

Niko Salminen

Johtimien ja akustoinnin merkitys henkilöauton äänentoistossa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Ajoneuvotekniikka

Insinöörityö

20.2.2022

Tiivistelmä

Tekijä:	Niko Salminen
Otsikko:	Johtimien ja akustoinnin merkitys henkilöauton äänentoistossa
Sivumäärä:	61 sivua + 7 liitettä
Aika:	20.2.2022
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Ajoneuvotekniikka
Ammatillinen pääaine:	Autosähkötekniikka
Ohjaajat:	Lehtori Pasi Kovanen

Tämän työn tavoitteena oli tutkia henkilöauton äänentoistoon vaikuttavia passiivisia tekijöitä, joita ovat kaiutinkiirien kaapelit ja auton akustointi. Kaiutinkaapelit sekä äänieristeinä käytettävät vaimennusmateriaalit ovat kiisteltyjä aiheita harrastajien keskuudessa, sillä niiden tieteellisesti todistettuja vaikutuksia ei ole aina saatavilla. Pelkästään kuuloon perustuva vaikutusten arviointi on arviointitapana virheellinen, sillä kuultu muutos, joka ei ole mitattavissa on mahdoton.

Työhön kuului teorian lisäksi neljä osuutta: vakiolaitteiston tutkiminen, vahvistintehon kasvattaminen muuten vakiokokoonpanossa, kaapeleiden ja vaimennusten vaihto säilyttäen erillinen vahvistin sekä vahvistintehon pienentäminen poistamalla erillinen vahvistin. Osuuksien aikana mittaukset suoritettiin sekä oskilloskoopilla, LCR-mittarilla, dB-mittarilla, pienvastusmittarilla sekä APM-taajuusvasteenmittalaitteella. Mittaustulosten avulla myös laskettiin kaiutinkiirissä vaikuttavia suureita, kuten reaktanssi ja impedanssi.

Työn aikana saatiin mitattua ja laskettua kaikki oleelliset ominaisuudet auton äänentoistosta. Kuuloon perustuvat vaikutukset saatiin mitattua dB-mittarilla sekä APM-mittalaitteella. Mittausten ja laskujen perusteella voidaan todeta, että kaiutinkaapeleilla sekä äänenvaimennusmateriaaleilla on sekä kuultava että mitattava vaikutus äänentoistoon.

Avainsanat: autohifi, akustiikka, kaiutinkaapelit

Abstract

Author: Niko Salminen
Title: Importance of Wires and Acoustics in Car Sound System
Number of Pages: 61 pages + 7 appendices
Date: 20 February 2022

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Automotive Engineering
Professional Major: Automotive Electronics Engineering
Supervisors: Pasi Kovanen, Senior Lecturer

This Bachelor's thesis examines the effects of wiring and acoustics in car sound system. The main goal was to find low cost improvements in sound quality. The focus was on speaker wires and damping materials, which are well known but less analysed actors as an improvement of a sound system. In order to prove the improvement, it must be possible to hear the changes and they have to be measurable, as the sense of hearing varies between individuals.

The thesis consists of four phases: measurements with original system, adding an external amplifier, changing the wires and installing sound absorbers with amplifier attached, and removing the external amplifier. The reason for the additional amplifier was to consider the effect of power increase. In every stages, the measurements were made the same way with the same instrument setups, so that the results were comparable. The effects were measured with LCR-meter, oscilloscope, dB-meter, low resistance meter and Audison APM -frequency response meter. The measurements of electric circuits also enabled calculation of some further variables, such as reactance and impedance.

In conclusion, all substantive quantities in car sound system were measured or calculated. As there must be a measurable actor in every hearing experience, the APM- and dB meters were used to simulate the hearing sense. Several improvements were found after the changes, which appeared in measured results as well.

Keywords: car audio, acoustics, speaker wires

Sisällys

Lyhenteet ja käsitteet

1	Johdanto	1
1.1	Tausta	1
1.2	Tavoite	1
1.3	Toteutus	1
2	Äänentoiston teoria	2
2.1	Äänentoiston perusteet	2
2.2	Äänilähde	3
2.2.1	Toistoformaatti	3
2.2.2	Toistotavan äänenlaatu	3
2.3	Vahvistin	4
2.4	Kaiuttimet	6
2.5	Kaapelit ja johtimet	8
2.5.1	Johdintyypit autossa	8
2.5.2	Johdinmateriaalit	9
2.5.3	Häiriöt ja suojaus	12
2.5.4	Pyörrevirta ja virranhahtoimiö	13
2.6	Akustiikka	15
3	Vakiolaitteisto	18
3.1	Äänilähde	18
3.1.1	Mitatut ja lasketut ominaisuudet	19
3.1.2	Lasketut tehot ja hyötysuhde	20
3.2	Kaiuttimet ja kaiutinkaapelit	21
3.2.1	Resistanssi	21
3.2.2	Jännitehäviö	22
3.2.3	Impedanssin ja reaktanssin tutkiminen	23
3.2.4	Impedanssin ja reaktanssin mittaaminen ja laskeminen	26
3.3	Kaiuttimien koteloinnit	27
3.4	Äänentoistoa arvioivat mittaukset	28
3.4.1	Akustiikka ja taajuusvaste	28

3.4.2	Äänenpainemittaus	30
4	Vahvistintehon lisääminen	31
4.1	Vahvistimen ominaisuudet	31
4.2	EMMAN virtakaapelisuositukset	31
4.3	Vahvistimen ominaisuuksien mittaus	32
4.3.1	Signaalin laatu	32
4.3.2	Teho	35
4.3.3	APM-mittaus	36
4.3.4	Äänenpaine	38
5	Välikaapeleiden vaihto ja ovien akustointi	38
5.1	Kaiutinkaapeleiden vaihto	39
5.2	Ovien akustointi	40
5.3	Äänentoistoa arvioivat mittaukset	42
5.3.1	APM-mittaus	42
5.3.2	Äänenpaine	44
5.3.3	Kaapeleiden mitatut sekä lasketut ominaisuudet	45
6	Vahvistintehon vähentäminen	48
6.1	Kaapeleiden ja akustoinnin merkitys pienellä teholla	49
6.2	Äänentoistoa arvioivat mittaukset	50
6.2.1	Taajuusvaste	51
6.2.2	Äänenpaine	52
7	Mittaustulosten vertailu	53
7.1.1	Kaiutinkaapelit ja niiden ominaisuudet	53
7.1.2	Vahvistimet ja niiden ominaisuudet	56
7.1.3	Kaiuttimien kotelointi ja akustiikka	56
7.1.4	Äänentoistoa arvioivat mittaukset	56
8	Yhteenveto	58
	Lähteet	60

Liitteet

Liite 1: Thiele & Small -parametrit

Liite 2: Pioneer AVH-X5800DAB:n käyttöopas

Liite 3: Volkswagen Golf Mk4:n kytkentäkaavio

Liite 4: Audison APM-mittausraportti 1

Liite 5: Audison APM-mittausraportti 2

Liite 6: Audison APM-mittausraportti 3

Liite 7: Audison APM-mittausraportti 4

Lyhenteet ja käsitteet

- A2DP: *Advanced Audio Distribution Profile*. Kehittynyt Bluetooth-äänensiirtoprofiili. Mahdollistaa kaksikanavaisen äänensiirron molempiin suuntiin ja myös langattoman ohjauksen.
- C: Kapasitanssi.
- CAN: *Controller Area Network*. Kommunikaatioväylä ajoneuvon ohjainlaitteiden väleillä.
- CCA: Kuparipinnoitettu alumiini.
- EMMA: *European Mobile Media Association*. Järjestö, jonka toiminta keskitetty autoäänentoiston kilpailu- ja harrastustoimintaan.
- FLAC: *Free Lossless Audio Codec*. Vapaa, häviötön äänitteen pakkausmuoto.
- L: Induktanssi.
- OFC: Happivapaa kupari.
- R: Resistanssi.
- RMS: *Root mean square*. Tehollinen keskiarvo.
- Skin effect: Virranahtoilmiö. Ilmiö, jossa varauksenkuljettajat pakkaantuvat johtimen ulkolaidalle sähkövirran aiheuttaman magneettikentän vuoksi.
- SPL: *Sound Pressure Level*. Äänenpainetaso.
- THD: *Total Harmonic Distortion*. Harmoninen kokonaissärö.

X_C : Kapasitiivinen reaktanssi.

X_L : Induktiivinen reaktanssi.

Z : Impedanssi

1 Johdanto

Tässä työssä tutkitaan henkilöauton äänentoiston äänenlaatuun vaikuttavia tekijöitä, kuten kaiutinkaapeleita ja äänieristeitä. Näiden vaikutusta verrataan yleisiin käsityksiin mittatulosten ja kuultujen erojen perusteella.

1.1 Tausta

Autoissa äänentoistojärjestelmä on ollut tärkeä osa matkustusmukavuutta jo usean vuosikymmenen ajan. Tehtaalta tullessaan autoissa on usein pienitehoisia vahvistimia, poikkipinta-alaltaan pieniä virta- ja kaiutinkaapeleita sekä kevyitä akustointiratkaisuja. Nykyajan autoissa parempi äänentoisto on lähes aina lisävaruste, jonka taso on vielä erikseen valittavissa. Lisävarustepaketeissa usein lisätään kaiuttimien lukumääriä, erillisiä vahvistimia tai säätömahdollisuuksia äänilähteeseen. Tässä työssä keskitytään tarkemmin järjestelmän muihin osa-alueisiin, joihin kuluttaja ei yleensä voi vaikuttaa autoa valitessaan.

1.2 Tavoite

Työn tavoitteena on löytää kuultavia ja mitattavia eroja äänentoistosta muokkaamalla johdin- ja vaimennuskomponentteja. Näitä osa-alueita on tarkoitus parantaa kustannustehokkaasti esimerkiksi kaapeleita vaihtamalla ja lisäämällä äänenvaimennusmateriaaleja. Parannusten on oltava mitattavissa sähköisinä arvoina tai toistovasteessa kuljettajan paikalta. Näiden mittausten avulla voidaan todeta vakiolaitteiden riittävyys ja jälkiasennettävien komponenttien tarpeellisuus. Parhaassa tapauksessa löydetään kaiutinkaapeleille ja akustointiratkaisulle kustannustehokas parannusratkaisu. Tutkimuksen avulla voidaan tarkentaa laitteisto- ja tarvikesuosituksia myyntityössä jälleenmyyjille ja kuluttajille.

1.3 Toteutus

Parannukset äänentoistossa mitattiin APM-vastemittarilla sekä äänenpainemittarilla. Taajuusvaste kuvaa laitteiston kykyä toistaa tiettyä taajuusaluetta.

Lisäksi kaiutinkaapeleista mitattiin tasavirtavastuksia, induktansseja, tehoja ja tehohäviöitä. Näiden lisäksi laitteiston säätäminen voitiin suorittaa oskilloskoopin avulla. Työ suoritettiin osittain yhteistyössä Autostudion kanssa, josta saatiin tarvittavat materiaalit. Työ ei kuitenkaan ole tilattu, vaan henkilökohtainen tutkimus aiheesta myyntityön edistämiseksi.

Tutkimuksessa käytettiin Volkswagen Golf 1.6 variant 2003 -henkilöautoa. Autossa on vakiokaiuttimiet, joiden toistoa voidaan pitää vuosimalliin nähden miellyttävänä. Äänilähteen ja johtimien vaikutusta vertaillaan sisäänrakennetun vahvistimen ja erillisen vahvistimen kanssa.

2 Äänentoiston teoria

Äänentoiston periaatteet ovat samat niin koti kuin autolaitteistossakin. Järjestelmän oleelliset komponentit ovat äänilähde, vahvistin, kaiuttimet ja komponenttien väliset kaapelit. Äänentoistoon vaikuttavat näiden lisäksi myös ulkoiset tekijät, kuten akustiikka ja häiriöt.

2.1 Äänentoiston perusteet

Nykyaikaisen äänentoistojärjestelmän periaatteena on muuntaa jokin tallennettu äänite ääneksi käyttämällä kaiutinta. Äänentoisto alkaa äänilähteestä, jossa suoritetaan tiedoston lukeminen ja useimmiten D/A-muunnos. Digitaal-analogi -muunnos voidaan tehdä joko äänilähteessä, tai vahvistimessa. D/A-muunnin on erillinen elektroninen komponenttinsa. Analogisignaali ohjataan vahvistimen pääteasteeseen, jonka tehtävä on vahvistaa signaali yhä edelleen kaiuttimelle. Kaiutin toistaa jännitevaihtelun taajuudet äänenä, jotka ovat kuultavissa yleisesti välillä 20 Hz – 20 kHz.

2.2 Äänilähde

Autoissa äänilähteenä toimii lähes aina radio- tai multimediakeskusyksikkö. Tämä toimii pääosin äänentoiston ohjainlaitteena, mutta CAN-, K- ja MOST-väylällisissä autoissa yksikkö voi ohjata myös muita toimintoja. Perinteisesti laitetta on kuvattu virallisesti radio -nimityksellä, mutta nykyään laitteella on yhä enemmän muitakin ominaisuuksia.

2.2.1 Toistoformaatti

FM-radion lisäksi yleisiä musiikintoistomuotoja ovat olleet C-kasetti, CD, USB ja SD, AUX ja Bluetooth. Näistä nykypäivänä Bluetoothin ja wifi-suoratoiston suosit ovat kasvaneet merkittävästi. Langattomien formaattien purkaminen multimedialaitteessa analogisignaaliksi on yksi monista äänenlaatuun vaikuttavista tekijöistä. Äänentoisto-harrastajien keskuudessa etenkin Bluetoothin käyttö tiedonsiirtomuotona on kiistelty aihe, sillä lähetystapa pakkaa tiedoston, jolloin äänenlaatu saattaa muuttua. Euroopan automultimediajärjestön, eli EMMA:n järjestämissä kilpailuissa suosiossa ovat olleet FLAC-tiedostot, joita soitetaan CD-levyltä tai USB-tikulta.

2.2.2 Toistotavan äänenlaatu

Toistotavan äänenlaatuun vaikuttavat resoluutio, näytteenottotaajuus sekä bittinopeus. Fyysisissä tallenteissa myös kasetin nauhan venyminen, lukupään häiriöt, levyn naarmuuntuminen ja muut viat vaikuttavat äänenlaatuun tai jopa tekevät toiston mahdottomaksi. FM:n eli taajuusmodulaation ongelmana ovat häiriöt lähetyksessä ja vastaanotossa. Signaalin vastaanotto ei ole koskaan täysin häiriötöntä ulkoisten tekijöiden takia. Suoratoistopalveluiden äänenlaatu on korkeintaan MP3:n tai CD:n tasolla (Battle of the sound). Suoratoistopalveluiden matalan näytteenottotaajuuden lisäksi Bluetooth A2DP -tekniikka pakkaa tallenteita. Bluetoothin kautta aptX on vähiten pakattu yhteysmuoto.

Resoluutiolla tarkoitetaan tässä tapauksessa äänen tallennuksen ja D/A-muunnoksen erottelutarkkuutta. Esimerkiksi CD-levyn erottelutarkkuus on 16 bittiä, mikä tarkoittaa siis 2^{16} :n eli 65536 signaalin tasoa.

Näytteenottotaajuudella tarkoitetaan analogisesesta signaalista poimittujen näytteiden määrää sekunnissa. CD-levyssä tämä taajuus on 44,1 kHz. Nyquistin teoreeman mukaan näytteenottotaajuuden on oltava vähintään kaksi kertaa suurempi kuin tallenteessa esiintyvä taajuusvaihtelu, jotta signaalissa ei esiinny laskostumista eli vääristymistä (Hussain ym. 2011: 69). CD-levyn näytteenottotaajuus perustuu siis tähän teoriaan, kun kuuloalueen yläraja on noin 20 kHz.

Parhaina tallennus- ja toistomuotoina pidetään häviöttömiä formaatteja, kuten FLAC. Näitä tiedostoja voidaan soittaa digitaalisilta tallennusvälineiltä tai CD-levyltä. FLAC pakkauksen avulla voidaan toistaa suurempia tiedostoja ilman häviöitä. Niin sanotulla High-Resolution (High-Res) Audiolla tarkoitetaan tallennetta, jonka näytteenottotaajuus ja resoluutio ovat suuremmat kuin CD tai MP3. High-Res tallenteen näytteenottotaajuus on yleisesti 96 KHz resoluutiolla 24 bit. (Battle of the sound.) High-Res -sertifiointia tavataan äänitteissä, äänilähteissä, vahvistimissa ja kaiuttimissa.

2.3 Vahvistin

Vahvistimen tehtävä on vahvistaa äänilähteeltä saatava signaali analogiseksi signaaliksi kaiuttimelle. Kaiutin tarvitsee toimiakseen suuremman tehon kuin pelkällä äänilähteen signaalilla pystytään tarjoamaan. Poikkeuksena erittäin herkäät kuuloke-elementit, jotka eivät kuitenkaan liity tämän tutkimuksen järjestelmiin. Useimmiten vahvistin eli pääteaste sijaitsee autossa samassa ohjainlaitteessa kuin radio ja muut äänilähteet. Tätä yksikköä kutsutaan vanhemmissa autoissa radioksi ja uudemmissa multimedialaitteeksi tai äänijärjestelmän ohjainlaitteeksi. Uudemmissa ja premiumluokan autoissa vahvistin on yhä

useammin erillinen ohjainlaite, joka sijaitsee tyypillisesti penkin alla, takakon-
tissa tai kojelaudan alla.

Vahvistin on vaikuttava tekijä äänenlaatua tarkasteltaessa. Tärkeimpiä vahvisti-
men ominaisuuksia ovat kaiuttimille annettava kanavakohtainen RMS- ja huip-
puteho, signaali-kohinasuhde, taajuusvaste, vaimennuskerroin ja THD eli har-
moninen kokonaissärö. Yleensä näistä ominaisuuksista ilmoitetaan vain kana-
vakohtaiset tehot sekä valikoidusti jokin muu edellä mainituista. Jälkiasennetta-
vien soittimien kohdalla mainitaan pääteasteesta yleensä pelkkä teho.

