. Lasikuidun kuivettua teimme a-pilareille karkean hionnan ja päällystimmme pilarit mustalla verhoiluhuovalla. Lopputuloksena saimme a-pilarit, joihin on muodostunut hieman yli kolmen desilitran suljettu kotelo ja haluttu suuntaus (kuva 20).



**KUVA 20. Laajakaistaelementtien asennus**

Keskiääni/midbassoelementit asensimme omavalmisteisten adapterien avulla samoille paikoille kuin edellisessä kaiutinkokoonpanossa. Kaiutin adapterit koostuvat kahdesta

kymmenen millimetriä paksusta MDF-renkaasta ja lasikuidusta. Adapterit tarvitsimme, koska kaiutinpaikat ovat rakennettu 6,5 tuuman elementeille, ja käyttämämme elementit ovat kokoa 5,25 tuumaa. Leikkasimme MDF-levystä 6,5 tuuman elementille ja 5,25 tuuman elementille sopivat asennusrenkaat, ja kiinnitimme ne toisiinsa nähden n.30 asteen kulmaan kuumaliimalla. Asennusrenkaiden väliin jääneen raon peitimme pahvilla, jonka päälle laminoimme kolme kerrosta lasikuitua. Näin saimme 30 asteen suuntauksella varustetut adapterit, joilla saamme 5,25 tuuman elementit asennettua 6,5 tuuman elementeille tarkoitettuihin putkiin (kuva 21).



**KUVA 21. Keskiääni/midbassoelementtien asennus**

Koska ensimmäisen ja toisen kaiutinkokoonpanon subwooferit eroavat toisistaan kooltaan ja kotelovaatimuksiltaan, teimme GZHW20X:lle uuden kotelon (kuva 22). Valmistajan ilmoittamat kotelosuositukset tuntuivat mielestämme melko uskomattomilta, ja konsultoituamme Eastaudion henkilökuntaa päädyimme valmistamaan 15 litran suljetun kotelon 4-10 litran sijaan. Kotelon valmistimme 26 millimetriä paksusta koi-vuvanerista ja viimeistelimme kotelon sisäseinämät noin kahdella kilolla hiekkahartsia.



**KUVA 22. Subwoofer koteloituna**

Uuteen kaiutinjärjestelmään siirryttyämme emme joutuneet tekemään kovinkaan paljon säätömuutoksia. Vahvistimen linjatasot jätimme entisiin säätöihinsä, koska vahvistimen kanavakohtaisella vaimennuksella saimme taajuusbalanssin kohdalleen. Viivesäätöihin teimme pieniä hienosäätöjä, ja saimme viiveet kohdalleen hyvin helposti, koska edellisen laitteiston jäljiltä säätöpohja oli jo valmiina. Jakosuotimet jouduimme kuitenkin säätämään uudelleen uusien elementtien erilaisuuden vuoksi. Laajakaistoille asetimme ylipäästön 500 hertsin kohdalle ja midbassoille asetimme kaistanpäästösuodatuksen 63 hertsin ja 315 hertsin välille. Subwoofer toistaa taajuudet 40 hertsistä alaspäin. Jakojyrkkyytenä käytimme 12 desibeliä per oktaavia.

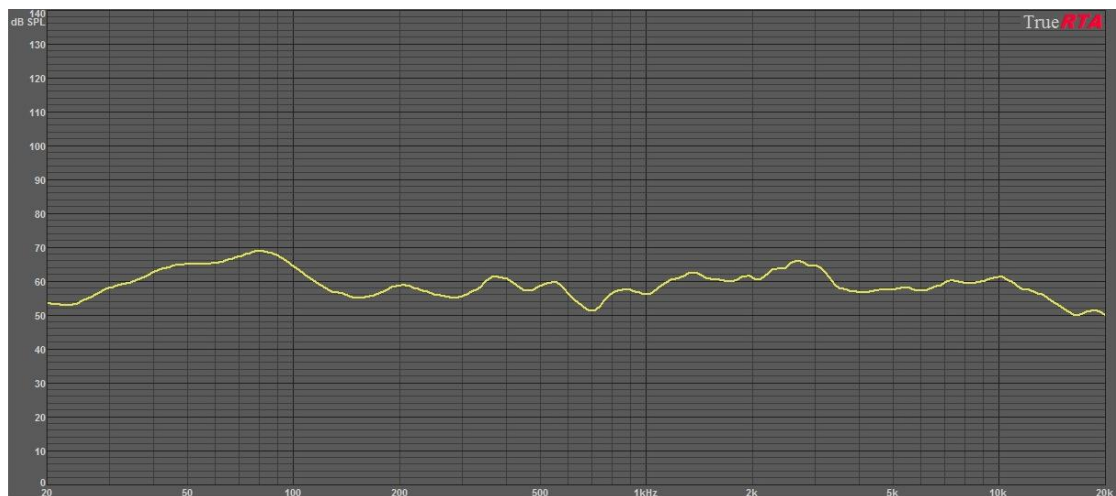
## 6 MITTAUSTULOKSET

Kuuntelukokeen aluksi säädimme laitteiston siten, että mykistimme takakaiuttimet ja otimme kaikki ohjelmalähteen mahdollistamat korostukset pois käytöstä. Kuitenkin

tarpeen vaatiessa kokeilimme säätää järjestelmän mahdollisimman luonnollisesti soivaksi.

## 6.1 Suzuki Swift

Diskantti vaimenee voimakkaasti 10 kilohertsin jälkeen. Keskialueella on hieman epätasaisuutta. Midbasso taajuuksilla on korostuma 90 hertsin kohdalla, ja alimmat bassotaajuudet vaimenevat jyrkästi (kuva 23).