Harmoninen kokonaissärö ilmoitetaan prosenttilukuna vahvistimen lähtötehosta.
Jos vahvistimen antaa ulos 100 W:n teholla signaalin, jossa esiintyy 1 W tehol-
lista säröä, on THD 1 %.

Vahvistimen kaiuttimelle syöttämä signaali on muodoltaan siniaaltoa, joten RMS
tehosta U voidaan laskea myös huipputeho \hat{u} kaavalla 1 (Linja-Aho 2017: 1).

$$\frac{\hat{u}}{U} = \sqrt{2} \quad (1)$$

Vahvistimen kaiutinlähdön impedanssi vaikuttaa vaimennuskertoimeen. Vai-
mennuskertoimella tarkoitetaan tekijää, joka määrittelee, kuinka kaiuttimen kar-
tion liikkeen aiheuttama hukkasähköenergia vaimennetaan vahvistimessa. Ylei-
sesti arvoa 50–200 pidetään vaimennuskertoimen rajana, jonka jälkeen tekijä ei
juurikaan vaikuta toistoon. Vaimennuskerrointa pidetään virheellisesti subjektii-
visenä tekijänä, jonka suuri arvo tarkoittaa tarkempaa toistoa. Todellisuudessa
vaimennuskerroin muuttuu taajuuden mukaan. Lisäksi kaiuttimen kartion reso-
nanssiin vaikuttavat piirin kaikki vastukset eli kaiuttimen kelan resistanssi,
kaiutinkaapeleiden resistanssit ja vahvistimen kaiutinlähdön impedanssi. Näistä
vahvistimen sähkövirtaa vastustavien tekijöiden suuruus on sadasosan kokoi-
nen, eli vaikutus on häviävän pieni. (Self 2006.) Kuvitteellinen vaimennuskerroin
tarkoittaa kuorman ja vahvistimen kaiutinlähdön impedanssien suhdetta.

Vahvistimen lähtöimpedanssilla tarkoitetaan vahvistimen sisäisten komponenttien kykyä vastustaa vaihtojännitettä. Usein mielletään mahdollisimman pieni lähtöimpedanssi paremmaksi kuin suuri, sillä se aiheuttaa suuren vaimennuskertoimen. Käytännössä kuitenkin vahvistimen kaiutinlähtöjen sähkövirtaa vastustavat tekijät ovat sarjassa kaiutinkaapeleiden ja kaiuttimen puhekelan kanssa. Lähtöimpedanssin taajuusriippuvuuden vuoksi myös edellä mainittu vaimennuskertoimen laskutapa on virheellinen sen lisäksi, että vaimennuskertoimen suuruudella ei voida mitata kaiuttimen resonanssin vaimentumista tai vaikutusta ääneen. Vaimennuskertoimella voidaan kuitenkin epäsuorasti taas ilmoittaa vahvistimen lähtöimpedanssi, jolla on vaikutus vahvistimen virranantokykyyn. (Self 2006.)

2.4 Kaiuttimet

Tyypillisin kaiutintyyppi perustuu sähködynaamiselle periaatteelle, jossa muuttuva sähkövirta aiheuttaa muuttumattomassa magneettikentässä induktioilmiöön perustuvan voiman. Tämä voima kohdistuu siis kelaan ja siihen kiinnitettyihin kappaleisiin. (Glen 2009.) Tässä työssä käytetyt kaiuttimet ja niihin liittyvät tutkimukset koskevat vain dynaamisia elementtejä. Muita kaiutintyyppejä ovat esimerkiksi sähköstaattinen kaiutin ja plasmakaiutin.

Kaiuttimen tärkeimpiä ominaisuuksia ovat impedanssi, herkkyys, taajuusvaste ja ominaisvärähtelytaajuus. Kaiutinsuunnittelussa käytetään hyväksi sähköakustisia ja mekaanisia Thiele & Small -parametrejä (taulukko 1). Näillä arvoilla voidaan suunnitella kaiuttimelle sopiva kotelo tai kotelolle soveltuva kaiutin. Tarkemmat kaiutinsuunnittelun parametrit, selitteet ja suomennokset löytyvät liitteestä 1.

Taulukko 1. JL Audio 13W7AE-D.15 -subwooferin ilmoitetut parametrit

Free Air Resonance (Fs)	23,5 Hz
Electrical "Q" (Qes)	0,476
Mechanical "Q" (Qms)	7,517
Total Speaker "Q" (Qts)	0,448
Equivalent Compliance (Vas)	104,3 l
One-Way Linear Excursion (Xmax)	32 mm
Reference Efficiency (no)	0,27 %
Efficiency (1 W / 1 m)	86,3 dB SPL
Effective Piston Area (Sd)	0,0693 m ²
DC Resistance (Re)	2,41 Ω

Tässä työssä mitataan koko kaiutinpiirin ominaisuuksia, akustiikan ja kaapeleiden vaikuttaessa koko laitteiston toimintaan. Kaiutinpiirissä vaikuttaa oleellisesti impedanssi, joka johtuu reaktanssista. Reaktanssi aiheutuu induktanssista tai kapasitanssista. Ylipäästösuodatuksella tarkoitetaan matalien taajuuksien suodattamista diskantilta. Golfin kaiutinpiirissä diskantin ylipäästösuodatus on toteutettu kondensaattorilla negatiivisen johtimen välissä.

Passiivinen kondensaattorilla toteutettu ylipäästösuodatin perustuu kondensaattorin kapasitiiviseen reaktanssiin. Matalilla taajuuksilla kondensaattorin reaktanssi on suuri, jolloin piiri on verrattavissa avoimeen piiriin. Taajuuden kasvaessa yli kynnystaajuuden reaktanssi laskee, jolloin kaiuttimen yli mitattava jännite nousee. Tämä aiheuttaa myös sähkövirran kaiutinpiirissä, jolloin diskantti alkaa toistaa musiikkia. Käytännössä diskanttipiirissä kulkeva virta ei ole suuri johtuen ylipäästösuodatuksesta. Tämän takia diskantin johtimilla ei ole

myöskään suurta vaikutusta koko piirin impedanssiin. Kondensaattorin varautumiseen kuluva aika aiheuttaa myös komponenttien yli vaihe-eron, joka kasvaa taajuuden noustessa. Vaihe-eroa voidaan ehkäistä signaalin digitaalisella prosessoinnilla eli passiivijakosuotimen poistolla. Passiivisilla komponenteilla vaihe-eron muokkaus onnistuu helposti napaisuutta kääntämällä, mikä aiheuttaa kuitenkin liian suuren 180° :n muutoksen.

Merkittävä ominaisuus diskanttipiirissä on ylipäästösuodatuksen jyrkkyys. Tämä tarkoittaa sitä, kuinka nopeasti sähkövirta vaimenee taajuuden lasiessa alle kynnystaajuuden. Jyrkkyyttä voidaan loiventaa tekemällä suodatus ns. second-order-tyyppisesti. Tämä tarkoittaa kahden identtisen ylipäästösuotimen kytkemistä sarjaan piiriin. Vakiolaitteistossa tämäkään ei ole usein tarpeen, sillä tällöin diskantin toiston taajuusalue laskee, mikä voi vahingoittaa elementtiä.

2.5 Kaapelit ja johtimet

Yleisesti johtimella tarkoitetaan yksinapaista- ja kaapelilla moninapaista johdinta. Yleisimpiä johdinmateriaaleja ovat kupari ja alumiini. Jotkin johtimet on päällystetty esimerkiksi hopealla, kullalla tai tinalla. Näillä päällysteillä pyritään ensisijaisesti ehkäisemään johdinmateriaalin hapettumista sekä parantamaan liitospintojen kontaktia. Tämän työn tarkoitus on keskittyä johtimien välisiin eroavaisuuksiin ja niiden vaikutuksiin äänentoistossa.

2.5.1 Johdintyytit autossa

Äänentoiston virtapiiri alkaa äänilähteen virransyötöstä. Tämän vaikutus äänenlaatuun on yleisesti merkityksetön, mikäli virtapiirissä ei esiinny katkoksia. Joissain tapauksissa huono maadoitus saattaa aiheuttaa pääteasteen virransyöttöongelmia, jotka esiintyvät äänen katkeamisina tai häiriöinä.

Äänilähteeltä signaali lähtee joko pääteasteelta suoraan kaiuttimille tai välikaapelia pitkin erilliselle vahvistimelle. Kaiutinkaapelit ovat parikaapeleita, joissa ääni kulkee analogisena eli aaltomaisena jännite- ja taajuusvaihteluna. Pienitehoisissa vahvistinpiireissä jännite vaihtelee yleensä välillä 0–30 V. Jännitettä voidaan tarkastella vaihtojännitteenä aaltomuodon vuoksi. Erilliselle vahvistimelle signaali voidaan ohjata analogisena tai digitaalisena. Näistä analogisissa kaapeleissa voi esiintyä häiriöitä ja jännitehäviöitä, joilla voi olla vaikutus äänen-toistoon. Analogisista kaapeleista yleisin on RCA. Digitaalisissa kaapeleissa käytetään yleensä valokuitutekniikkaa, joissa signaali siirtyy bittimuodossa vahvistimelle. Tämä siirtotapa on häviötön sekä häiriötön. Yleisin siirtotapa on mukavuustoiminnoissa vakiona käytetty MOST-väylä. Viihde-elektronikasta tuttu Toslink on yleisin jälkiasennettavissa laitteissa käytetty siirtotapa.

2.5.2 Johdinmateriaalit

Sähkövirran johtimena käytetään matalan ominaisresistanssin eli resistiivisyyden omaavaa materiaalia, jonka sähköiset ominaisuudet eivät muutu merkittävästi käyttölämpötilan alueella. Metallien resistanssi kasvaa lämpötilan noustessa. Yleisin johdinmateriaali on kupari sen runsaan esiintyvyyden ja hyvien sähköisten ominaisuuksien takia. Toiseksi yleisin materiaali on alumiini, jonka sähköiset ominaisuudet eivät ole niin hyvät kuin kuparilla. Alumiini on halvempaa ja kevyempää kuin kupari. Kaapelin mitoitus perustuu laitteen tehoon, joka määräytyy käyttöjännitteen ja virran mukaan. Ajoneuvoissa sähköisten toimijoiden nimelliskäyttöjännite on 12 V. Kun jännite on vakio, tehon kasvaessa virta kasvaa. Johtimen resistanssi vastustaa sähkövirran muutosta muuttamalla sähkövirtaa lämmöksi. Tämä taas nostaa johtimen lämpötilaa ja resistanssia.

Aineiden resistanssi riippuu siis lämpötilasta. Metallien resistiivisyys ilmoitetaan yleensä 20 °C:n lämpötilassa. Johtimena käytetyistä alkuaineista hopealla on parhaat sähköiset ominaisuudet, mutta kalliin hinnan vuoksi sitä ei käytetä

normaalisti johdinmateriaalina. Taulukossa 2 on esitettyä yleisien johdinmateriaalien ominaisvastukset.

Taulukko 2. Metallien ominaisvastukset 20°C lämpötilassa (Kairinen 2013: 94–96)

Johde	Resistiivisyys $10^{-8} \Omega\text{m}$	Resistiivisyyden lämpötilakerroin $10^{-3}/\text{K}$
Alumiini	2,655	4,30
Hopea	1,59	4,10
Kulta	2,35	3,98
Kupari	1,678	6,80
Rauta	9,71	6,51
Tina	11	4,63
Messinki	7	1,50
Teräs	16	3,30

Kaapelivalmistajat ilmoittavat yleensä johtimien tärkeimmät ominaisuudet, joita ovat poikkipinta-ala, johtimien lukumäärä, säikeiden määrä per johdin, säikeen halkaisija, materiaali, kuoren materiaali, resistanssi ja induktanssi (Supra Classic 2x2.5). Tässä työssä mitataan auton vakiokaapeleiden ominaisuuksia ja verrataan niitä jälkiasennettavien kaapeleiden vastaaviin ominaisuuksiin. Näiden ominaisuuksien perusteella voidaan arvioida vaikutusta äänentoistoon.

Johtimista mitattavia ja laskettavia ominaisuuksia ovat impedanssi, resistanssi, induktanssi ja reaktanssi. Tasavirtapiirissä oleellinen ominaisuus on resistanssi. Tällaisia piirejä ovat esimerkiksi kaikki ajoneuvon virransyöttöpiirit. Impedanssi on vaikuttava tekijä vaihtovirtapiirissä. Tällaisia ovat autoissa jotkin anturisiinaalit sekä kaiutinsiinaalit, joissa jännitevaihtelu on aaltomuotoista.

Johtimen resistanssi voidaan laskea kaavalla 2, kun tiedetään materiaalin ominaisresistanssi ρ , pituus l ja poikkipinta-ala A (Suvanto & Laajalehto 2005: 90).

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} \quad (2)$$

Resistanssi on myös mitattavissa yleismittarilla. Tarkemman mittaustuloksen johtimista saa DC-vastusmittarilla, jonka mitta-alue yltää milliohmiin. Tämä mittalaite on hyvä apuväline ajoneuvon johtimien mittauksiin, sillä johtimen irrotus ja pituuden mittaaminen voi olla työlästä. Lisäksi kaikki liittimet lisäävät resistanssia, joten sitä ei välttämättä voi laskea riittävän tarkasti.

Induktanssilla tarkoitetaan johtimen kykyä vastustaa sähkövirran muutosta. Tämä vaikuttaa lähinnä vaihtovirtapiireissä, mutta suurille äänenpaineille tarkoitetuilla vahvistimilla voi vaikuttaa myös virransyöttöpiirissä. Induktanssin vastasuure on kapasitanssi. Yleensä induktanssia pidetään kelan ominaisuutena ja kapasitanssia kondensaattorin ominaisuutena. Mittaukset voidaan tehdä tähän käyttöön tarkoitettulla LCR-mittarilla.

Reaktanssilla tarkoitetaan vaihtovirtapiiriin impedanssin imaginääristä osaa. Reaktanssi aiheuttaa komponentin yli jännitteen ja virran välille vaihe-eron, joka on riippuvainen taajuudesta. Reaktanssia X on induktiivista X_L ja kapasitiivista X_C . Nämä voidaan laskea kaavoilla 3 ja 4 (Kairinen 2013: 133). Johtimessa kapasitanssin ollessa hyvin pieni, voidaan myös kapasitiivinen reaktanssi jättää usein huomiotta.

$$X_L = 2\pi fL \quad (3)$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} \quad (4)$$

Impedanssi voidaan laskea tasavirtaresistanssin sekä induktiivisen ja kapasitiivisen reaktanssin avulla (Kairinen 2013: 133). Huomattavaa on kuitenkin, että

reaktanssi on taajuusriippuvainen, joten myös impedanssi on taajuusriippuvainen. Impedanssi Z lasketaan kaavalla 5.

$$Z = \sqrt{R^2 + (x_L - x_C)^2} \quad (5)$$

2.5.3 Häiriöt ja suojaus

Johtimien kuorimateriaaleilla on mekaaninen ja sähköinen suojavaikutus. Tärkeimpänä tehtävänä kuorella on eristää johdin ympäristöstä, jotta oikosulkuja ei pääse syntymään. Toinen yleinen kuoren tehtävä on suojata signaalia ympäristön häiriöiltä. Tällainen ilmiö on yleinen kaapeleissa, joissa kulkee matalajännitteisiä signaaleita. Yleisimmät häiriöiden syyt ovat muiden johtimien indusoimat magneettikentät, jotka aiheuttavat sähkömagneettisesti kytkeytyviä häiriöitä. Autoissa mahdollisia merkittäviä häiriön lähteitä ovat suuret virtajohtimet, kuten käynnistimen tai akun virtakaapelit. Virtakaapelin aiheuttama häiriö on kuultavissa kaiuttimien surinana ja mitattavissa jännitteenä signaali- tai kaiutinkaapeleista, kun äänilähteeltä ei syötetä signaalia.

Johtimien kuorien materiaaleina käytetään muovi- tai kumiseoksia. Tyypillisin johtimien eristemateriaali autokäytössä on PVC, jonka resistiivisyys on $10^{12} \Omega\text{m}$ ja läpilyöntikestävyys 25 kV/mm (Kairinen 2013: 96). Herkissä signaalikaapeleissa voidaan käyttää erilaisia metallisia suojakuoria, jotka suojaavat häiriöiltä. Kuvassa 1 nähdään tyypillinen signaalikaapelirakenne, jossa itse johdin on kääritty yhteen tai useampaan foliovaippaan. Suojakuori voidaan maadoittaa johtimen toisesta päästä, mutta ei molemmista, sillä potentiaaliero saattaa synnyttää jännitteen, joka aiheuttaa häiriön.



Kuva 1. Supra EFF-I Audio kaapeli (Supra EFF-I Audio Blue B50)

Toinen keino ehkäistä häiriöitä on kierretty kaapelirakenne. Esimerkiksi kierretyssä parikaapelissa mahdollinen indusoituvaa häiriöjännite vaikuttaa todennäköisemmin yhtä suurena molemmissa kaapeleissa. Tällaista rakennetta käytetään etenkin kohteissa, joissa signaali perustuu johtimien jännite-eroon. Tyypillisin käyttökohteita on CAN-väylä. Kaiutinkaapeleissa jännitevaihtelut ovat suuria, joten induktiojännitteiden merkitys on erittäin vähäinen. Periaatteessa kierretty rakenne voi ehkäistä häiriöiden aiheuttamia tehokorostumia tai vaihe-eroja.

2.5.4 Pyörrevirta ja virranajoitus

Sähkövirran muutos suljetussa virtapiirissä saa aikaan johtimen ympärille magneettikentän. Faradayn lain mukaan nämä magneettikentät aiheuttavat sähkömekaanisia voimia, jotka indusoivat pyörrevirtoja johtimiin. Lenzin lain mukaan nämä pyörrevirrat aiheuttavat magneettikentän, joka vastustaa sen luoneen magneettikentän muutosta. Muuttuva sähkövirta siis aikaan saa johtimen ympärille muuttuvan magneettikentän, joka aiheuttaa johtimeen sähkömagneettisen

energian. Kun magneettikenttä on johtimen ympäröivä ja itsensä aiheuttama, ei energia muutu liike-energiaksi, kuten esimerkiksi kestopagneettia liikuttaessa johtimen vierellä. Tämä energia muuttuu vastuksen vaikutuksesta lämmöksi. Pyörrevirran aiheuttamia ilmiöitä on kaksi: skin effect ja proximity effect. Skin effect eli virranahtoilmiö aiheutuu saman johtimen kuljettaman virran aiheuttamasta magneettikentästä. Proximity effect eli läheisyys- tai vierekkäisyysilmiö aiheutuu lähellä olevan johtimen sähkövirran aiheuttamasta magneettikentästä.

Suorassa johtimessa kulkeva muuttuva sähkövirta aiheuttaa siis ympärilleen magneettikentän. Magneettikentän johtimen lävistämä osa eli johtimen sisälle indusoituva magneettikenttä aiheuttaa pyörrevirtoja johtimen sisälle. Nämä pyörrevirrat yhtyvät johtimen kuljettamaan varaukseen lähellä pintaa ja vähentyvät keskiosan läheisyydessä. Toisin sanoen varauksenkuljettajat liikkuvat siis lähemmäs johtimen pintaa. Virranahtoilmiö riippuu johtimen poikkileikkauksen säteestä ja vaihtojännitteen taajuudesta. Tasajännitteellä virran tiheys on yhtä suuri läpi johtimen. Vaihtojännitteen taajuuden noustessa tiheys johtimen pinnassa kasvaa, eikä johtimen ydin välttämättä kuljeta virtaa ollenkaan. (Kazimierczuk 2014.)

Virranahtoilmiö vaikuttaa siis johtimen teholliseen pinta-alaan suurilla taajuuksilla. Lisäksi ilmiö vaikuttaa, kun suuritehoinen vahvistin ottaa transientin virran piikkiteholla. Johtimen tehollinen pinta-ala voidaan laskea tunkeutumissyvyydestä δ_w ominaisresistanssin ρ_w , relatiivisen permeabiliteetin μ_r , tyhjiön permeabiliteetin μ_0 ja taajuuden f avulla kaavalla 6. Tunkeutumissyvyys on siis riippuvainen myös lämpötilasta.

$$\delta_w = \sqrt{\frac{\rho_w}{\pi * \mu_r * \mu_0 * f}} \quad (6)$$

Skin effect on vaikuttava tekijä vaihtovirtapiirissä suurilla taajuuksilla. Puhtaan kuparijohtimen tehollinen syvyys on 10 kHz taajuudella 0,66 mm (Kazimierczuk

2014). Tämä ongelma on usein korjattu monisäikeisillä johtimilla, jotta virta ja-kaantuisi tasaisemmin johtimen sisällä. Kuitenkin toisistaan eristämättömät säikeet mahdollistavat virran pakkautumisen johtimen ulkolaidoille. Lisäksi säikeet usein punotaan epäsuoraan järjestykseen, jotta koko kaapelin rakenne ehkäisisi virranahtoilmiön vaikutusta. Ajoneuvoissa vaihtosähkönä käsiteltävät virrat eivät ole niin suuria, että ne loisivat ympäröiviin johtimiin merkityksellisiä pyörrevirtoja. Herkissä kohteissa johdin on suojattu häiriöiltä, kuten todettiin kohdassa johtimien häiriöt ja suojaus.

2.6 Akustiikka

Äänentoistossa akustiikalla on merkittävä vaikutus kaiuttimen toimintaan. Akustiikalla tarkoitetaan laajasti ääniopin tieteenalaa, mutta tässä tapauksessa lähinnä ympäristön vaikutusta ääneen. Autossa akustiikka on aina epäedullinen äänentoistoa tarkasteltaessa johtuen epäsymmetrisestä asettelusta sekä korin muotoilusta. Täydellistä äänikuvaa tavoiteltaessa pyritään kuulemaan äänite sellaisena, kuin se on nauhoitettu. Kotioloissa akustoinnilla pyritään ehkäisemään seisovien aaltojen vaikutus, äänen kumoutuminen heijastusten takia ja raskaiden rakenteiden aiheuttama kumina ja kaiku etenkin matalilla taajuuksilla. Näihin voidaan vaikuttaa akustiikkalevyillä ja huoneen rakenteiden materiaaliratkaisuilla.

Autoissa akustiikan muokkaaminen on varsin rajattua verrattuna kotioloihin. Auton kori ja rakenteet ovat aina samat. Auton rakenne, korin muotoilu, sisätilat, matkustajat sekä ulkoinen melu aiheuttavat loputtomasti muuttujia akustiikassa. Symmetrisen stereokuvan toteuttaminen on myös hankalaa, sillä kuulija ei normaalisti istu koskaan auton keskiosassa, jossa kaikkiin kaiuttimiin olisi yhtä suuri etäisyys. Näitä tekijöitä voidaan muokata digitaalisella signaaliprosessoinnilla, kuten aikaviiveiden säädöllä. Akustiikkaa voidaan muokata lisäksi niin sannotuilla vaimennuslevyillä, massoilla ja materiaaleilla. Akustiikan muokkaamisen lisäksi ääniaaltojen suuntaan voidaan vaikuttaa kaiuttimien suuntauksella.

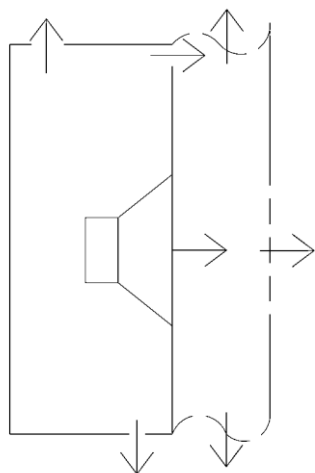
Suuntauksella on suurempi merkitys, mitä korkeampia ääniä elementti toistaa (Newell ym. 2006). Tästä syystä diskanttikaiuttimet ovat sijoitettu ylös ja suunnattu kuuntelijaa kohti.

Kuuntelutilan akustiikan lisäksi toistoon vaikuttaa myös kaiuttimen kotelon akustiikka. Kaiuttimen koteloinnin tyyppi vaikuttaa kaiuttimen impedanssikäyttäytymiseen ja vaihesovitukseen. Alun perin kaiuttimen kotelolla pyrittiin ehkäisemään akustinen oikosulku, mikä on yhä koteloinnin tärkein tehtävä autoissa. Akustisella oikosululla tarkoitetaan tilannetta, jossa kartion vastasuuntaisen värähtelyn eli palaamisen tasapainopisteeseen, aiheuttama signaalin vastasuuntainen ääniaalto pääsee kaiuttimen etupuolelle. Tällainen tilanne syntyy, kun kaiuttimen kiinnityspinta ei ole tiivis takaosaan nähden ja kartion takana on pinta, josta ääni heijastuu takaisin. Heijastunut ääni aiheuttaa kuuntelupaikalla aaltojen destrukttiivisen interferenssin eli kaiuttimen toiston kumoavan vaikutuksen (Suvanto & Laajalehto 2005: 256).

Akustisen oikosulun lisäksi koteloinnilla on merkitys kaiuttimen taajuusvasteeseen. Tyypillisiä kaiutinkotelotyyppejä ovat suljettu kotelo, refleksikotelo, infinite baffle, band-pass tai dipolirakenne. Autokäytössä lähes poikkeuksetta käytetään suljettua tai refleksikoteloita. Diskantit eivät vaadi koteloitua, sillä elementti on valmiiksi rakenteeltaan suljettu. Midbasson, keskiäänien ja subwooferin koteloinnin merkitys äänentoistossa on suuri. Etenkin oveen asennettavien kaiuttimien koteloitinta on erittäin hankalaa pienen tilan ja muiden komponenttien takia. Yleisin ovikaiuttimen rakenne on jonkinlainen suljetun, refleksi ja infinite baffle -koteloiden sekoitus.

Henkilöautossa elementti on siis asennettuna oven tukipeltiin tai ovipahviin siten, että kaiuttimen takaosa on oven ulkopuolella ja kartion etuosa kuuntelutilan puolella. Tämä asettaa joitain haasteita varsinaisen koteloinnin suunnittelulle. Kuvassa 2 on vapaa piirros tyypillisestä oven poikkileikkauksesta. Kuvassa näkyvät nuolet esittävät ääniaallon kulkua osien välillä. Tällaisia aukkoja

ovat esimerkiksi johtojen läpiviennit, ikkunan tiivisteet, kosteudenpoistoaukot, ritilät tai muut vastaavat. Nämä ovat oleellisia osia oven muille toiminnoille ja kosteuden poistolle, mutta hankaloittavat äänentoiston ja koteloinnin optimointia.



Kuva 2. Kaiuttimen asennuspaikka ovessa

Kaiuttimen takana sijaitsevaa pintaa voidaan vaimentaa massaa lisäävällä vaimennusmatolla. Massan lisäyksellä saadaan jäykistettyä peltiä ja muutettua ominaisresonanssia. Jos taustan materiaali joustaa kaiuttimen kartion liikkuessa, voi tämä aiheuttaa kuultavia resonansseja tai ääniaallon kumoutumisen pellin värähtelyn takia. Yleisin vaimennusmateriaali on butyylikumiseos, jonka tiheys on suuri eli pieni tilavuus sisältää paljon massaa. Näissä levyissä on yleensä liimapinta, jolla materiaali saadaan helposti liimattua kohteeseen. Massan lisäksi kaiuttimen taakse voidaan asentaa ääniaaltoja absorboivaa materiaalia. Tämä on usein huokoista, paksumpaa vaahtomuovia, jolla pyritään vaimentamaan kaiuttimen taakse heijastuvia aaltoja sekä ulkopuolelta tulevaa ajomelua.

Akustiikkaan kuuluu äänen eli värähtelyn fyysiset ominaisuudet. Äänen voimakkuutta mitataan logaritmisilla suureilla intensiteetti ja äänenpainetaso. Näillä

ilmaistaan, ”kuinka suuri teho siirtyy aallon etenemissuuntaa vastaan kohtisuoran pinnan läpi pinta-alayksikköä kohti” (Suvanto & Laajalehto 2005: 281). Normaalisti äänen intensiteetti ja äänenpaine ovat niin lähellä toisiaan, että laskenta voidaan suorittaa samoilla perussuureilla. Äänenpainetasoa ilmoitetaan yleensä paremmin havainnollistettavana suureena desibeli (dB). Tässä työssä desibeleinä mitataan vastetta, akustista suorituskykyä sekä äänenpainetasoa. Muutokset suurimmissa äänenpainetasoissa eri taajuuksilla ovat merkittäviä, mikäli muutos on yli 2 dB:n suuruinen. 3 dB:n muutokseen vaaditaan äänienergian kaksinkertaistumista. Kuultava äänen voimakkuuden kaksinkertaistuminen vaatii noin 10 dB muutoksen äänenpainetasossa. (Mommertz 2009: 9–10.)

3 Vakiolaitteisto

Tässä työssä tutkimuskohteena käytettiin 2003 vuosimallin VW Golf Variant -henkilöautoa. Auton äänentoistojärjestelmä on täysin vakio lukuun ottamatta radiota. Auton radio päätettiin vaihtaa, jotta mittaäänitteitä, kuten pistetaajuuksia, saatiin toistettua riittävällä laadulla. Riittävällä tarkoitetaan vähintään CD-laatuista äänitettä.

3.1 Äänilähde

Äänilähteenä autossa käytettiin jälkiasennettua Pioneer AVH-X5800DAB -multimediasoitinta. Työn kannalta merkittäviä ominaisuuksia ovat toistotapojen lisäksi käyttöjännite, virrankulutus, kanavakohtainen- ja kokonaisteho, THD tehoalueella sekä säröytymispiste. Valmistajan ilmoittamat ominaisuudet löytyvät liitteestä 2.

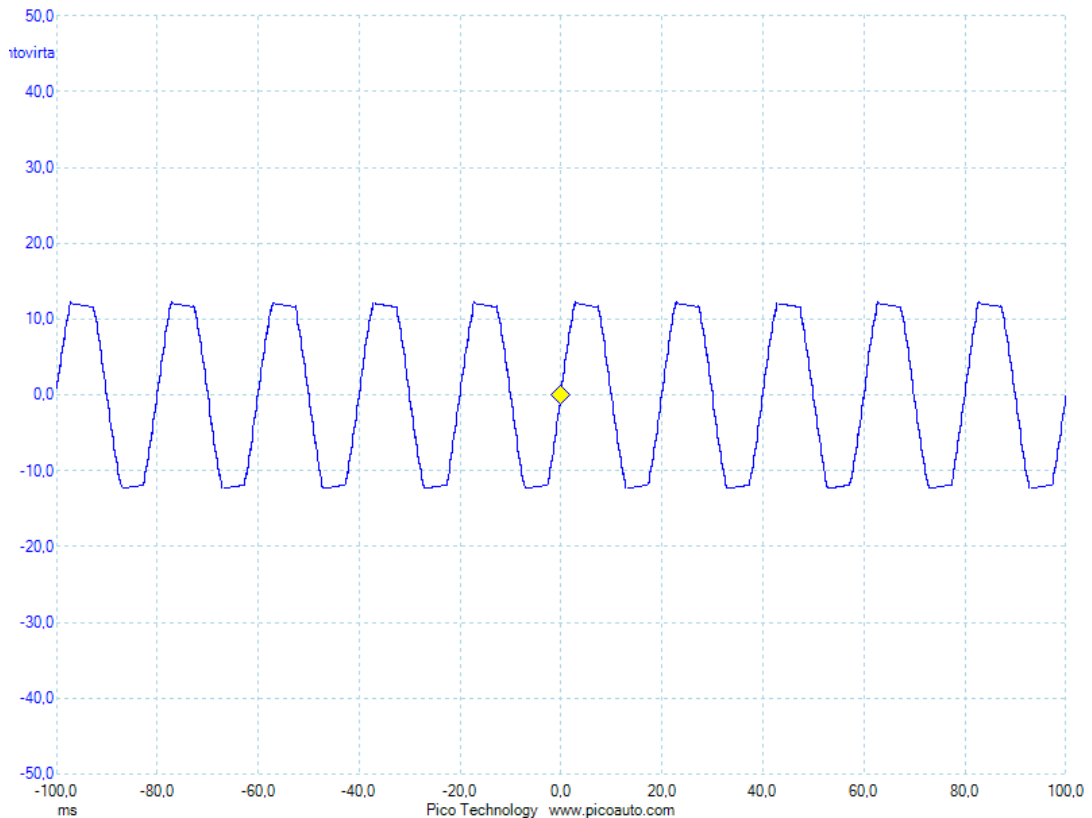
Näistä ominaisuuksista ensimmäinen tutkittava alue oli käyttöjännite. Käytännössä käyttöjännitteenä pidetään nimellistä 12 V:n jännitettä, mutta tarkka jännite tarkistettiin mittauksia tehdessä. Akun napajännite mittataajuuksia soitetessa oli keskimäärin 12,07 V.

Toinen mitattava suure oli käyttövirta. Virran maksimiarvo oli 8,556 A. Valmistajan ilmoittama suurin virrankulutus on 10 A.

Laitteen suurimmaksi lähtötehoksi valmistaja ilmoittaa 4 x 50 W:n kuorman ollessa 4 Ω . Jatkuvaksi tehonsyötöksi ilmoitetaan 4 x 22 W samalla kuormalla. Ilmoitettu lukema on mitattu 50–15 kHz:n alueella 5 %:n harmonisella kokonaisu säröllä. Virran ja jännitteen avulla voidaan laskea tulo- ja lähtötehot sekä laskea näistä laitteen hyötysuhde ja mitoittaa kaapelit.

3.1.1 Mitatut ja lasketut ominaisuudet

Ensimmäisenä kaiutinlähdeistä mitattiin kaiutinsignaalin säröytymispiste. Tällä saatiin selville äänenvoimakkuuden säätötaso, jolla mittataajuuksia ja musiikkia voidaan soittaa signaalin säröytymättä. Signaalin säröytymisellä tarkoitetaan pistettä, jossa vahvistimen tehonantokyky loppuu. Tämä näkyy kaiutinsignaalin jännitekuvaajan aaltomuodon leikkautumisena. Ilmiö nähdään kuvasta 3. Sini-muotoinen aalto muuttuu siis kanttiaalloksi vähitellen. Säröytyneen signaalin aiheuttama tasajännite aallon huipuissa saattaa kuumentaa kaiuttimen puhekelaa ja lopulta rikkoa komponentin.



Kuva 3. Säröytynyt kaiutinsignaali

Mittaus suoritettiin soittimen kaiutinlähdestä ilman kuormaa. Näin välttyttiin mahdolliselta kaiuttimen vaurioitumiselta. Säröytymistä alkoi tapahtumaan, kun taso nostettiin asteikolla 29:ään asti. Tutkimuksissa käytettiin siis tasoa 28 kuunneltaessa sinitaajuuksia alle 100 Hz. Suurimmaksi jännitteeksi saatiin 70 Hz:n taajuudella 11,96 V.

3.1.2 Lasketut tehot ja hyötysuhde

Soittimen tulo- ja lähtöteho saatiin laskettua jännitteen ja virran avulla. Suureet mitattiin sekä virransyötöstä että kaiutinkaapelista. Mittaukset suoritettiin 70 Hz:n taajuudella ilman säröä. Tulo- ja lähtöteho voidaan laskea tehon kaavalla $P = U \cdot I$. Taulukosta 3 näkyy suurin virransyötön teho 1 ja suurin lähtöteho 2. Lähtöteho on laskettu kaavalla $P = U \cdot I \cdot 4$, sillä soittimessa on 4

kaiutinkanavaa. Tällöin siis suurin mitattu kanavakohtainen teho on $97,52132 \text{ W} / 4 = 24,38033 \text{ W}$. Tästä saatiin myös laskettua kanavakohtainen RMS-teho kaavalla 1, joka oli $17,24 \text{ W}$.