**KUVA 23. Suzuki Swiftin taajuusvaste**

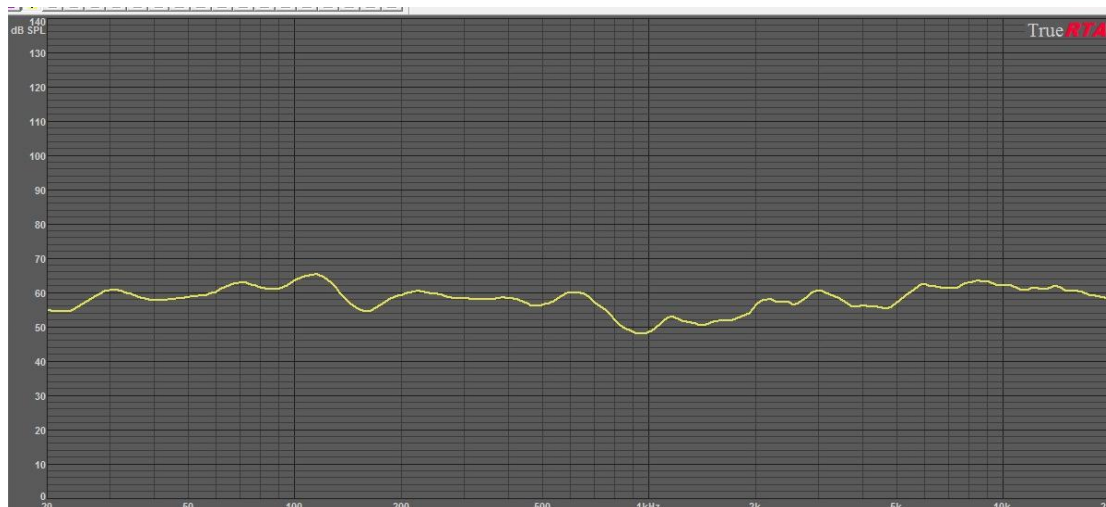
Suzukin järjestelmän kuuntelu vahvisti ennakko oletuksemme. Järjestelmä toimii radiosta uutisia kuunnellessa hyvin, mutta musiikki ei kuulosta ollenkaan hyvältä. Olemme tottuneet hyvään äänetoistojärjestelmään sekä kotona että autossa. Oli yllättävä huomata, kuinka vääristyneeltä tutut musiikkikappaleet kuulostivat tällä laitteistolla. Ensivaikutelma oli suttuinen, jota yritimme korjata nostamalla hieman diskanttien tasoa. Tämä sai aikaan kaikuefektin, joten laskimme tason ennalleen. Keskialueen toistosta kertoo erään tutun musiikkikappaleen akustisen kitaran tunnistamattomuus. Jos kitaraa ei olisi ennalta tiennyt, emme olisi sitä tunnistaneet. Midbasso-alueella huomasimme jonkun taajuuden selvästi korostuvan. Muilta alueilta midbassotoisto oli vaimea ja alemmat bassotaajuudet loistivat poissaolollaan.

## 6.2 Mitsubishi ASX

ASX:n järjestelmästä mittasimme uusien testiautojemme tasaisimman taajuusvasteen (kuva 24). Diskantin toisto ulottuu vaimentumatta 20 kilohertsiin. Keskialueella on



hieman epätasaisuutta, ei kuitenkaan merkittävästi. Alimmat taajuudet toistuvat 30 hertsiin asti ilman suurempia poikkeamia.