Taulukko 3. Soittimen tehomittaustulokset

Tehomittaus							
Taajuus [Hz]	Virta 1 [A]	Virta 2 [A]	Jännite 1 [V]	Jännite 2 [V]	Teho 1 [W]	Teho 2 [W]	Hyöty-suhde
70	8,556	2,171	11,95	11,23	102,2442	97,52132	95 %

3.2 Kaiuttimet ja kaiutinkaapelit

Auton kaiuttimet olivat alkuperäiset ja niiden nimellisimpedanssi on 4Ω . Impedanssi tarkoittaa vaihtovirtavastusta, jota ei voi mitata yleismittarilla. Nimellisimpedanssilla tarkoitetaan yleensä ominaisresonanssitaajuuden F_s jälkeen seuraavaa matalinta impedanssin arvoa. Ilmoitetulla impedanssilla tarkoitetaan kuitenkin usein virheellisesti tasavirtavastusta eli resistanssia. Kaiuttimien resistanssit mitattiin auton oikealta puolelta edestä ja takaa. Diskantissa oli piiriin kiinnitetty kondensaattori, joka toimi ylipäästösuodattimena. Kaiutinkaapelit oli yhdistetty midbassokaiuttimen liittimessä, mikä näkyy myös kykentäkaaviossa liitteessä 3. Etumidbasson resistanssi oli 3Ω ja diskantin $3,1 \Omega$. Takana midbasson sekä diskantin resistanssit olivat $2,8 \Omega$. Diskantin kanssa sarjaan kytketty kondensaattori toimii ylipäästösuodattimena, jolloin piirin tasavirtavastus on riippuvainen vain midbasson piiristä.

3.2.1 Resistanssi

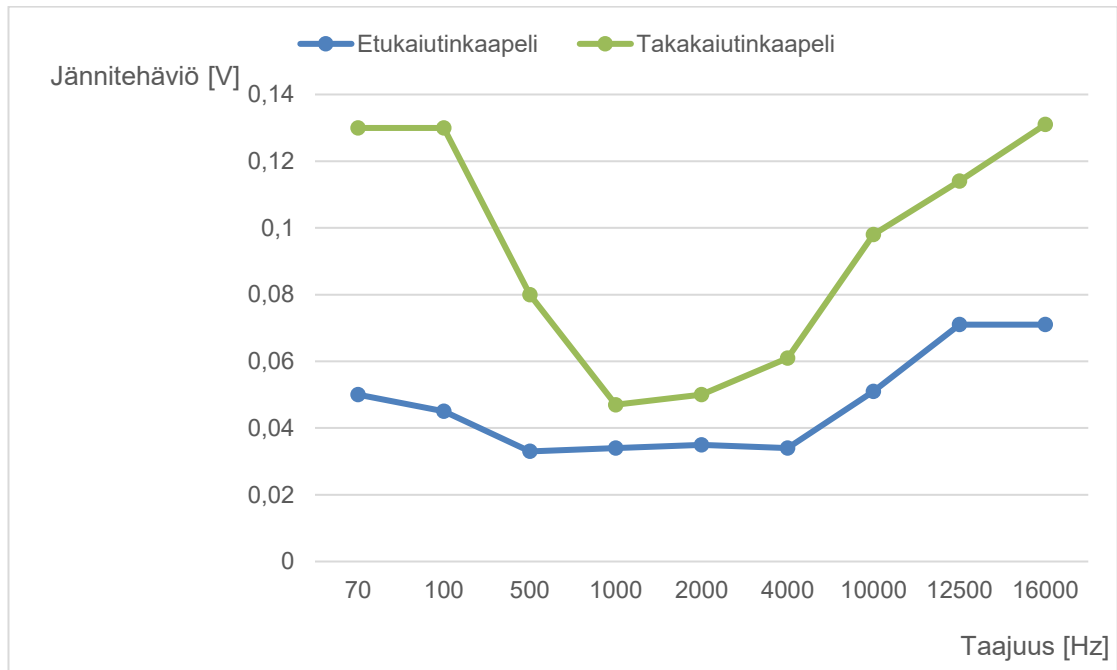
Kaiutinkaapelien resistanssit mitattiin Precision BK2840 -DC-vastusmittarilla. Laitteen mittajohtimet kalibroitiin ohjeen mukaisesti ennen vastusmittausta. Mittaus suoritettiin auton vakoliittimistä kytkemällä toinen mittapää soittimen liittimeen ja toinen pää midbasson kaiutinliittimen vastaavaan pinniin. Mittaukset

suoritettiin erikseen etu- ja takakaiutinkaapeleista ja niiden – ja + -johtimista. Tulokseksi saatiin seuraavat resistanssit:

- etukaiutin + johdin: 104,40 m Ω
- etukaiutin – johdin: 139,76 m Ω
- takakaiutin + johdin: 179,94 m Ω
- takakaiutin – johdin: 194,66 m Ω .

3.2.2 Jännitehäviö

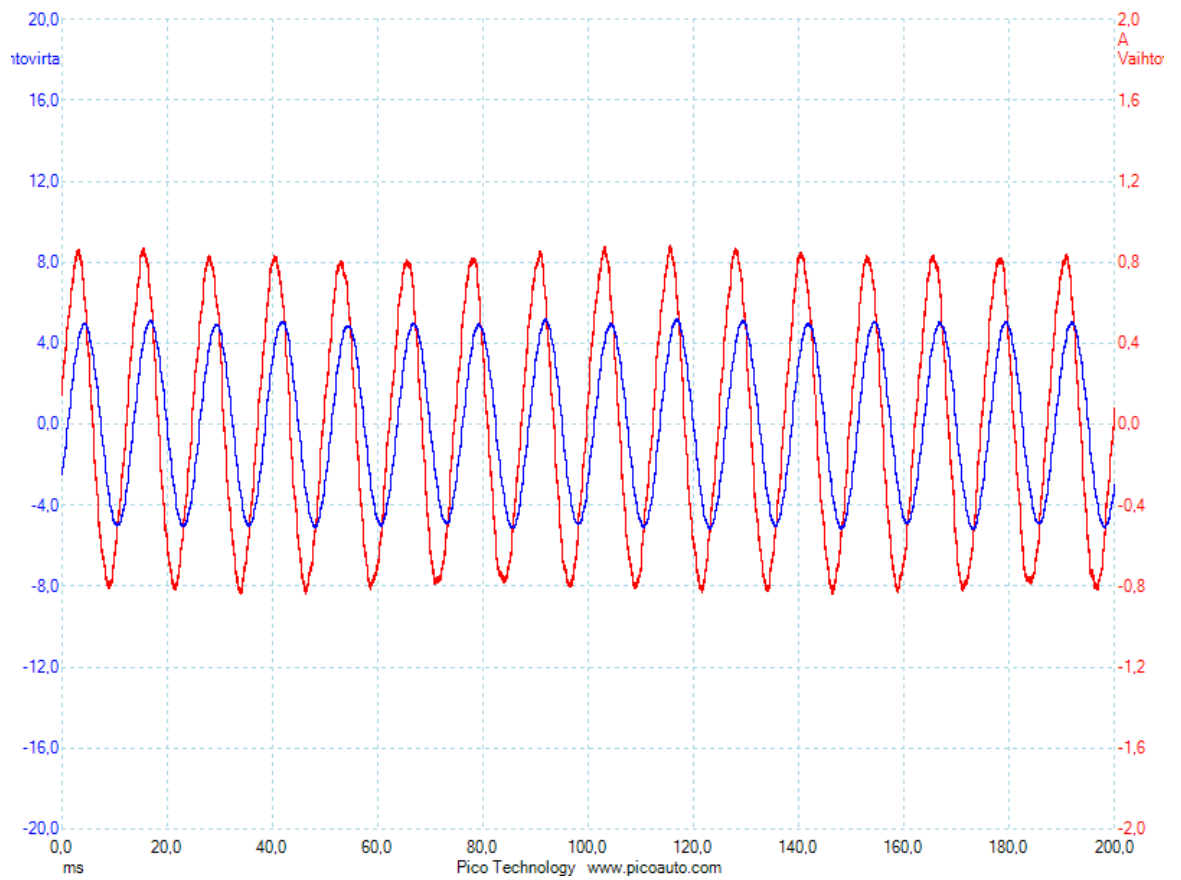
Äänitteiden hankalasta saatavuudesta johtuen mittausta ei voitu suorittaa suurimmalla mahdollisella teholla. Kuitenkin oskilloskoopilla mitatut jännitteet olivat tarpeeksi suuria, jotta ne olivat verrattavissa keskenään. Tutkimus suoritettiin mittaamalla ensin jännite eri taajuuksilla kaiutinlähdestä soittimen päästä ja merkitsemällä ne luetteloon. Tämän jälkeen sama toistettiin kaiuttimen liittimestä. Kuvaan 4 on merkattuna mittaustulosten erotus taajuuskohtaisesti. Tulosta voidaan käyttää vertailuna myöhemmin jälkiasennetuilla kaiutinkaapeleilla.



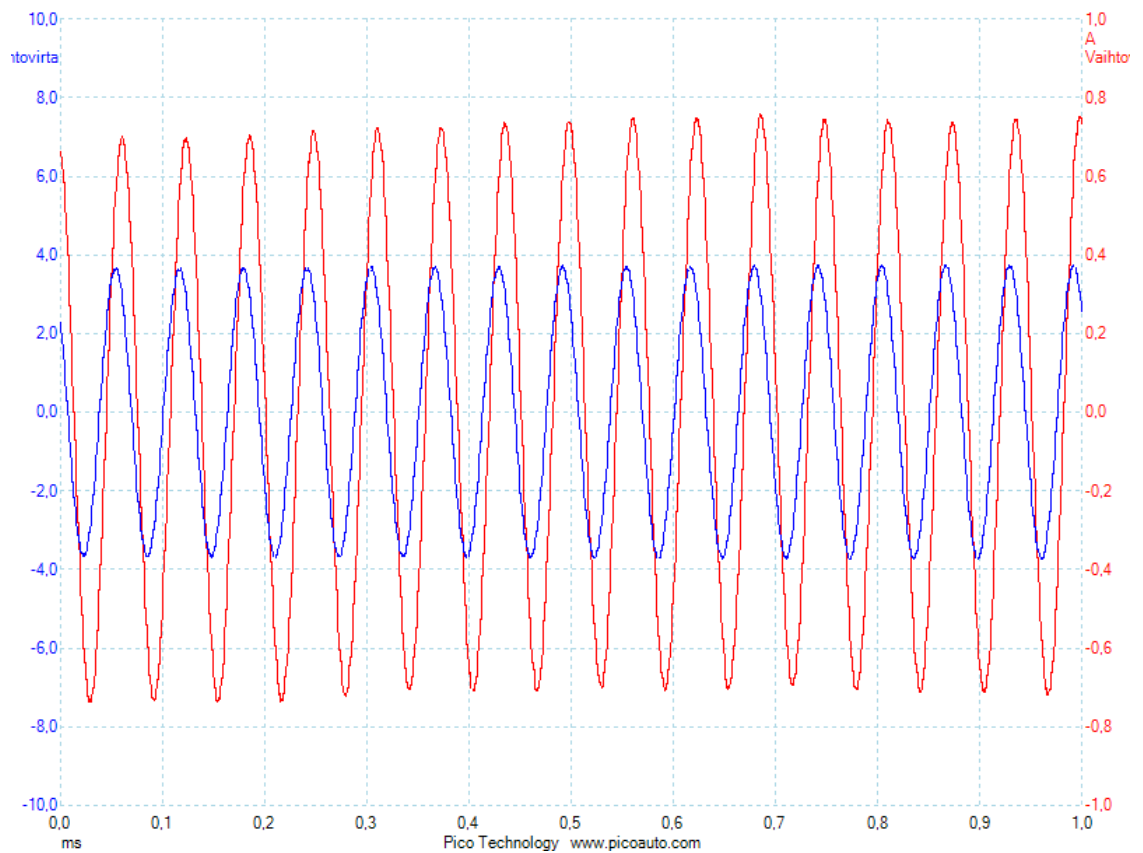
Kuva 4. Jännitehäviöt kaiutinkaapeleissa

3.2.3 Impedanssin ja reaktanssin tutkiminen

Kuorman impedanssi on siis riippuvainen resistanssista R ja reaktanssista X . Reaktanssin aiheuttavat kelan induktanssi L ja kondensaattorin kapasitanssi C . Kaiutinpierissä siis impedanssi kuvaa piirin vaihtovirtavastusta. Reaktanssin vaikutusta tutkittiin mittaamalla kaiutinkuorman jännitteen ja virran suhdetta tietyillä taajuuksilla. Kuvista 5 ja 6 voidaan huomata, että reaktanssi aiheuttaa jännitteen ja virran välille vaihe-eron. Vaihe-ero havaitaan kuvista nollakohtien poikkeamana. Vaihe-ero on huomattava sekä matalilla, että korkeilla taajuuksilla. Näillä taajuuksilla myös havaittiin suurempia jännitehäviöitä.

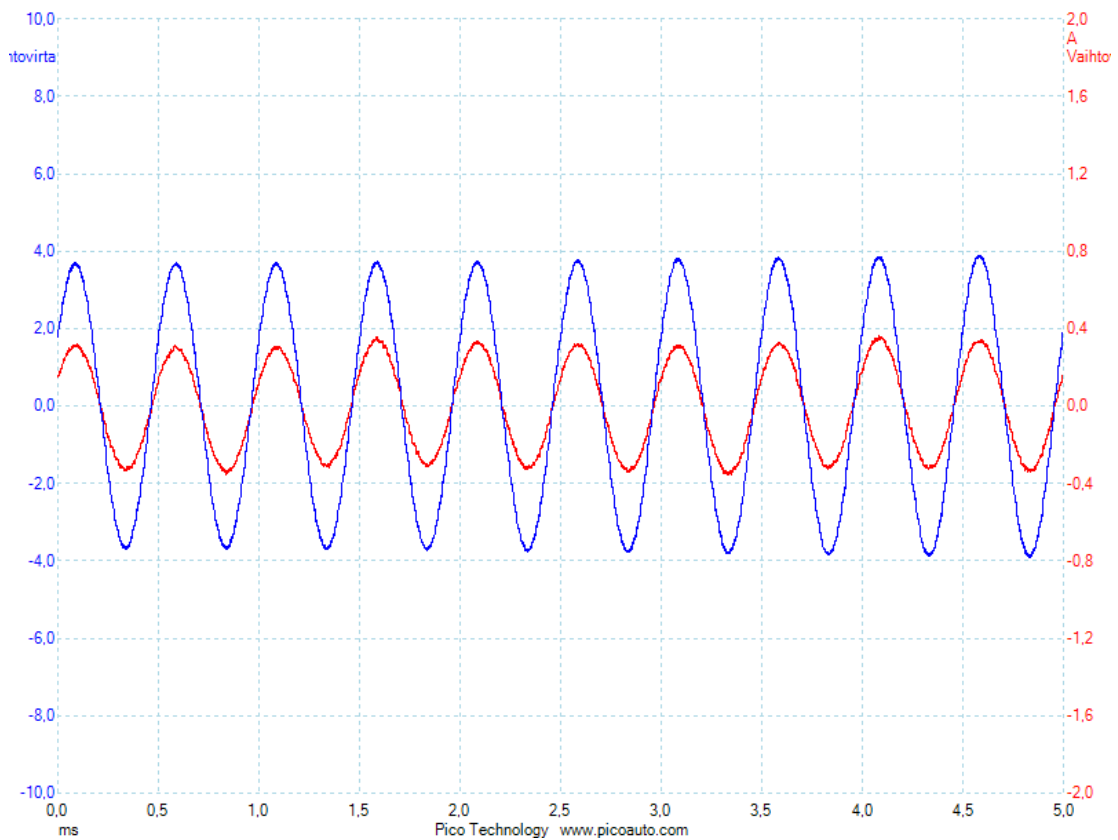


Kuva 5. Vaihe-ero 80 Hz:n taajuudella



Kuva 6. Vaihe-ero 16 kHz:n taajuudella

Kuvassa 7 nähdään vaihe-ero 2 kHz taajuudella. Suureiden kuvaajien nollakohdat ovat samoissa ajan hetkissä. 500 Hz – 4000 kHz taajuuksilla myös jännitehäviö oli pienimmillään.



Kuva 7. Vaihe-ero 2 kHz:n taajuudella

3.2.4 Impedanssin ja reaktanssin mittaaminen ja laskeminen

Impedanssi voidaan laskea reaktanssin ja tasavirtaresistanssin avulla. Aiemmin mitattiin tasavirtaresistanssit, joten vielä piti mitata induktanssit. Ensin mitattiin induktanssi soittimen ja midbasson väliltä. Tämä saatiin mitattua sopivalla LCR-mittarilla.

Induktanssit mitattiin koko kaiutinpiiristä, pois lukien diskantti, LCR-mittarilla taajuuksilla 100 Hz, 120 Hz, 1 kHz ja 10 kHz. Mittaus suoritettiin mittarin ohjeiden mukaan 1 V:n jännitteellä 1 %:n toleranssilla. Mittapäät kalibroitiin joka taajuudelle erikseen mahdollisimman tarkan tuloksen saamiseksi. Lisäksi induktanssi mitattiin vaihtamalla napaisuutta ja laskemalla tulos mittausten keskiarvosta. Taulukosta 4 nähdään mitatut induktanssit ja taulukosta 5 lasketut reaktanssit.

Induktiiviset reaktanssit on laskettu edellä mainitulla reaktanssin X_L laskukaavalla 3.

Taulukko 4. Mitatut induktanssit taajuuskohtaisesti

Puoli	Taajuus [Hz]			
	100	120	1000	10000
Etu	6,600 mH	4,274 mH	711,8 μ H	381,31 μ H
Taka	7,741 mH	3,3544 mH	738,9 μ H	386,44 μ H

Taulukko 5. Lasketut induktiiviset reaktanssit

Puoli	Taajuus [Hz]			
	100	120	1000	10000
Etu	4,1469 Ω	3,2225 Ω	4,4742 Ω	23,9584 Ω
Taka	4,8644 Ω	2,5292 Ω	4,6426 Ω	24,2807 Ω

Induktiivisten reaktanssien avulla voitiin myös laskea kaiutinpiirin impedanssit kaavalla 5. Myöhemmin samalla laskukaavalla laskettuna voidaan vertailla kaiutinkaapelin aiheuttamia impedanssimuutoksia kaiutinpiirissä. Taulukossa 6 nähdään lasketut impedanssit Z taajuuskohtaisesti.

Taulukko 6. Lasketut impedanssit

F [Hz]	Z_e [Ω]	Z_t [Ω]
100	5,2651	5,8087
120	4,5726	4,0589
1000	5,5266	5,6242
10000	24,1770	24,4874

3.3 Kaiuttimien koteloinnit

Auton akustiikka on vuosimalliin nähden toimiva. Kaiutin on koteloitu oven väli- ja ulkopellin väliin tiiviisti. Lisäksi kaiuttimen ympärillä on kuminen kaulus, joka ohjaa äänen pois ovipaneelin sisältä. Oven ulkopellissä on pieni määrä

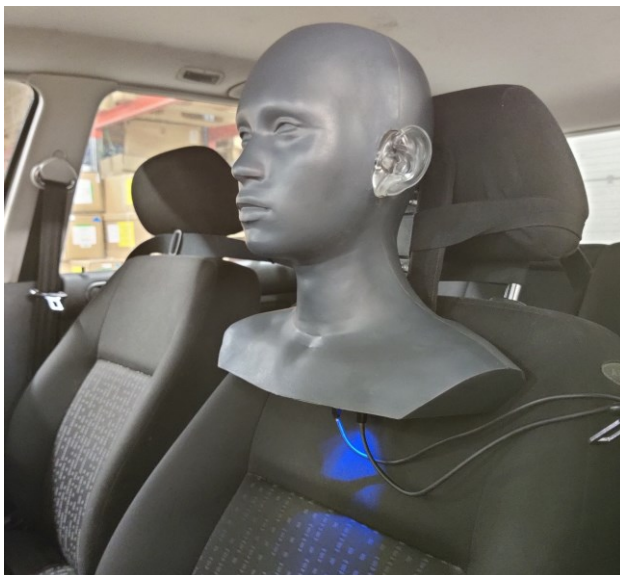
jäykistävää materiaalia, joka ei kuitenkaan merkittävästi vaikuta ääneen. Ovi on tiivistetty kosteudelta kokonaan kumisilla läpivienneillä. Useiden valmistajien ovissa ei ole välipeltiä, vaan kosteuden pitää ulkopuolella liimattu muovikalvo.

3.4 Äänentoistoa arvioivat mittaukset

Auton äänentoistoa voidaan mitata kokonaisuudessaan kolmella tavalla. Nämä ovat taajuusvastemittaus, akustiikkamittaus ja äänenpainemittaus. Jokaista mitaustulosta voidaan verrata toisiinsa muutosten jälkeen.

3.4.1 Akustiikka ja taajuusvaste

Akustiikkaa mitattiin Audisonin APM-mittalaitteella. Nimi tulee sanoista Acoustic Performance Measurement. Autoon asennettiin ihmisen päätä mallintava mikrofoni (kuva 8), joka yhdistettiin tietokoneeseen ja Audisonin bit Tune -ohjelmaan. Ohjelma ohjeistaa, mitä valmistajan tarjoamaa testiraitaa tulee soittaa, ja tekee mittaukset automaattisesti kappaleen soidessa.



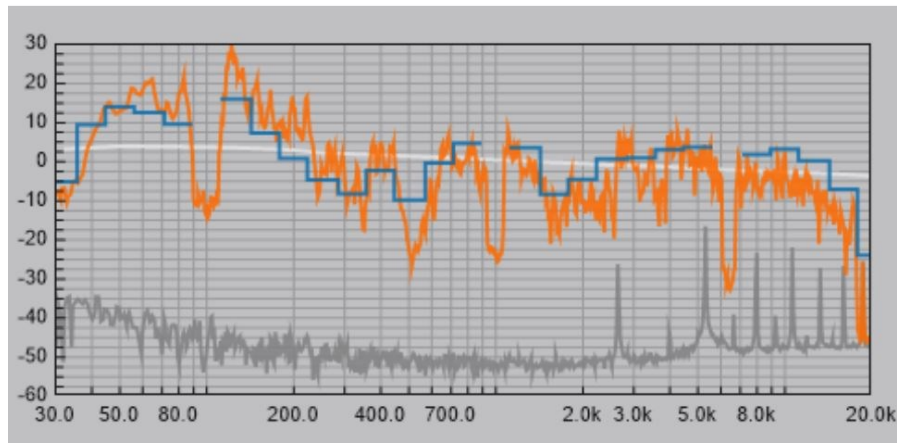
Kuva 8. APM-mittalaite kiinnitettynä autoon

APM-mittalaitteella voidaan mitata stereokuvan paikka, toistovaste sekä särön määrä. Kuvasta 9 nähdään stereokuvan paikka eli ns. laulajan sijainti punaisella täplällä merkattuna. Ihannetilanteessa stereokuva sijoittuu asteikossa 120 pisteen ruutuun. Tämä ilmiö johtuu siitä, että kaiutinasettelu ei ole symmetrinen kuuntelijaan nähden. Autossa tilannetta voidaan korjata digitaalisella signaaliprosessoinnilla, jolloin kaiutinkohtaisia signaaliiviveitä ja -voimakkuuksia voidaan säätää.



Kuva 9. Stereokuva

APM mittaa myös taajuusvasteen, josta nähdään mahdolliset poikkeamat. Neutraali toisto on vasteeltaan suora, joskin musiikkia kuunneltaessa suositaan yleensä tyylilajikohtaisia korostumia. Kuvassa 10 näkyy oranssina kuvaajana taajuusvaste. Yleisesti kuultavana erona pidetään 2 dB:n poikkeamaa. Kyseisessä autossa merkittävimpiä ovat madaltumat alueilla 100 Hz, 500 Hz, 1000 Hz ja 6000 Hz. Vaste ei ole siis kovinkaan huono, sillä merkittäviä korostumia ei ole havaittavissa. Keskiarvosta poikkeavat korostumat ovat helpommin kuultavissa kuin madaltumat. Koko mittausraportti on liitteessä 4.



Kuva 10. Taajuusvastekuvaaja

3.4.2 Äänenpainemittaus

Äänenpainetta mitattiin kuljettajan paikalta desibelimittarilla. Äänenpainetaso on suurimmillaan kuuloalueen matalilla taajuuksilla eli 20–100 Hz. Mittauksessa etsittiin suurinta särötöntä äänenpainetta harmonisella signaalilla. Mittari asetettiin mittaamaan tehollista äänenpainetasoa ilman painotusta. Muutosta vertaillessa äänenpainetason painotuksella ei ole niin suurta merkitystä, sillä käytännön tilanteessa kuunneltava ääni ei ole kuitenkaan harmonista värähtelyä. Painottomalla mittauksella saadaan keskenään tarkimmat vertailuarvot. Taulukossa 7 esitetään mitatut äänenpainetasot matalilla taajuuksilla. Mittaus suoritettiin myös säröllisellä signaalilla vertailuksi, mutta näin ei havaittu merkittäviä eroja lukemissa. Suurin äänenpaine saatiin taajuudella 54 Hz, jolloin paine oli 117,3 dB.

Taulukko 7. Äänenpainetason mittaus

Taajuus [Hz]	Max. [dB]
50	114,8
53	116,9
54	117,3
55	116,9

60	115,9
70	114,8
80	112,8
90	114,6
99	109,2

4 Vahvistintehon lisääminen

Seuraavan osion tarkoitus on tutkia tehon lisäyksen merkitystä kaiuttimien toistoon ja jännitehäviöihin kaapeleissa. Tutkimukseen valittiin pienitehoinen, 2-kanavainen vahvistin, joka simuloi tilannetta, jossa vakiosoitin antaa kaiuttimelle valmistajan ilmoittaman tehon. Ilmoitettu teho on normaalisti 4 x 50 W, joten kaiutinkaapelin tulisi olla soveltuva kyseiseen tehoon.

4.1 Vahvistimen ominaisuudet

Tutkimukseen valittiin kaksikanavainen vahvistin Eton Micro 120.2. Tämän ilmoitetut tehot ovat 2 x 85 W, kun kuorman nimellisimpedanssi on 4 Ω (Eton Micro 120.2). Jos vahvistimen tehon merkintätapaa ei ole ilmoitettu, oletetaan kyseessä olevan maksimiteho. Tästä voidaan siis laskea RMS-teho kaavalla 1, jolloin saadaan tulokseksi 60,10 W. Tämä on siis hyvin lähellä normaalia 50 W:n kanavakohtaista tehoa.

4.2 EMMA:n virtakaapelisuositukset

EMMA-järjestöllä ei ole varsinaisia virtakaapelisuosituksia. Virtakaapelit voidaan siis laskea kuvan 11 taulukon mukaan. Erillisen vahvistimen virrankulutus on siis enintään $280 \text{ W} / 12 \text{ V} = 23,33 \text{ A}$. Sulaketaulukon mukaan valitaan aina seuraava ilmoitettu arvo eli tässä tapauksessa 30 A. Taulukon mukaan virtakaapelin tulee siis olla paksuudeltaan vähintään 4 mm². Tässä työssä vahvistimeen asennettiin 8 mm²:n kaapeli, jotta virtakaapelin häviöiden aiheuttamat vaikutukset tehossa olisivat mahdollisimman pienet. Autoteollisuudessa kaapelit

mitoitetaan aina matkan ja tehon mukaan ennalta sovitulla toleranssilla. Kaapelissa tapahtuu aina häviöitä.

Fuse Size Matrix			
	Cable size	AWG	Fuse Rating
	0,5mm ²	20	10 Ampere
	1,0mm ²	17	15 Ampere
	1,5mm ²	15	20 Ampere
	2,5mm ²	13	20 Ampere
	4,0mm ²	11	30 Ampere
	6,0mm ²	9	50 Ampere
	10mm ²	7	60 Ampere
	16mm ²	5	100 Ampere
	25mm ²	4	125 Ampere
	35mm ²	2	175 Ampere
	50mm ²	0	250 Ampere
	70mm ²	2/0	300 Ampere

Kuva 11. Sulakekokotaulukko

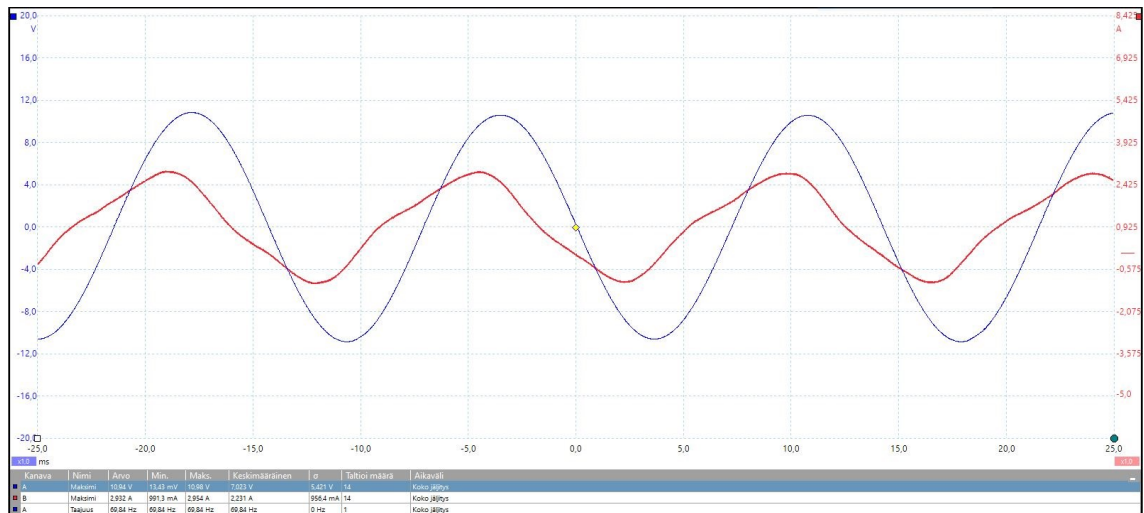
4.3 Vahvistimen ominaisuuksien mittaus

Äänentoistoa arvioitiin samankaltaisilla mittauksilla kuin pelkän soittimenkin kanssa. Samoilla mittauksilla tavoitteena oli löytää erillisen vahvistimen tuomia eroja äänessä.

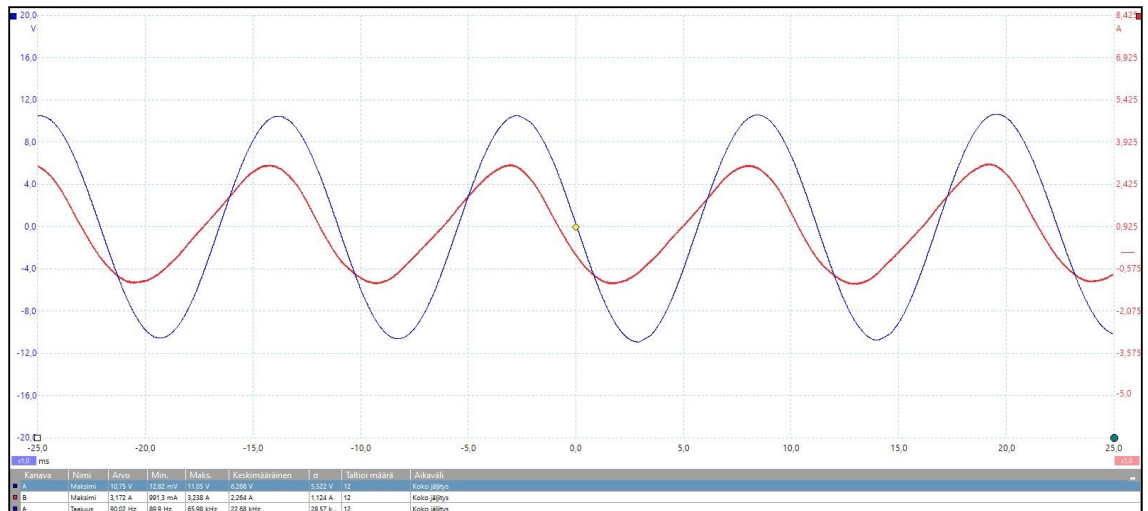
4.3.1 Signaalin laatu

Pioneer AVH-X5800DAB -soittimen RCA-liitäntään huippujännitteen mitattiin olevan 4 V. Vahvistimien gain-säätö suoritetaan RCA-väylän jännitteen mukaan. Säädöllä asetetaan siis vahvistimen signaalisyötön taso jännitteen mukaan, sillä ohjelmälähteiden analogiliitännöiden jännite voi vaihdella välillä 2–10 V. Kun gain on säädetty oikeaan arvoon, vahvistimelta ulos tuleva kaiutinsignaali ei säröydy.

Tarkkailtaessa siniaaltomuotoisen signaalin jännite- ja virtakuvaajia vahvistimen kaiutinliitännöistä, huomattiin kuvaajassa vahva häiriö. Häiriö poistettiin kuvaajasta alipäästösuotimella mittauksen aikana, jolloin saatiin mitattua aaltomuodot. Punainen kuvaaja esittää virtaa ja sininen jännitettä. Kuvasta 12 voidaan huomata virran harmonisuuden poikkeama, joka saattaa johtua vahvistimen heikosta virranantokyvystä. Ilmiö hävisi, kun taajuutta nostettiin 90 hertsiin (kuva 13). Käyttöjännite ei laskenut mittausten aikana alle 12 voltin. Samaa ilmiötä ei tapahtunut ilman erillistä vahvistinta, eikä signaali säröydy, sillä aaltojen huiput ovat symmetriset.

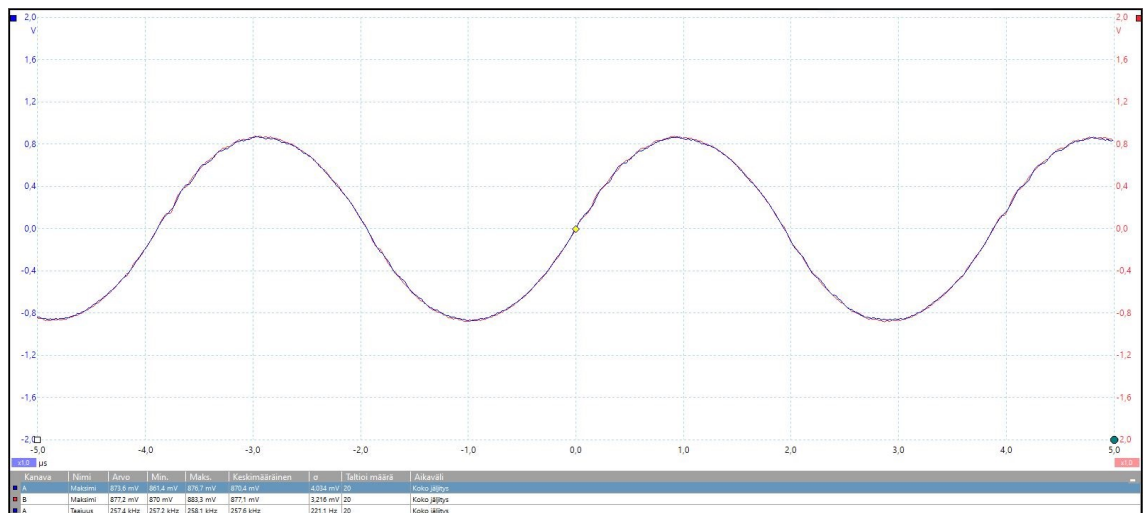


Kuva 12. Virta ja jännite 70 Hz:n taajuudella



Kuva 13. Virta ja jännite 90 Hz:n taajuudella

Signaalin häiriö poimittiin alipäästösuotimen avulla. Ohjelmalähde mykistettiin, eli se ei syöttänyt mitään signaalia vahvistimelle. Alipäästösuodattimen kynnystaajuutta nostettiin niin kauan, kunnes arvot nousivat nollassa. Lopulta riittävän tarkkuuden löytyessä mitattiin kuvan 14 jännitekuvaaja.