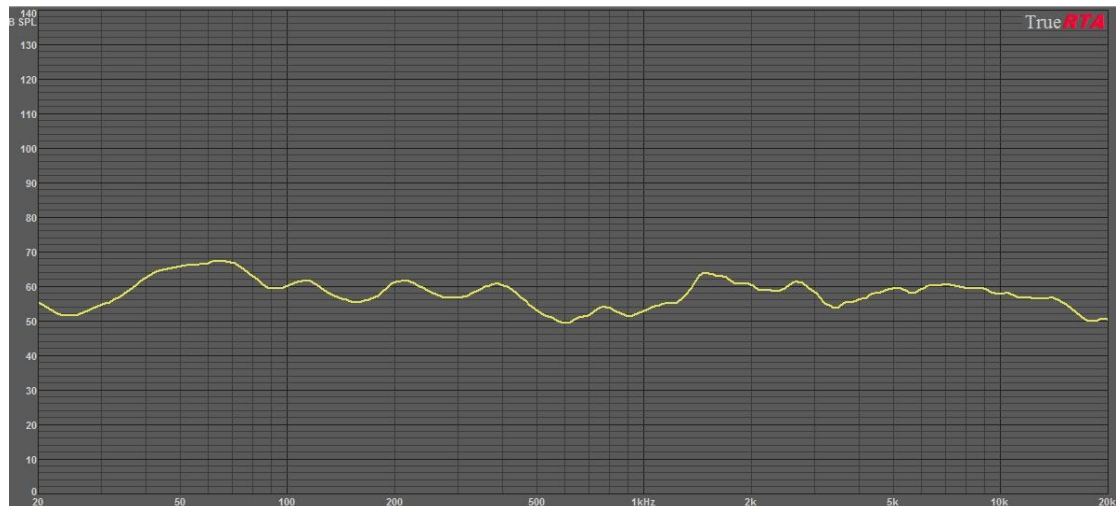


**KUVA 24. Mitsubishi ASX:n taajuusvaste**

Ennako-oletukset vahvistuivat oikeaksi myös ASX:n kuuntelun aikana. Rockford Fosgaten järjestelmä on hyvä, mutta ei täydellinen. Diskantit kihisivät ja kuulostivat rasittavalta, mutta ohjelmalähteen diskantti-tasoa laskemalla ääni muuttui hieman tukkoiseksi. Diskantin kihinä ja rasittavuus voi johtua osaltaan siitä, että kyseessä on uusi auto, eikä elementtejä ole ajettu sisään. Keskialue oli mukavan kuuloinen, eikä siitä keksitty pahaa sanaa. Midbasso-taajuudet taas tuntuivat toistuvan pääosin takaa, ja kuulosti siltä, että ovesa olevia elementtejä käytetään vain keskiäänitaajuuksien toistoon. Subwooferin jakotaajuus oli selvästi liian korkealla, mistä johtuen subwoofer paikallistui taakse melko selvästi. Subwoofer toimi muuten mallikkaasti, tosin aivan matalimmat taajuudet vaimenivat selvästi. Järjestelmällä oli mukava kuunnella musiikkia pienistä puutteista huolimatta. Suurin osa ihmisistä olisi varmasti tyytyväinen tähän järjestelmään.

### 6.3 Mitsubishi Lancer

Mitsubishi Lancerin taajuusvaste (kuva 25) oli yllättävän tasainen. Diskanttialueen korkeimmat taajuudet vaimenevat voimakkaasti. Keskialue näyttää hyvältä pientä vaimentumaa 500 Hz ja 1000 Hz välissä. Midbasson toisto näyttää hyvältä, 60 Hz kohdalla on pieni korostuma ja toisto ylettyy yllättävän alas.



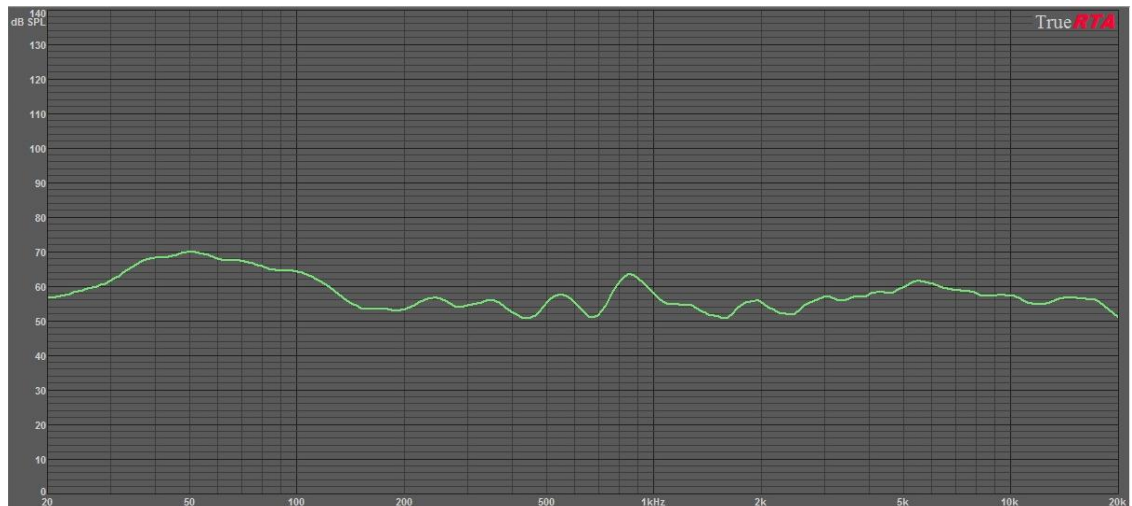
**KUVA 25. Mitsubishi Lancerin taajuusvaste**

Mitsubishin perusäänentoistojärjestelmä suoriutui kuuntelukokeestamme kohtalaisin arvosanoin. Laitteisto on tasoa normaali, niin hyvässä kuin pahassa. Diskantti oli hie-man suttuinen, ja sen jako tuntui olevan todella ylhäällä. Keskiäänestä meillä oli vai-keuksia keksiä mitään sanottavaa. Midbassotoisto toimi hyvin neutraalisti, voiman tuntua ei juuri ollut, mutta ei myöskään korvalla kuultavia korostumia tai vaimentumia. Alimmat bassotaajuudet vaimenivat luonnollisesti subwooferin puuttuessa. Vaik-ka Lancerin järjestelmä ei ole kovin erotteleva eikä syviä tuntemuksia herättävä, sitä on helppo kuunnella.

#### **6.4 Skoda Octavia**

Skoda Octavian taajuusvaste (kuva 26) näyttää tasaiselta. Diskantin toisto ylettyy yl-lättävän korkealle vaimentumatta. Mittaus osoittaa myös alas lasketun diskantin jako-taajuuden, joka selvisi myös kuuntelukokeessa. Mittauksen perusteella voidaan epäil-lä, että jakotaajuus on laskettu 1 kHz tuntumaan.



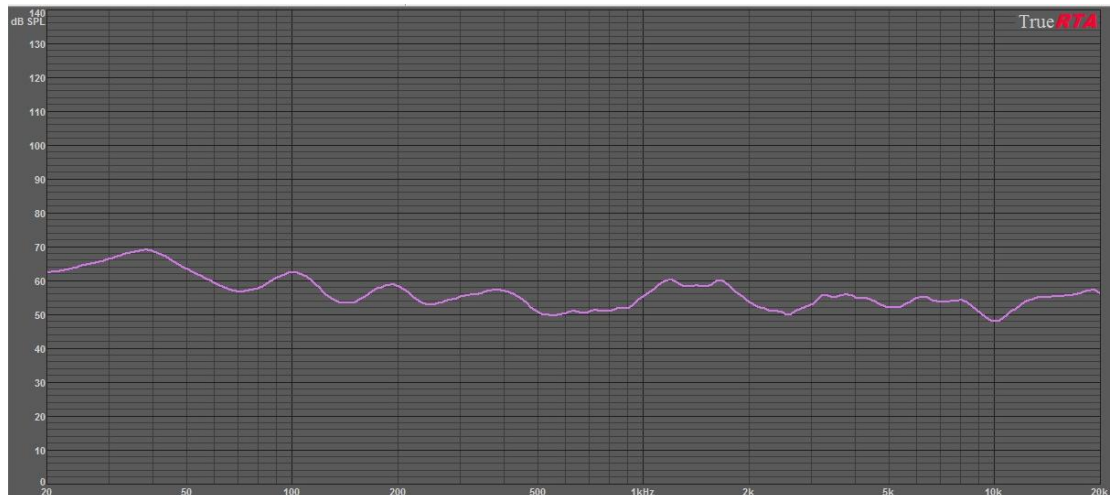


**KUVA 26. Skoda Octavian taajuusvaste**

Kuuntelun alussa huomasimme stereokuvan olevan vääristynyt, laulaja tuntuisi laulavan suurin piirtein sivupeilin ulkoreunan kohdalla. Eri taajuuksilla stereokuvan keskipiste vaelsi selvästi johtuen keskiäänien sijoituksesta. Ilmiö ei ollut aivan niin selvä kuin odotimme sen olevan, ja se johtuu oletettavasti siitä, että diskanttien jakotaajuus oli laskettu hyvin alas. Diskanttialueella ääni säröytyi, jonka päättelimme johtuvan kyseisille elementeille liian alhaisesta jakotaajuudesta. Jos diskantti ei säröytyisi, voisi yläpään toisto olla suhteellisen hyvä. Keskiäänitaajuudet ovat melko vaimeat ja tuntuvat kuuluvan aivan väärästä paikasta, mutta äänenlaatu on kelvollinen. Midbasso/bassotaajuuksien toistuminen yllätti meidät positiivisesti. Toisto oli suhteellisen tarkkaa, siinä oli yllättävän paljon voimaa ja se ulottui vaimentumatta yllättävän alas.

## 6.5 Passat laitteisto 1

Diskantit toistavat hienosti ja suhteellisen tasaisesti ylös asti lukuunottamatta kymmenen kilohertsin kohdalla olevaa vaimentumaa. Taajuusvastekuvaajassa (kuva 27) on epätasaisuutta koko taajuusalueella, ja jakotaajuuksia on vaikea päätellä pelkän kuvaajan perusteella. Suurimmat korostumat olivat 40 hertsin ja yhden kilohertsin kohdalla.

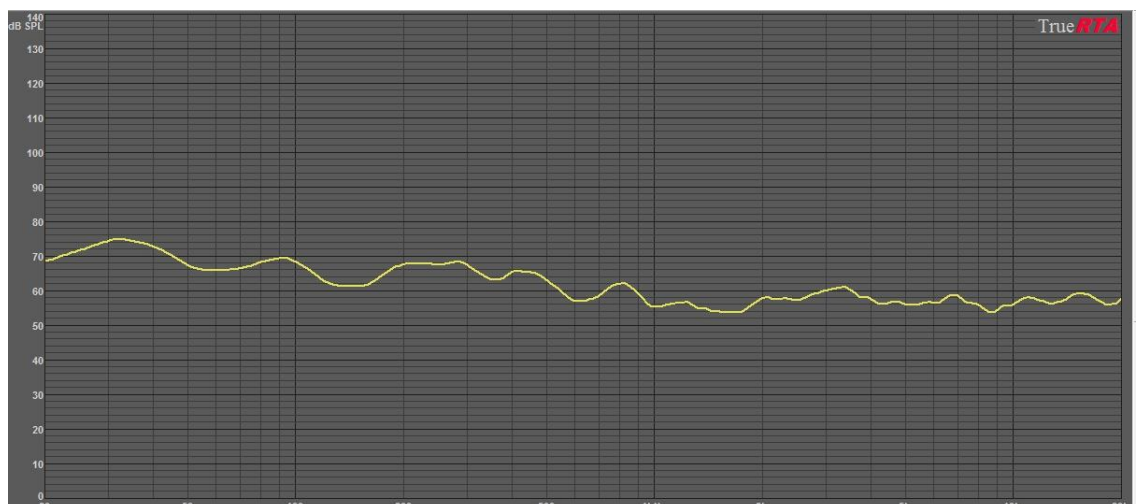


**KUVA 27. Passatin ensimmäisen laitteiston taajuusvaste**

Laitteisto kuulostaa melko hyvältä. Diskantit toimivat varsin mallikkaasti, eivät sihise, eivätkä myöskään ole rasittavat. Ääni kuulostaa yllättävän luonnolliselta, mutta joissakin kappaleissa subbassotaajuudet paikallistuvat selvästi taakse. Paikallistuminen tapahtuu lähinnä nopeissa iskuissa tai nopeissa taajuusvaihteluissa, mikä voi johtua väärän kokoisesta subwooferkotelosta. Laitteistolla ei ole kovin miellyttävää kuunnella raskaampaa musiikkia, mikä taas kieli keskialueen ongelmista. Laitteisto toistaa erittäin alas asti, ja midbasso on tuntuva, mutta ei kovin sävykäs.