Kuva 14. Harmoninen särö

Häiriön jännite vaihteli 0,87 V:n ja -0,87 V:n välillä. Signaalissa oli siis 1,74 V jännitevaihtelua siniaaltosignaalin lisäksi. Tämä näkyi muissa kuvaajissa vaikeasti luettavana käyränä. Harmonisena kokonaissärönä tunnettu signaalin häiriö aiheuttaa äänentoistossa epäselvempää toistoa. Tässä tapauksessa häiriön taajuus oli 257,6 kHz, joten pelkkä häiriö ei ole kuultavissa. Särö aiheuttaa signaalissa ajan funktiona pisteitä, jolloin kaiuttimen kelassa kulkeva vaihtovirta käyttäytyy kuten tasavirta. Kaiutinpiirissä ei ideaalilanteessa esiinny tasavirtaa. Vahvistimen valmistaja ilmoittaa teholumemat 14,4 V käyttöjännitteellä, jolloin THD on 1 %.

4.3.2 Teho

Vahvistimen tehoksi ilmoitetaan 2 x 85 W. Kaiutinkaapelista mitattiin jännite ja virta (kuva 15). Mitatuista arvoista voidaan laskea tehoksi 68,0328 W.

Kanava	Nimi	Arvo	Min.	Maks.	Keskimääräinen	σ	Taltiointimäärä	Aikaväli
A	Maksimi	15,26 V	15,87 mV	15,84 V	10,58 V	7,231 V	20	Koko jäljitys
B	Maksimi	3,804 A	48,83 mA	4,295 A	2,68 A	1,848 A	20	Koko jäljitys

Kuva 15. Tehomittauksen mittakanavat

Erillisellä vahvistimella mitattiin myös häviöitä kaiutinkaapelissa. Tässä huomattiin, että vahvistimen lähtöjännitteen noustessa jännitehäviöt pienenevät. Samasta syystä esimerkiksi sähköjakaiverkko toteutetaan suurella jännitteellä. Mitatut lähtöjännitteet olivat noin 19 V, joka on suurempi luku kuin kuormallisessa tehomittauksessa. Kytettäessä kuorma vahvistimen virranantokyky heikkenee huomattavasti tai kaiuttimen rakenne ei salli suurempaa tehokulutusta. Kun vahvistimen ilmoitettu teho on suurempi mitattuun nähden, voidaan päätellä, että kaiuttimen X_{max} saavuttaa huippuarvonsa jo pienemmällä teholla. Tämä voitiin todeta myös kumisevasta äänestä. Ilmoitettu teho myös usein

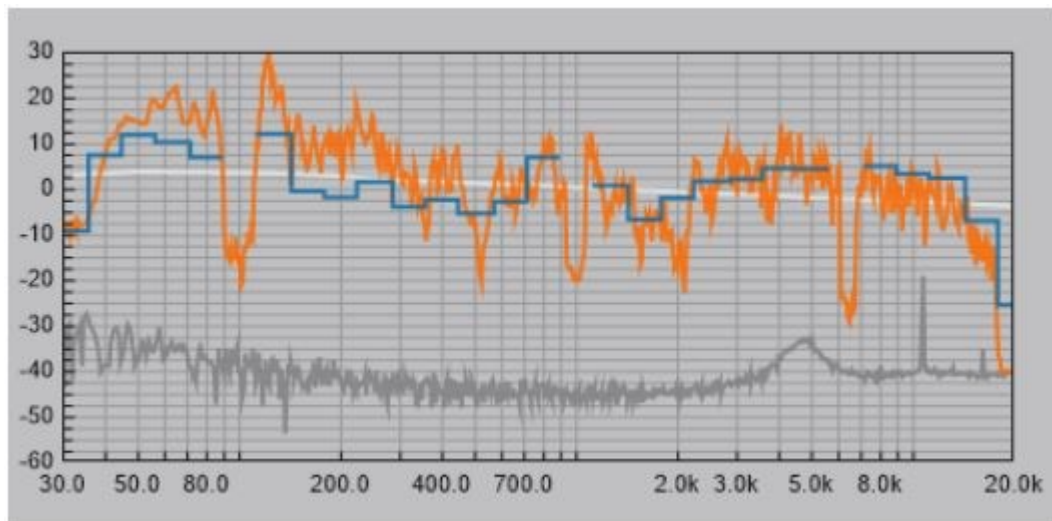
poikkeaa hieman todellisesta, kaiuttimella mitatusta tehosta, joten tuloksen voidaan katsoa olevan hyvin todenmukainen.

4.3.3 APM-mittaus

Autosta mitattiin myös sama akustinen suorituskyky kuin aiemmin. APM-mittauksella voidaan tarkastella toiston taajuusvastetta sekä poikkeamia äänenpaineessa taajuuksittain. Audison kertoo laitteen käyttöoppaassa, kuinka äänenlaatupisteet lasketaan. Kokonaispistemäärää voidaan siis käyttää suuntaa antavana lukemana.

Stereokuva autossa ei muuttunut lainkaan. Äänikentän keskipiste on tismalleen samassa kohdassa mittarin mukaan. Vahvistin ei muuta stereokuvaa, jos molemmat kanavat on säädetty samalle tasolle ohjelmalähteestä. Mittaustulos on siis validi. Koko raportti löytyy liitteestä 5.

Taajuusvaste tuli hyvin samankaltaiseksi kuin pelkällä soittimellakin. Kuvassa 16 huomattavia eroja on ainoastaan alueen 150 Hz – 300 Hz tasaisempi käyrä, suuremmin laskeva toisto 19 kHz:n kohdalla sekä yleinen tasaisuus keskiarvona.



Kuva 16. Taajuusvastemittaus

Toistosta saatiin uusi kokonaispistekuvaaja. Huomattavaa on, että Total Music Distortion pisteet laskivat 0,1 pistettä. Tämä johtuu suuremmasta säröstä keski-taajuusalueella. Syynä tähän voi olla takakaiuttimien poisto. Kun 2-tiesarjassa ei ole erillistä keskiäänikaiutinta, joutuu midbasso toistamaan hyvin suuren taajuuskaistan. Tehon lisääntyessä, vaikutus näkyy eniten alimmilla taajuuksilla, jolloin liikepoikkeama on kaiuttimessa keskimäärin suurempi. Kuvassa 17 nähdään pisteytys. Äänenpainepoikkeamat laskivat kuitenkin keskimäärin, mikä selittää tasaisemman taajuusvastekuvaajan sekä korvakuulolla pehmeämmän äänen.

Total Music Distortion		84.4
Distortion		6.9%
Low frequency		3.3%
Mid frequency		9.7%
High frequency		4.5%
Alteration		8.3 dB
Average [20-20k]		5.7 dB
Maximum [20-20k]		21.8 dB
Average [80-10k]		4.6 dB

Kuva 17. APM-pistetaulukko

4.3.4 Äänenpaine

Äänenpainemittauksessa huomattiin sama ilmiö kuin tehomittauksissa. Suurimaksi äänenpaineeksi saatiin 117 dB taajuudella 54 Hz. Suurin äänenpaine oli siis sama kuin ilman erillistä vahvistinta. Tässä täytyy ottaa kuitenkin huomioon kanavien määrä. Erillinen vahvistin on kaksi kanavainen, eli takakaiuttimet eivät soineet ollenkaan. Käytännössä siis kartiopinta-ala puolittui, mutta äänenpaine pysyi samana. Suuremmilla taajuuksilla äänenpaineessa huomattiin 1 dB laskua, mikä tukee ongelmaa vertaillessa ääntä poikkeavalla kaiuttimien määrällä.

5 Välikaapeleiden vaihto ja ovien akustointi

Välikaapeleiden vaihdolla ja ovien akustoinnilla tarkoitetaan kaiutinkaapeleiden vaihtoa sekä äänenvaimennuslevyjen liimaamista auton pintoihin. Tämä vaihe suoritettiin molempiin etuoviin. Lisäksi kaiutinkaapeli vaihdettiin myös toiseen takaoveen, jotta saatiin takakaiuttimelta vertailukelpoisia mittaustuloksia.

5.1 Kaiutinkaapeleiden vaihto

Kaiutinkaapelit vaihdettiin Supra PLY 2.0 mm²-mallisiin parikaapeleihin. Kaapelin etuna materiaalivalinta sekä rakenne. PLY-kaapeli on valmistettu tinatusta happivapaasta kuparista. Johtimet on punottu kaapelin sisälle litteään muotoon. Kaapelin sisällä kulkevia johtimia ei siis ole muotoiltu perinteisesti pyöreäksi poikkileikkaukseltaan. Lisäksi kaapelissa on paksu PVC-kuori. (Supra PLY 2x2.0.)

Kaapelin pituus on etuovissa 2,3 m ja takaovessa 3,5 m. Kaapeli reititettiin kulkemaan vakiojohtosarjaa mukaillen, jotta pituus olisi sama kuin alkuperäisenä. Kaiutinkaapeli liitettiin vakioliittimiin ovelta ja suoraan vahvistimeen toisessa päässä. Näin häviöitä aiheuttavien liittinten määrää saatiin rajoitettua.

Kaiutinkaapelin ominaisuudet merkittiin taulukkoon 8. Merkittäviä etuja kaapelissa ovat säikeiden suuri määrä, materiaali, joka estää kuparin hapettumista sekä matala vastus ja induktanssi.

Taulukko 8. Supra PLY -kaiutinkaapelin ominaisuudet (Supra PLY 2x2.0)

Poikkipinta-ala	2 mm ²
Säikeiden määrä per	120
Johtimen halkaisija	0,15 mm
Materiaali	Tinapäälysteinen happivapaa
Kuoren materiaali	Kuumaa kestävä PVC
Tasavirtavastus	8,1 ohm/km
Induktanssi	0,30 µH/m

Etukaiutinkaapelista voidaan laskea 2,3 m:n pituudella tasavirtavastus, joka on 0,01863 Ω . Lisäksi induktanssiksi saadaan 0,69 μH . Ilmoitettujen arvojen perusteella PLY-kaapelin tasavirtavastus olisi 10 kertaa pienempi kuin vakiokaapelissa.

5.2 Ovien akustointi

Ovien akustointi suoritettiin liimaamalla kahta erilaista vaimennuslevyä etuovien pintoihin. Takaovien vaimennus ei ollut tarpeellista, sillä äänenlaatua arvioitaessa takakaiuttimet ovat poistettu käytöstä. Ulkopeltiin liimattiin Etonin valmistamaa, 2,2 mm paksua butyylikumimattoa (kuva 18). Ovessa oli alkuperäinen jäykistävä vaimennusmatto, joka peitti pinta-alasta noin 20 %. Yleisesti 70 %:n peittoa pidetään täyden vaimennustehon vaimennuksena.



Kuva 18. Ulkopellin vaimennus

Sisäpelti vaimennettiin samalla vaimennusmatolla kuvan 19 mukaisesti. Sisäpellin merkitys äänentoistossa on eristää kotelo, mutta tässä tapauksessa läpiviennit ja tiivisteet olivat tiiviitä. Vaimennus suoritettiin siis resonanssin poistamiseksi kaiuttimen asennuspinnalta.



Kuva 19. Sisäpellin vaimennus

Ovipahviin sekä kaiuttimen taakse liimattiin saman valmistajan yhdistelmämattoa. Tässä butyylikumin päällä on huokoinen vaahtomuovikerros, joka ei kuitenkaan ime vettä. Kuvassa 20 näkyy yhdistelmämatto liimattuna ovipahviin.



Kuva 20. Ovipahvin vaimennus

5.3 Äänentoistoa arvioivat mittaukset

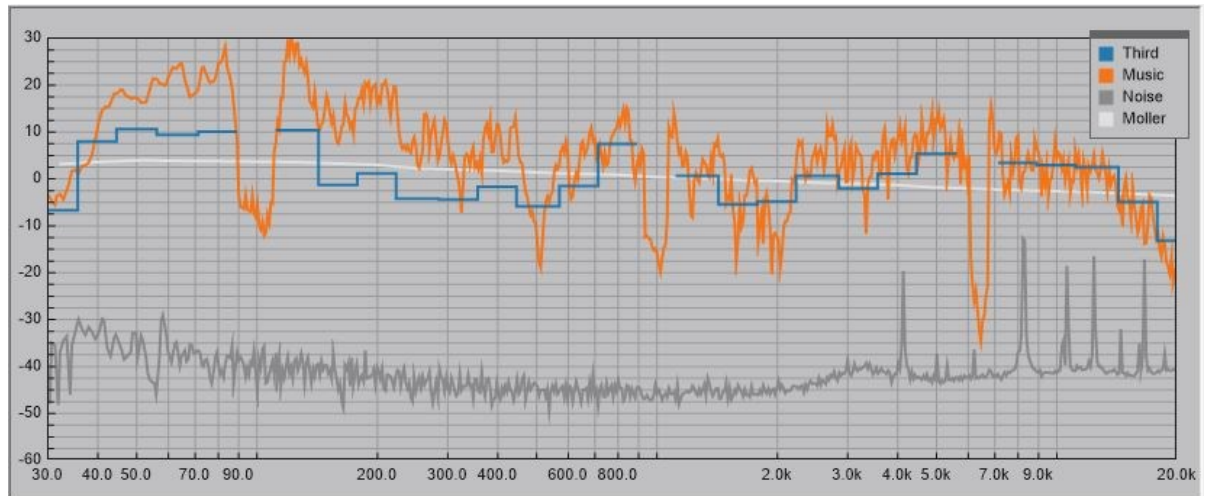
5.3.1 APM-mittaus

Ovien vaimennusten ja kaiutinkaapeleiden vaihdon jälkeen suoritettiin APM-mittaus. APM-mittalaitteen pisteytys nähdään kuvassa 21. Tästä voidaan päätellä vasteen korostumien vähentyminen, mikä tarkoittaa neutraalimpaa sointia. Täysin vakiolaitteistoon verrattuna ero on jo huomattava, sillä suurin vaihtelu välillä 20 Hz – 20 kHz on vähentynyt 10,4 dB. Tämä mittaus suoritettiin kahdesti tuloksen varmistamiseksi. Huomioitavaa on myös särön määrän pieni nousu. Tämä voi johtua monesta tekijästä, mutta varsinaisesti passiivikomponentit eivät lisää säröä. Vastaava muutos voidaan havaita esimerkiksi koskettamalla vahvistimen gain-säätöä, joten muutos voi johtua asennuksen aikaisesta vahvistimen liikutamisesta.

Total Music Distortion	85.9
Distortion	7.6%
Low frequency	4.5%
Mid frequency	10.9%
High frequency	3.8%
Alteration	5.7 dB
Average [20-20k]	5.0 dB
Maximum [20-20k]	9.9 dB
Average [80-10k]	4.5 dB

Kuva 21. APM-pistetaulukko

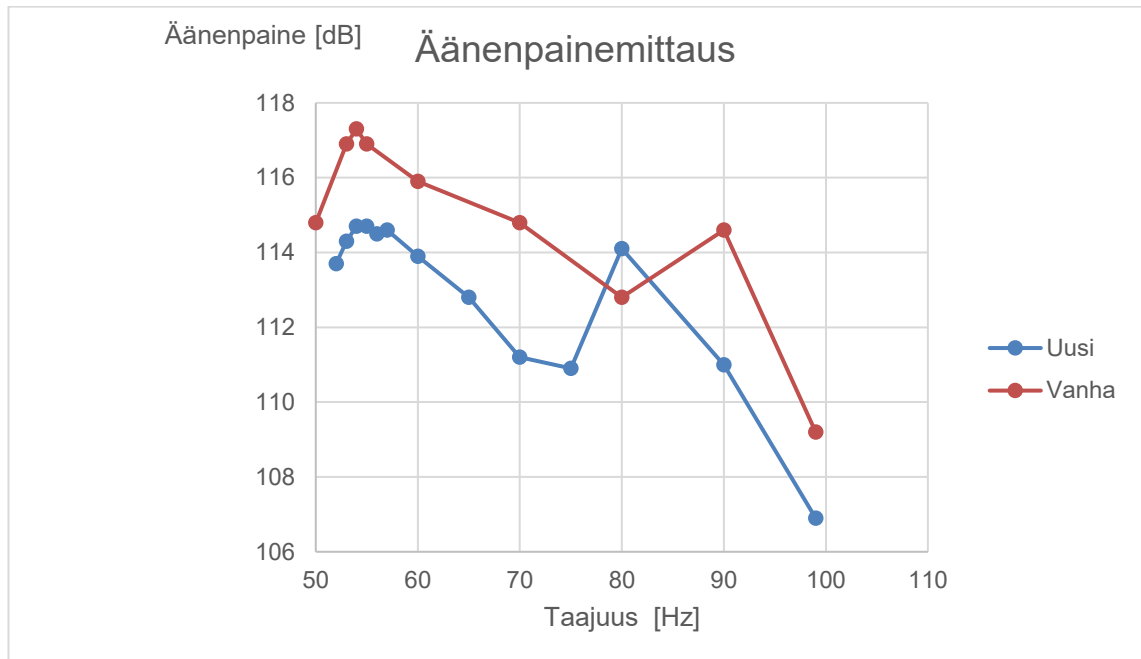
Vasteen kuvaaja (kuva 22) näyttää hieman tasaisemmalta kuin edellisessä mitauksessa ilman vaimennusta ja kaapeleita. Huomattavia muutoksia ovat mm. alle 100 Hz:n taajuuskäyrän loivempi nousu melkein 0 dB:n tasosta alkaen. Aiemmin toisto vaimentui huomattavasti 40 Hz:n jälkeen. Lisäksi ylimmillä taajuuksilla toisto yltää 20 kHz:iin saakka hieman vaimentuen, kun aiemmin kaiuttimet lopettivat toiston kokonaan noin 18–19 kHz:n paikkeilla. Koko mittausraportti on nähtävillä liitteessä 6.



Kuva 22. Taajuusvastemittaus

5.3.2 Äänenpaine

Äänenpaine mitattiin jälleen painottomalla dB-mittarilla. Äänenpaineen muutoksiin vaikuttaa vain ovien äänieristys, sillä suurimmat äänenpaineet sijoittuvat matalille taajuuksille. Kuvassa 23 nähdään sinisenä käyränä vaimennuksen ja kaapeleiden vaihdon jälkeinen mittaus ja punaisena käyränä vakiolaitteistolla tehty mittaus. Kuvasta voidaan todeta äänieristeiden vaimentavan hieman korostuneita alueita. Lisäksi huippupisteet sijaitsevat hieman matalemmilla taajuuksilla, mikä edistää laitteiston toimivuutta musiikkia kuunnellessa. Ihmiskorvan herkkyys pienenee, mitä matalampia taajuuksia toistetaan.