## 6.6 Passat laitteisto 2

Korkeat taajuudet toistuvat tasaisesti ja toisto ylettyy 20 kilohertsiin. Suurimmat epätasaisuudet löytyvät mid- ja sub-bassoalueelta. Taajuusvastekuvaaja (kuva 28) on tasainen, etenkin ihmisen herkimmällä kuuloalueella.



## KUVA 28. Passatin toisen laitteiston taajuusvaste

Lähes kaikki ääni kuuluu kojelaudan päältä. Diskanttitoisto ei ole kovin heleä, eikä kirkas, mutta toimii, eikä laitteisto kuulosta suttuiselta. Keskialue kuulostaa luonnolliselta, eikä ollenkaan rasittavalta. Midbassotoisto on tarkka ja sävykäs, mutta jotenkin eloton. Vaikka kaikki taajuudet tuntuvat toistuvan, voimaa voisi olla enemmän. Subwoofer on myös hyvin erittelevä ja sävykäs. Matalat bassotaajuudet tulevat voimalla ja myös tuntuvat. Subwoofertoisto tuntuu ulottuvan myös riittävän alas.

## 7 TULOSTEN ANALYSOINTI

Suzukin Swiftin taajuusvastemittaus osoitti sen, mikä oli korvillakin kuultavissa: laitteisto ei ollut kovin laadukas. Diskantin toisto lähtee 10 000 hertsin kohdalta kohtuullisen jyrkkään laskuun. Juurikin taajuusalueiden ääripään toiston laskeminen kieli elementtien tai ohjelmälähteen heikkoudesta, tässä tapauksessa on syytä epäillä molempia. Keskialueen toisto näyttää mittauksen mukaan hyvältä. Midbasson toistossa on selvä korostuma 90 hertsin kohdalla, minkä huomasi häiritsevänsä myös kuunnellessa. Koska musiikki vääristyi paljon, on aihetta epäillä, että ohjelmälähde vääristää sitä. Olisi mielenkiintoista kuunnella samoja kaiuttimia eri ohjelmälähteellä.

Mitsubishi ASX:n Rockford Fosgaten järjestelmän taajuusvastekuvaaja on selkeästi tasaisin. Diskantit toistivat korkealle vaimentumatta. Diskantit olivat suunnattuina kuuntelijaa kohden, jonka voimme olettaa parantavan korkeiden taajuuksien toistoa. Keskialueella mittauksissa ilmeni pientä vaimenemista yhden kilohertsin kohdalla, joka ei kuuntelukokeen perusteella ollut merkityksellistä. Midbassojen jakotaajuus oli nostettu yllättävän ylös noin 100 hertsin paikkeille, mistä johtuen subwoofer paikallistui selvästi taakse. Subwoofer itsessään toimi kohtuullisen hyvin. Toisto oli hieman monotonista ja toisto ei ulottunut aivan alimpiin taajuuksiin asti, mutta suurempia korostumia tai vaimentumia emme havainneet.

Mitsubishi Lancerin laitteiston toisiinsa suunnatut diskantit näkyvät selvästi taajuusvastekuvaajassa 15 kilohertsin kohdalta alkavana vaimentumana. Muuten taajuusvaste on melko tasainen. Käyrän muodon perusteella päättelimme diskanttien jakotaajuuden sijaitsevan noin 3,5 kilohertsin kohdalla. Keskitaaajuuksien vaimentuma 500- 100 hertsin välillä voi johtua suuntaamattomista elementeistä ja sen aiheuttamista seisovista

aalloista. Midbassotaajuudet ovat hieman korostuneita. Tämä on kuitenkin positiivista, koska ajossa matalat taajuudet vaimenevat huomattavasti ajomelun takia.

Octavian taajuusvastekäyrä on suhteellisen tasainen. Koska diskantit ovat hieman kuuntelijaa kohti suunnattuna ovien etureunoissa, diskanttien ylimpien taajuuksien toisto ei vaimene niin paljon kuin suuntaamattomissa järjestelmissä. Taajuusvastekäyrässä on yhden kilohertsin ympäristössä reilumpaa epätasaisuutta. Kuvaajan epätasaisuuden ja kuuntelukokeen perusteella oletamme, että diskanttien jakotaajuus on kilohertsin tuntumassa. Näin on todennäköisesti menetelty siitä syystä, että keskiäänimibbassojen sijoitus on oven takareunoissa, joista tuotettuna ylemmät keskiäänitaajuudet vaimenisivat erittäin runsaasti. Diskanttien matala jako on tässä tapauksessa tuonut ylimmille keskiäänitaajuuksille epämiellyttävää säröä, joka kuului selvästi kuuntelukokeessa. Kuuntelukokeessa havaittu midbassotaajuuksien voimakas toisto näkyy selvästi myös taajuusvastekuvaajassa korostumana 50 hertsin tuntumassa. Alimmat taajuudet vaimentuvat luonnollisesti subwooferin puuttuessa järjestelmästä. Herää kysymys, miksi etukaiuttimien keskiääni/midbassot on sijoitettu ovien takareunoihin. Tähän emme keksineet yhtään järkevää syytä. Jos Octaviassa olisi kaiuttimet ovien etualareunoissa, keskialueen ongelmat ratkeaisivat ja diskanttien jakotaajuutta voisi nostaa. Näin saataisiin luonnollisempi ja särötön toisto. Auto voisi tuolloin olla kuuntelutestimme parhaimmista.

Passatin ensimmäisen laitteiston taajuusvaste oli todella epätasainen laitteiston laatuun nähden. Hyvää taajuusvasteessa oli diskanttien vaimentumaton korkeiden äänien toisto. Keskiäänialueella oli 1500 hertsin kohdalla korostuma, jota saimme pienennettyä hieman taajuuskorjaimen avulla. Midbasso/keskiääninen toiminta oli ongelmallista koko laitteiston ajan. Ongelmien syynä saattoi olla elementtien suuntaamattomuus tai asennuspaikan ahdas putkimainen rakenne. Kokeilimme raottaa etuovea, jolloin keskiäänimidbassot eivät olisi suoraan toisiaan vasten, jolloin midbasso-taajuudet muuttuivat huomattavasti sävykkäämmäksi. Ilmiö kielii siitä, että joillakin taajuuksilla keskiäänimidbassot kumoavat ja korostavat toistensa tuottamia äänialtoja, vaimentaen ja korostaen eri taajuuksia. Ratkaisuna on tähän keskiäänimibbassojen suuntaaminen, jonka aiomme myöhemmin toteuttaa. Subwooferin toisto alkoi vaimentua noin 40 hertsin kohdalta, mutta ei kovin jyrkästi. Matalat taajuudet toistuivat mielestämme kuitenkin riittäväällä voimakkuudella.

Passatin toisen laitteiston taajuusvastekuvaaja on muodoltaan melko tasainen. Laajakaistojen toistama alue, eli 500 hertsistä 20 000 hertsiin, on erittäin tasainen. Tästä voimme päätellä, että laajakaistat toimivat nykyisillä asennuspaikoillaan hyvin ja suuntaus on onnistunut. Suurimpia epätasaisuuksia kuvaajassa ovat taajuuksilla 60 hertsiä ja 150 hertsiä olevat vaimentumat. Vaimentuman 60 hertsin kohdalla aiheuttaa oletettavasti midbassoa toistavien elementtien pieni koko. Midbassoalueen parantamiseksi voisi yhtenä vaihtoehtona olla oven lisävaimentaminen kauttaaltaan huokoisella materiaalilla. Lisäksi elementtejä voisi suunnata enemmän, mutta tuolloin käytettävyyks kärsisi. Subwooferin toisto alkaa vaimentua 30 hertsin kohdalla. Subwoofer toimi mielestämme tarkasti ja sävykkäästi, eikä alimpien vaimentuminen häirinnyt.

Uusien autojen järjestelmien tutkiminen osoitti, että diskanttien suuntauksella saadaan parempi korkeiden äänien toisto. Kuuntelemamme autot, joiden diskantit olivat suunnattuina, kuulostivat selkeästi paremmilta ja taajuusvaste ei laskenut yhtä jyrkästi korkeilla taajuuksilla. Paras uusien autojen ylärekisteri löytyi Mitsubishin ASX:stä. Taajuusvaste menee vaimenematta 20000 hertsiin, joka ilmeni myös kuuntelussa. Selkeästi huonoin kuuntelemistamme järjestelmistä oli Suzukin järjestelmä. Tämän huomaa taajuusvasteesta sekä kuuntelukokeen tuloksista. Huomasimme, että hyvästä kaiutinsijoittelusta huolimatta huonolaatuinen järjestelmä kuulostaa huonolta. Sama pätee myös toisin päin. Octavian järjestelmän kohdalla hyvälaatuinen järjestelmä kuulosti stereokuvaltaan vääristyneeltä, koska kaiutinsijoittelu oli epäonnistunut. Octavian järjestelmä oli silti parempi kuin Swiftin lähes kaikilla osa-alueilla. Ainut asia, missä Suzukin järjestelmä oli parempi, oli stereokuva. Mitsubishi Lancerin järjestelmässä oli kaiutinsijoittelu kohdallaan, ja laitteiston laatu lähes samaa luokkaa kuin Octavian järjestelmässä. Kuuntelukokeen ja mittaustulosten perusteella Lancerin laitteisto päihitti Octavian ja Swiftin järjestelmät selvästi.

Passatin viimeiseksi rakennettu laitteisto soi paremmin kuin ensimmäinen. Taajuusvastekuvaajasta näkee, että toisen laitteiston taajuusvaste on huomattavasti tasaisempi kuin ensimmäisen laitteiston. Molempien laitteistojen kuvaajissa on samankaltaisuutta alempien taajuuksien toistossa. Käyrän samankaltaisuudesta voi päätellä, miten auton rakenne ja asennuspaikat vaikuttavat taajuusvasteeseen. Äänen kuuluminen ylempää johtuu siitä, että ylätaajuudet toistavat elementit sijaitsevat ylempänä ja toistavat huomattavasti alemmas. Laitteistomuutokset poistivat keskiäänialueen ongelmat todella tehokkaasti, koska keskiäänitaajuuksia toistavat elementit ovat nyt ylhäällä suunnattu-

na. Ovien etualareunoissa sijaitsevien kaiuttimien tarvitsee toisessa järjestelmässä toistaa vain midbassotaajuuksia. Midbassotaajuudet tarkentuivat reilusti, mutta menettivät ehkä hiukan voimaa, kaikki taajuudet tuntuvat tulevan nyt kuitenkin tasapainoisesti. Tarkentuminen johtuu oletettavasti elementtien hieman pienemmästä koosta, suuntauksesta ja toisen laitteiston subwooferin tarkemmasta toiminnasta. Voimaa midbassoista verottaa oletettavasti elementtien koon pienentäminen. On myös mahdollista, että ensimmäisessä laitteistossa ilmentynyt joidenkin midbassotaajuuksien korostuma toi voimantuntua toistoon, ja suuntauksella saatu tasaisempi taajuusvaste vähentää voimantuntua. Toinen laitteisto ei kuitenkaan toiminut kaikilta osin paremmin kuin edellinen laitteisto. Ensimmäinen laitteiston diskanttitaajuuksien toisto oli elävämmän ja ilmavamman tuntuinen, kun taas toisella laitteistolla joissakin kappaleissa oli aistittavissa hieman tunkkaisuutta, eli vaimentumaa ylimmillä taajuuksilla. Edellinen laitteisto toisti myös aivan alimmat subwoofertaajuudet hieman suuremmalla voimalla.