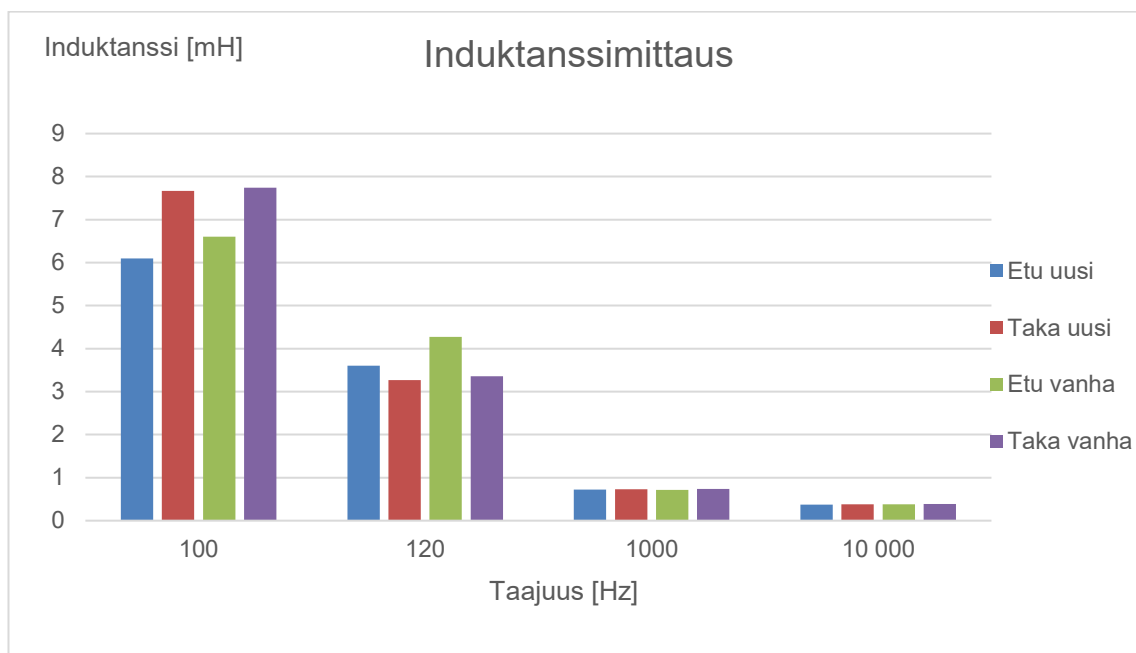


Kuva 23. Uusi äänenpainemittaus

5.3.3 Kaapeleiden mitatut sekä lasketut ominaisuudet

Ensimmäisenä kaiutinkaapeleista mitattiin tasavirtavastus. Tämä arvo etuovessa oli 17,8 mΩ ja takaovessa 32,98 mΩ. Vastukset mitattiin kerrallaan vain toisesta parikaapelin johtimesta, joten piirin todellinen vastus sisältää mitatun arvon kaksinkertaisena. Takaoven kaiutinkaapelin pituus oli 3,5 m ja molemmat mittaukset suoritettiin liittimet mukaan lukien. Mittausten suuruusluokan perusteella valmistajan ilmoittama vastusarvo on siis todenmukainen.

Seuraavana mitattiin kaiutinpiirien induktanssit. Vertailukelpoisen tuloksen saamiseksi mittaus suoritettiin midbassojen kanssa, kuten aiemminkin. Kuvassa 24 on esitettyä uudet mittaustulokset ja vertailun vuoksi vanhat mittaustulokset.



Kuva 24. Uusi induktanssimittaus

Mittauksen perusteella voidaan siis todeta, että suuremmalla taajuudella induktanssi laskee merkittävästi. Lisäksi 120 Hz:n taajuudella takakaiutinpiiriin induktanssi on pienempi kuin edessä, vaikka kaiutinkaapeli on pidempi. Tämä johtuu kaiuttimen tai liittimen ominaisuuksista. Kaiutinkaapeleiden vaihdolla saatiin kuitenkin induktanssia pienennettyä sekä edessä että takana.

Induktanssien avulla voitiin laskea jälleen induktiiviset reaktanssit X_e ja X_t , jotka näkyvät taulukossa 9.

Taulukko 9. Uudet induktiiviset reaktanssit

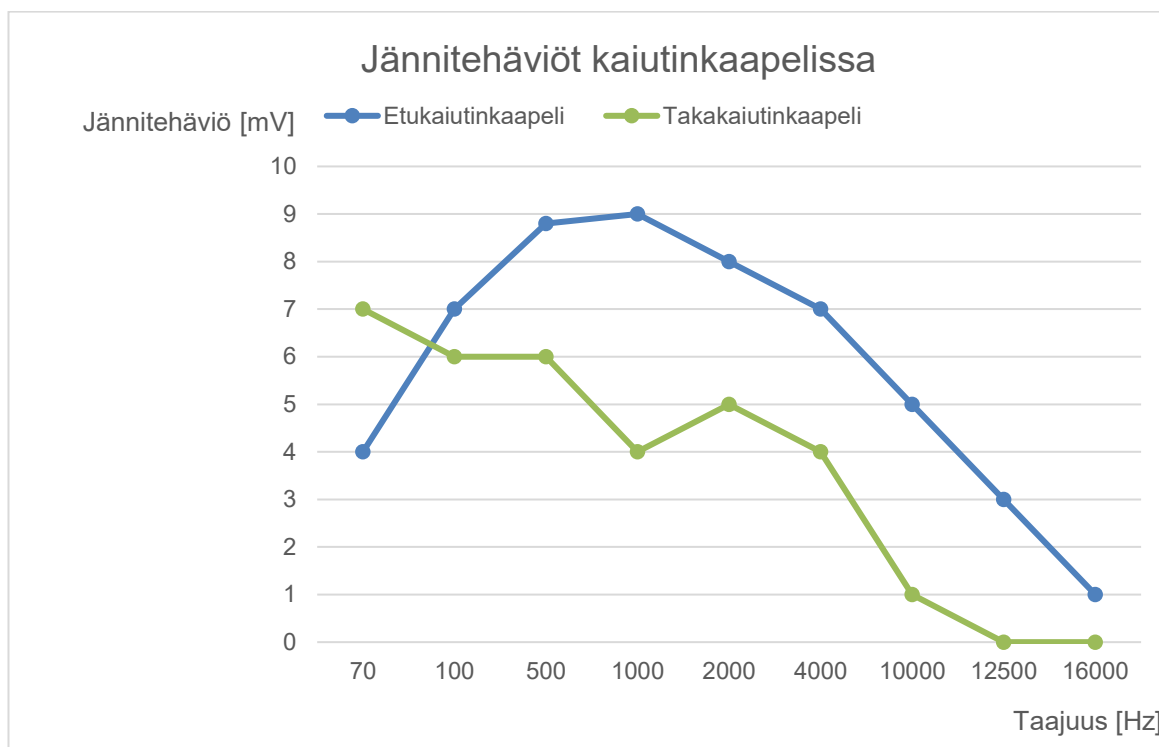
F[Hz]	X_e [Ω]	X_t [Ω]
100	3,8327	4,8192
120	2,7143	2,4655
1000	4,5264	4,5936
10000	23,6474	23,8422

Induktiivisten reaktanssien avulla voitiin taas laskea kaiutinpiirien impedanssit mittataajuuksilla. Impedanssi laskettiin kaavalla 5. Laskennassa käytettiin koko piirin resistanssia sekä edellä laskettuja induktiivisia reaktansseja. Koska kapasitanssi on lähes nolla, ei sitä oteta laskennassa huomioon. Kaiutinpiirin ylipäästösuotimena toimiva kondensaattori häiritsee mittaustulosta, joten diskantin piiri jätettiin laskennassa huomiotta. Diskantin kaiutinkaapeli on pituudeltaan vain alle puoli metriä, joten vaikutus on erittäin pieni. Alla olevassa taulukossa 10 on esitettyinä lasketut impedanssit Z_E ja Z_T .

Taulukko 10. Kaiutinpiirien impedanssit

F [Hz]	Z_E [Ω]	Z_T [Ω]
100	4,8893	5,6070
120	4,0722	3,7805
1000	5,4501	5,4144
10000	23,8414	24,0138

Tämän jälkeen mitattiin vielä kuormaton jännitehäviömittaus. Mittaus suoritettiin samalla tavalla kuten vakiokaapeleidenkin kanssa liittimet mukaan lukien. Jännitteet mitattiin sekä vahvistimen että kaiutinkaapelin päistä ja erotukset listattiin taulukkoon. Kuvassa 25 nähdään taulukon etu- ja takakaiutinkaapeleiden häviöt taajuuden funktiona.



Kuva 25. Jännitehäviöt uusissa kaapeleissa

Mittauksessa takakaiutinkaapelin hankalasta sijainnista johtuen tuloksissa näkyy poikkeamat 1000 Hz:n ja 12,5 – 16 kHz:n alueilla. Pienempi häviö johtuu todennäköisesti paremmasta kaapelin liitoksesta verrattuna etukaiutinpiiriin. Koska suuruusluokka on kuitenkin sama, voidaan tuloksia käyttää vakiokaapeleihin verrattaessa.

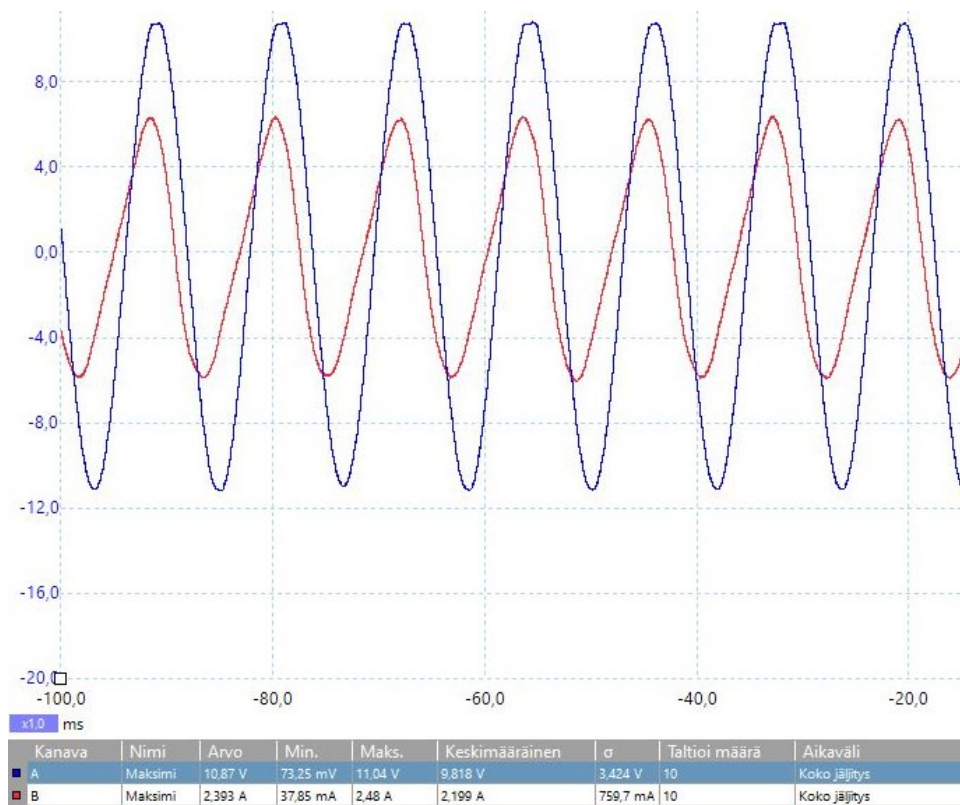
6 Vahvistintehon vähentäminen

Vahvistin asennettiin helposti irrotettavaksi, joten kaiutinkaapelit saatiin kytkettyä pelkän soittimen liitäntöihin. Ilman erillistä vahvistinta tehdyistä mittaustuloksista on tarkoitus tutkia, onko pelkkien passiivikomponenttien asennuksesta hyötyä pienellä teholla.

6.1 Kaapeleiden ja akustoinnin merkitys pienellä teholla

Kaapeleiden ja akustoinnin vaikutusta pienellä teholla mitattiin samalla tavalla kuin aiemmin. Virtapiirin ollessa sama ei impedanssissa tapahdu muutoksia. Näin ollen vaikutuksia mitattiin vain teho-, taajuusvaste- ja äänenpainemittauksilla.

Kaapelit vaikuttavat tehohäviöihin. Näitä voitiin arvioida parhaiten uudella maksimitehomittauksella, sillä normaalikuuntelussa teho on liian pieni häviöiden huomaamiseen. Tehoja mitattiin etukanavasta mittaamalla virta sekä jännite kaiutinlähdeä kuorma kytkettynä. Mittauksessa suurimmaksi tehoksi laskettiin 27,38 W 85 Hz:n taajuudella. Myös akustoinnin vaikutus tehomuutoksiin on huomattava. Kaiuttimen koteloinnin muokkaus muuttaa tehokkainta taajuusaluetta sekä vastustamalla kartion liikettä nostaa suurinta tehoa. Kun kotelon ilma vastustaa liikettä, eivät kaiuttimen sähköiset tai mekaaniset rajat tule vastaan yhtä nopeasti. 85 Hz:n jännite- ja virtakuvaaja nähdään kuvassa 26.



Kuva 26. Virta- ja jännitekuvaaja 85 Hz:n taajudella

Kun soittimen jännitesyöttö pysyy samana, ei sen ottama teho myöskään muutu. Uudella huipputeholla laskettuna neljällä kanavalla huomataan, että ulostuleva teho on suurempi kuin soittimen ottama teho, mikä ei vastaa todellista tilannetta. Näin ollen kanavakohtaisesta huipputehosta ei voi suoraan laskea koko soittimen antamaa tehoa. Huomattavaa on myös, että oskilloskoopilla ei voida tarkasti mitata pätötehoa eli varsinaista työtä tekevää tehoa. Mittaukset ovat kuitenkin keskenään verrannollisia, joten niistä voidaan vertailla muutosten vaikutuksia.

6.2 Äänentoistoa arvioivat mittaukset

Äänentoistoa arvioitiin jälleen APM-mittauksella ja äänenpainemittauksella. Mittauksissa laitteisto oli siis soitin ilman erillistä vahvistinta ja vaihdetuilla

kaiutinkaapeleilla sekä äänieristeillä. Koska kaiutinkaapelit olivat samat kuin edellisessä osiossa, eivät kuormien sähköiset ominaisuudet enää muuttuneet. Muutokset johtuvat soittimen vahvistimen ominaisuuksista, sekä takakaiuttimien lisäyksestä mittauksiin.

6.2.1 Taajuusvaste

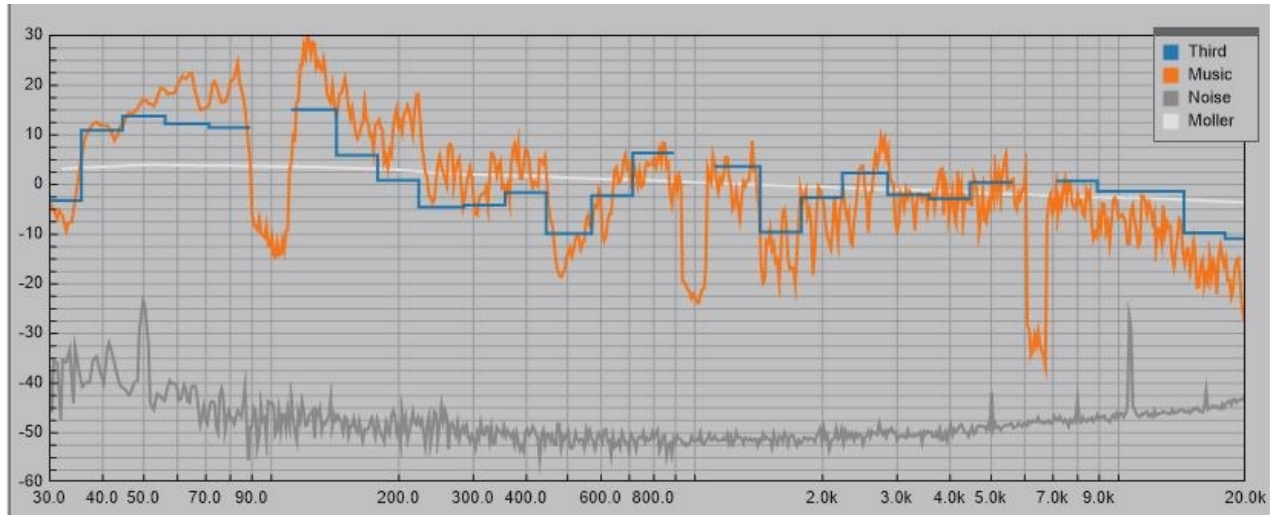
APM-mittaus suoritettiin samoilla asetuksilla kuin aiemminkin. Kuvassa 27 nähdään uusimman mittauksen tulos ja kuvassa 28 taajuusvastekuvaaja. Kaikissa APM-mittauksissa stereokuva pysyi samassa kohdassa. Tällä pystyttiin vielä varmistamaan jokaisen kaiuttimen toiminta, sillä stereokuvan muutos osoittaa virheen mittauksessa, mikäli asetuksia ei ole muutettu. Koko mittausraportti nähdään liitteessä 7.

Score

Total Music Distortion	86.9
Distortion	6.6%
Low frequency	3.8%
Mid frequency	8.9%
High frequency	4.4%
Alteration	6.2 dB
Average [20-20k]	5.2 dB
Maximum [20-20k]	11.5 dB
Average [80-10k]	4.6 dB

Kuva 27. Viimeisen mittauksen tulos

Tuloksesta huomataan parempi pisteytys kuin aiemmin. Säröjen määrät ovat pienempiä, mutta dB-vaihtelut suurempia. Tulokset ovat kuitenkin hyvin samankaltaiset kuin aiemminkin, joten mittauksen voidaan katsoa onnistuneen.