## 8 POHDINTA

Alkuperäisiä äänentoistojärjestelmiä on monentasoisia. Asennuspaikkojen ja ulkoisen olemuksen perusteella ei voi yleensä päätellä, onko järjestelmä hyvä vai huono. Joissakin tapauksissa asennuspaikoista voi päätellä, että järjestelmä ei voi olla kovin hyvä. Useat nykyautojen äänentoistojärjestelmät ovat toteutettu samantyyppisillä kaiutinjärjestelmillä, erillissarja edessä ja takana erillissarja tai koaksiaalit. Taajuusvastekäyrien perusteella huomasimme, että kuuntelijaan päin suunnatuilla diskanteilla ylimmät taajuudet vaimenevat huomattavasti vähemmän. Alkuperäisissä järjestelmissä on diskanttien sijoitus yleensä onnistunut, mutta vain osassa järjestelmissä elementtejä on suunnattu. Diskanttien suuntaaminen kuljettajaa kohti onkin kustannustehokas ja helppo tapa parantaa äänentoistojärjestelmää jo tehtaalla.

Suuri kehittämisen kohde tutkimuksemme perusteella on elementtien asennuksen parantaminen. Ovien vaimennusta tulisi lisätä ja kaiutinelementit kiinnittää kunnolla oven runkoon, ovipahvin sijaan. Oikeastaan ainoat asiat, mitä autoesitteissä ja mainoksissa äänentoistojärjestelmien kohdalla mainostetaan, on kaiuttimien määrä ja erilaisten ulkoisten äänilähteiden kytkentämahdollisuudet. Äänilähteiden kytkentämahdollisuudet ovat hyvä asia, mutta ne eivät saisi vaikuttaa huonontavasti äänenlaatuun. Näin tapahtuu monesti silloin, kun ohjelmalähteen ominaisuuksia lisätään lisäämättä



siihen käytettävää määrärahaa, jolloin teknisestä laadusta on väistämättä tingittävä. Hyödyllinen liitäntä, mikä valitettavan monesta alkuperäisestä ohjelmälähteestä puuttuu, olisi RCA -liittimillä toteutettu signaalilähtö. Tämän avulla alkuperäiseen ohjelmälähteeseen saisi liitettyä helposti tarvittavia lisälaitteita.

Tutkimuksestamme kävi myös ilmi, että yksikään järjestelmä ei päässyt edes lähelle samaa tasoa kuin itse rakentamamme laitteistot. Mittaustulosten mukaan joidenkin uusien autojen taajuusvasteet olivat jopa tasaisempia kuin Passatin, mutta kuuntelu paljasti laitteistojen todellisen laadun. On kuitenkin ymmärrettävää, että alkuperäiset järjestelmät eivät päässeet jälkiasennetun järjestelmän tasolle. Alkuperäiset järjestelmät ovat rakennettu huomattavasti pienemmällä budjetilla kuin rakentamamme järjestelmät.

Opinnäytetyömme aihe osoittautui vielä vaikeammaksi, mitä olimme uskoneet. Akustiikkaa ja äänentoistoa käsitteleviä lähteitä on hyvin vähän ja auton äänentoistoon liittyvää kirjallisuutta vielä vähemmän. Lähdemateriaalin vähäisyys vaikeutti joidenkin asioitten selvittämistä ja käsittelyä, koska suuri osa autoäänentoistoon liittyvästä tiedosta on kokempohjaista, eikä painettua tekstiä. Joidenkin meidän mielestä mielenkiintoisten asioiden käsittely oli jätettävä pois kirjallisten lähteitten puuttumisen takia. Työmme onnistui mielestämme melko hyvin. Työn edetessä huomasimme, että paljon olisi voinut tehdä toisin. Tutkimusosiolle olisi pitänyt varata paljon enemmän aikaa. Koeauto-Passatin alkuperäistä äänentoistojärjestelmää olisi ollut mukava päästä tutkimaan. Kumpiakin midbasso/keskiääniä olisi pitänyt kokeilla suuntaamattomina ja suunnattuina, mahdollisesti jopa eri suuntauskulmilla. Uusien autojen kuuntelussa olisi ollut hyvä olla enemmän ajatut autot, että olisimme saaneet täysin varmaa tietoa laitteistojen lopullisesta soinnista. Kuunteluissa olisi voinut olla myös useampi kuuntelija. Tutkimuksemme aikana karttunut tieto autoäänentoistosta ja äänentoistosta yleensä on lisännyt kiinnostustamme aiheeseen entisestään. On täysin varmaa, että äänentoisto tulee tulevaisuudessakin olemaan harrastuksenamme.

**LÄHTEET**

/1/ Borenius, J. Jauhiainen, T. Lampio, E. Nuotio, J. & Pesonen, K. Akustiikan perusteet. Insinööritieto Oy. 1981.

/2/ Tuomela, P. Tee itse hifikaiuttimia. Helsinki: Sanomamagazines Finland. 2003.

/3/ Tuominen, J. & Hirvikunnas, T. Autohifikirja. Helsinki: Helsinki Media. 2000.

/4/ Paroc 2011. Yrityksen WWW-sivut.

[http://www.paroc.fi/channels/fi/acoustics/design+instructions/vaimennusratkaisun\\_valinta.asp](http://www.paroc.fi/channels/fi/acoustics/design+instructions/vaimennusratkaisun_valinta.asp). Päivitetty 20.3.2011. Luettu 20.3.2011.

/5/ Vahvistintietoa 2011. [http://www.autosound.fi/tietoa\\_vahvistimet.htm](http://www.autosound.fi/tietoa_vahvistimet.htm). Päivitetty 26.2.2011. Luettu 26.2.2011

/6/ Vahvistinluokat 2011.

<http://www.students.tut.fi/~jmikkola/hifiopas/vahvistin.html#vahvistinluokat>. Päivitetty 12.2.2005. Luettu 2.3.2011

/7/ Peltonen, H. Perkkiö, J. & Vierinen, K. Insinöörin amk fysiikka osa 2. Lahti: Lahden Teho-Opetus Oy. 1998.

/8/ Hautala, M. & Peltonen, H. Insinöörin amk fysiikka osa 1. Lahti: Lahden Teho-Opetus Oy. 2001.

/9/ Blomberg, E. & Lepoluoto, A. Audiokirja. verkkojulkaisu.

<http://ari.lepoluo.to/audiokirja/>. 2005.

/10/ Emma sääntökirja 2011. PDF-dokumentti.

[http://www.emmanet.fi/files/saantokirja\\_netti.pdf](http://www.emmanet.fi/files/saantokirja_netti.pdf). Luettu 15.3.2011

/11/ Audiotec-Fischer 2011. Vahvistimen tekniset tiedot. PDF-dokumentti.

<http://www.products2006.audiotec-fischer.com/englisch/pdf/h500.pdf>. Luettu 20.4.2011.

/12/ DLS 2011. Nobelium 1 tekniset tiedot. PDF-dokumentti.

[http://www.dls.se/econtent/files/597/man\\_ultimate\\_tweeters-09\\_eng.pdf](http://www.dls.se/econtent/files/597/man_ultimate_tweeters-09_eng.pdf). Luettu 12.3.2011.

/13/ DLS 2011. RW10 subwoofer tekniset tiedot. PDF-dokumentti.

[http://www.dls.se/econtent/files/151/man\\_rw10\\_12\\_subs\\_eng.pdf](http://www.dls.se/econtent/files/151/man_rw10_12_subs_eng.pdf). Luettu 12.3.2011.

/14/ Jenving 2011. Yrityksen WWW-sivut. <http://www.jenving.se/?p=classic>. Päivitetty 22.3.2011. Luettu 22.3.2011.

/15/ Ground-Zero 2011. Laajakaistaelementtien tekniset tiedot. PDF-dokumentti.

[http://www.ground-zero-audio.com/13\\_download/manuals/manual\\_gzpm60sq.pdf](http://www.ground-zero-audio.com/13_download/manuals/manual_gzpm60sq.pdf). Luettu 21.4.2011.

/16/ Rainbow 2011. Midbasso/keskiääni elementtien tekniset tiedot. Yrityksen

WWW-sivut. <http://195.243.203.21/rainbow/technical.aspx?pa=124&lan=ENG>. Päivitetty 30.3.2011. Luettu 30.3.2011.

/17/ Ground-Zero 2011. Subwooferelementin tekniset tiedot. PDF-dokumentti.

[http://www.ground-zero-audio.com/13\\_download/manuals/manual\\_gzhw.pdf](http://www.ground-zero-audio.com/13_download/manuals/manual_gzhw.pdf). Luettu 21.4.2011.

## Taajuuden suhde aallonpituuteen

## Taajuuden suhde aallonpituuteen

Taajuus [Hz]	Aallonpituus [m]
20	17
30	11,5
40	8,6
50	6,9
60	5,7
70	4,9
80	4,3
90	3,8
100	3,4
200	1,7
300	1,1
400	0,86
500	0,69
600	0,57
700	0,49
800	0,43
900	0,38
1000	0,34
2000	0,17
3000	0,11
4000	0,086
5000	0,069
6000	0,057
7000	0,049
8000	0,043
9000	0,038
10000	0,034
15000	0,023
20000	0,017

## Kaapeleiden mitoitus

**Kaapelin paksuus neliömillimetreinä suhteessa  
pituuteen ja virtaan/3./**

Kaapelin pituus (m) Virta (A)	1	2	3	4	5	6
20	2,5	4,0	4,0	8,0	8,0	16,0
35	4,0	8,0	8,0	16,0	16,0	16,0
50	8,0	16,0	16,0	16,0	16,0	25,0
65	16,0	16,0	16,0	25,0	25,0	25,0
85	16,0	16,0	25,0	25,0	35,0	35,0
105	16,0	16,0	25,0	35,0	35,0	35,0
125	25,0	25,0	25,0	35,0	35,0	50,0

**Kaiutinkaapelien mitoitus/3./**

Kaapelin poikki- pinta-ala	2 ohmia	4 ohmia	8 ohmia
1,0 mm <sup>2</sup>	3,5 m	7 m	14 m
1,5 mm <sup>2</sup>	5 m	10 m	21 m
2,5 mm <sup>2</sup>	8,5 m	17 m	35 m
4,0 mm <sup>2</sup>	14 m	28 m	56 m