Kuva 28. Viimeisen mittauksen vaste

Taajuusvasteessa huomataan nopea pudotus noin 35 Hz:n kohdalla. Suurempia poikkeavia muutoksia ei havaita, joten tulos on vertailukelpoinen.

6.2.2 Äänenpaine

Pelkällä soittimella ja vaihdetuilla kaiutinkaapeleilla ja lisätyillä äänieristeillä saatiin suurimmaksi äänenpaineeksi 117,5 dB. Taulukossa 11 on listattuna mitatut äänenpaineet taajuuskohtaisesti.

Taulukko 11. Mitatut äänenpaineet vakiosoittimella ja uusilla kaiutinkaapeleilla sekä äänieristeillä

Taajuus [Hz]	Max. dB
52	117,1
53	117,5
54	117,3

55	116,6
56	116,4
57	116,2
60	115,4
65	114,3
70	112,3
75	111
80	113,7
90	112,2
99	106,9

7 Mittaustulosten vertailu

Mittaustuloksia voidaan vertailla neljällä eri kokoonpanolla: vakiolaitteisto soittimen vahvistimella, vakiolaitteisto erillisellä vahvistimella, vaihdetut kaiutinkaapelit ja akustointi erillisellä vahvistimella sekä vaihdetut kaiutinkaapelit ja akustointi pelkällä soittimen vahvistimella.

7.1.1 Kaiutinkaapelit ja niiden ominaisuudet

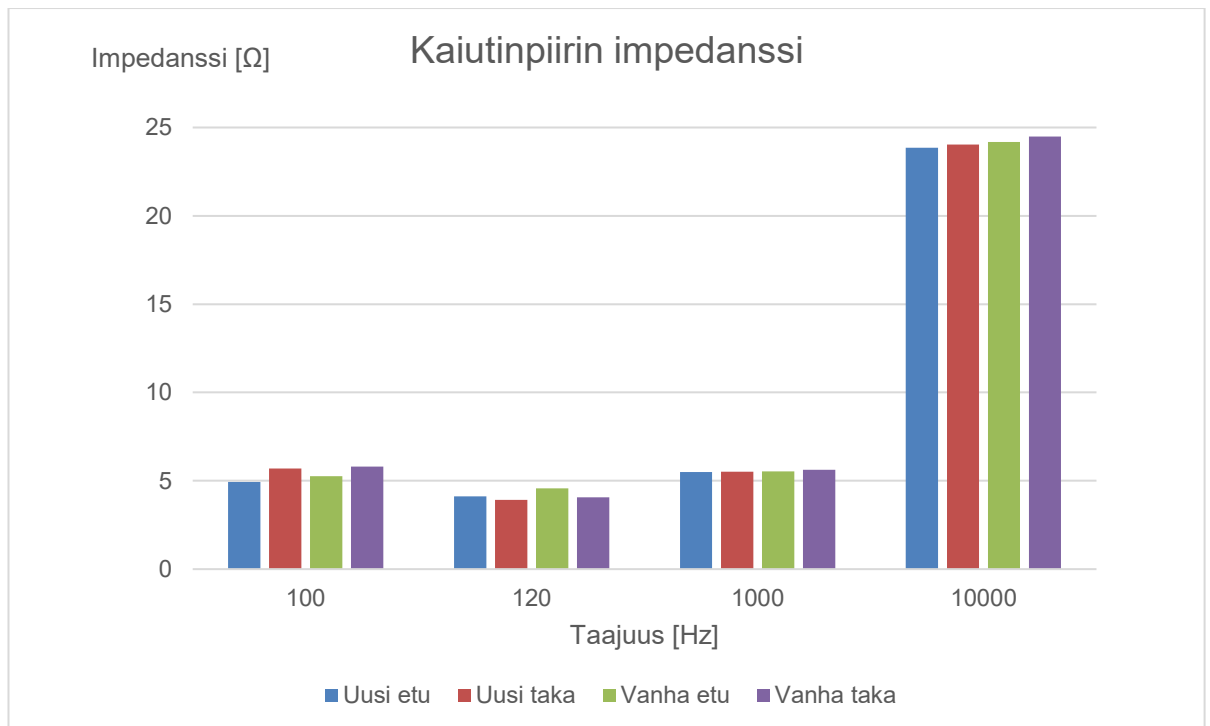
Kaiutinkaapeleiden mitattavia ominaisuuksia olivat tasavirtavastus, induktanssi sekä jännitehäviöt. Näistä induktanssi mitattiin koko kaiutinpiiristä. Tasavirtavastus mitattiin sekä erikseen kaapeleista että kaiuttimesta ottaen liittimet huomioon. Mitatuilla induktansseilla, resistansseilla ja lasketuilla reaktansseilla saatiin taas laskettua impedanssit.

Suurin ero kaiutinkaapeleissa on tasavirtavastus. Tasavirtavastukset ovat lueteltu puolittain taulukkoon 12. Uudella tarkoitetaan Supra PLY -kaiutinkaapeleita ja vanhalla vakiokaapeleita.

Taulukko 12. Tasavirtavastukset

Puoli	Vastus [Ω]	
	Vanha	Uusi
Etu	0,24416	0,0356
Taka	0,3746	0,06596

Impedanssi on suurin vaikuttava tekijä vaihtovirtapiirissä, sillä se on vaihtovirtaa vastustava suure. Kuvassa 29 nähdään muutokset piirin impedanssissa. Termillä uusi tarkoitetaan vaihdettuja kaiutinkaapeleita ja vanhalla tarkoitetaan va-kiokaapeleita.



Kuva 29. Kaiutinpiirien impedanssit taajuuskohtaisesti

Kuvassa käytetyt lasketut impedanssit ovat poimittu taulukoista 13 ja 14. Näistä taulukossa 13 on lueteltu uudet impedanssit ja taulukossa 14 vanhat impedanssit.

Taulukko 13. Uudet lasketut impedanssit taajuuskohtaisesti

F [Hz]	Ze [Ω]	Zt [Ω]
100	4,9326	5,6985
120	4,1242	3,9149
1000	5,4890	5,5090
10000	23,8504	24,0353

Taulukko 14. Vanhat lasketut impedanssit taajuuskohtaisesti

F [Hz]	Ze [Ω]	Zt [Ω]
100	5,2651	5,8087
120	4,5726	4,0589
1000	5,5266	5,6242
10000	24,1770	24,4874

Suurin impedanssimuutos havaitaan etukaiuttimen piirissä taajuudella 120 Hz, jolloin muutos on 0,4484 Ω . Ohmin lain perusteella suurempi vastus aiheuttaa pienemmän virran, jos jännite on vakio. Tällöin sähkötehon laskukaavan perusteella teho pienenee. Esimerkiksi jos vahvistin kykenee tuottamaan tasaisen 10 V:n vaihtojännitteen taajuudella 120 Hz, on virta uusilla kaapeleilla 2,4247 A ja vanhoilla kaapeleilla 2,1869 A. Näin ollen laskettu tehohäviö on 2,378 W, joka voi olla herkillä kaiuttimilla kuultava ero. Esimerkki on laskettu teoreettisella maksimiteholla siniaaltosignaali, joten musiikin kuuntelussa ero on kuitenkin pieni.

Jännitehäviöt mitattiin kuormattomana, jolloin sähkövirran aiheuttamaa vastuksen muutosta ei voida ottaa huomioon. Nämä mittaustulokset siis pätevät ilman dynaamista kuormaa, joten parempi vastusta ilmaiseva ominaisuus on impedanssi. Mitattujen jännitehäviöiden suuruusluokka oli sama, ja mittaustulokset vaihtelivat vain millivoltin kymmenyksen verran.

7.1.2 Vahvistimet ja niiden ominaisuudet

Vahvistimien ominaisuuksista verrattavissa ovat kanavakohtaiset tehot. Soittimen tuottama suurin kanavakohtainen teho oli vaihdetuilla kaapeleilla ja akustoinnilla 27,38 W ja erillisellä vahvistimella 68 W. Teoreettisilla maksimitehoilla kanavien määrä huomioiden on soittimen suurin teho 109,52 W ja erillisen vahvistimen 136 W.

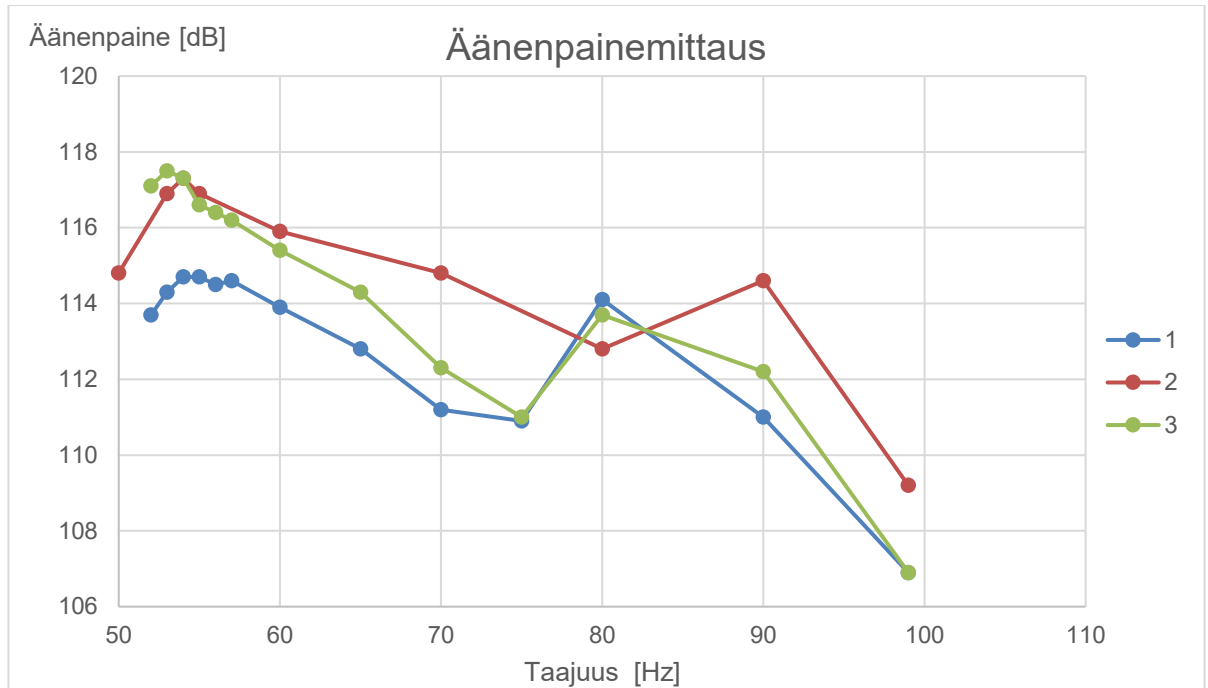
7.1.3 Kaiuttimien kotelointi ja akustiikka

Kaiuttimet olivat vakiona akustisesti hyvin suunnitellussa kotelossa, eli oven rakenne salli tasaisen toiston. Akustoinnilla pyrittiin vähentämään seisovia aaltoja, jäykistämään rakennetta ja tiivistämään välipeltiä kaiutinpinnasta. Näiden muutosten hyödyt voidaan todeta äänentoistoa arvioivista mittauksista. Oveen liimattu pehmeä vaimennusmatto vaimensi hiukan alimpien taajuuksien toistoa, mutta teki samalla taajuusvasteesta tasaisemman, mikä voidaan pitää musiikin-toistossa toivottavana ominaisuutena.

7.1.4 Äänentoistoa arvioivat mittaukset

Äänentoistoa arvioitiin äänenpainemittauksella ja APM-mittalaitteella. Äänenpainetta mitattiin dB-mittarilla ilman painotusta, jotta eroavaisuudet ovat kuulijasta riippumattomia. Kuvassa 30 on kuvattuna äänenpainekäyrät taajuuskohtaisesti välillä 50 Hz – 100 Hz. Kuvaajasta voidaan todeta, että paras tulos mitattiin erillisellä vahvistimella uusien kaiutinkaapeleiden ja akustoinnin kanssa. Tämän vastekäyrä on tasaisempi verrattuna soittimella mitattuihin äänenpaineisiin. Huomioitavaa on myös soittimen, kaapeleiden ja akustoinnin aiheuttamat suuremmat äänenpainevaihtelut käyrässä 3. Vakiosoitin siis korostaa selvästi 55 Hz:n ja 90 Hz:n taajuusalueita. Kaikissa mittauksissa huomataan korostuma 80 Hz taajuudella, mikä voi johtua auton korin akustiikasta. Käyrä 1 on erillisellä

vahvistimella, Supra-kaiutinkaapeleilla ja akustoinnilla, 2 on vakiolaitteistolla ja 3 on soittimella yhdessä Supran kaiutinkaapelien ja akustoinnin kanssa mitattuna.



Kuva 30. Äänenpaineverailu

Toinen äänentoistoa vertaileva mittaus oli APM-mittaus. Äänentoistoa voidaan vertailla APM-mittauksen pisteytyksellä sekä taajuusvastekuvaajalla. Taulukossa 15 on listattuna APM-mittauksen TMD-pisteytykset. Stereokuvan pisteytystä ei oteta huomioon, sillä se ei ole muuttunut missään tilanteessa. Pisteen ovat listattu mittausjärjestyksessä.

Taulukko 15. APM-pistetulokset

Mittaus	Pisteet
1	84,5
2	84,4
3	85,9
4	86,9

Tuloksista voidaan huomata, että pelkän vahvistimen lisäys mittauksessa 2 ei parantanut äänentoistoa itsessään. Äänentoisto parantui vasta mittauksen 3 jälkeen, jolloin lisättiin Supran kaiutinkaapelit ja Etonin äänenvaimennusmateriaalit. Viimeisessä mittauksessa 4 tulos parantui edelleen. Tämä johtuu pelkän soittimen pienemmästä särön määrästä. Vaihtelut äänenpaineessa nousivat hie- man, mutta tulokset olivat hyvin samankaltaiset erillisen vahvistimen kanssa.

Suurimmat kaiutinkaapeleista johtuvat erot huomattiin tehomittausten aikana, sekä taajuusvastekuvaajassa. Kaiutinkaapeleiden vaihdon jälkeen vaste jatkui 20 kHz:iin asti molemmissa mittauksissa sekä erillisellä vahvistimella että ilman. Vaimennusten vaikutus huomattiin alataajuuksien toistossa pienempänä vaihteluna. APM-mittarin mukaan äänenpaineen vaihtelu vähentyi suurimmillaan noin 10 dB.

8 Yhteenveto

Työn tarkoituksena oli löytää auton äänentoistosta kuultavia sekä mitattavia eroja tekemällä yleisiä mutta kiisteltyjä muutoksia. Kaiutinkaapeleiden vaihto ja äänieristeiden lisääminen ovat yleisesti tunnettuja äänentoistoon vaikuttavia tekijöitä, mutta usein perustelut ovat epäselviä tai kuuloperusteisia.

Työn järjestys oli looginen päivitysvaihtoehtojen kannalta: referenssiarvojen mit- taus vakiolaitteistosta, erillisen vahvistimen eli tehon lisääminen vakiokaape- leilla ja vaimennuksilla, kaiutinkaapeleiden vaihto ja äänieristeiden asennus eril- lisellä vahvistimella sekä vahvistimen poisto ja mittaukset vaihdetuilla passiivi- komponenteilla soittimen vahvistimella.

Mittausten aikana huomattiin, että jokainen muutos vaikutti äänentoistoon. Vah- vistimen osuus mittauksissa ei ollut täysin vertailukelpoinen sellaisenaan, sillä vahvistimessa oli vain kaksi kanavaa käytössä. Kuitenkin vertailussa huomattiin takakanavien kompensoivan pienempää kanavakohtaista tehoa. APM-

mittalaitteella kanavien vaikutusta ei voitu huomioida, sillä stereokuvan mittaus on kaksiulotteinen.

Suurimmat kuultavat vaikutukset äänentoistossa johtuivat äänieristeiden asenuksesta. Tämä ilmeni pienempänä äänenpainevaihteluna sekä tasaisempaa taajuusvastekuvaajana. Kaiutinkaapeleiden vaikutus oli suuri sähköisissä mitauksissa, sekä taajuusvasteen korkeimmilla taajuuksilla. Kaapeleilla saatiin siis toisto yltämään aiempaa korkeammille taajuuksille. Kaiutinkaapeleiden vaikutus impedanssiin oli huomattava, enimmäkseen melkein kuusi kertaa pienemmän tasavirtavastuksen ansiosta.

Mittausten ja kuuloarvioiden sekä impedanssilaskujen perusteella voidaan todeta, että äänenvaimennuksilla ja kaiutinkaapeleilla on molemmilla sekä kuultavia, että mitattavia vaikutuksia äänentoistoon. Nämä ovat nykypäivänkin autoissa ominaisuuksia, joita ei saa parannettua edes lisävarusteisilla äänentoistojärjestelmillä.

Lähteet

Ballou, Glen. 2009. Electroacoustic Devices: Microphones and Loudspeakers. E-kirja. Routledge.

Battle of the sound. Verkkoaineisto. Sony UK. <<https://www.sony.co.uk/electronics/hi-res-audio-mp3-cd-sound-quality-comparison>>. Luettu 23.9.2021.

Eton. Eton Micro 120.2. Verkkoaineisto. < <https://www.eton-gmbh.com/en/products/car-hifi/amplifiers/product/micro-1202/>>. Luettu 19.1.2022

Hussain, Zahir M; Sadik, Amin Z & O'Shea, Peter. 2011. Digital Signal Processing. E-kirja. Springer.

Jenving. Supra Classic 2 x 2.5. Verkkoaineisto. <<http://www.jenving.com/products/view/classic-2x2.5-1000000628>>. Luettu 30.9.2021

Jenving. Supra EFF-I Audio Blue B50. Verkkoaineisto. <<http://www.jenving.com/products/view/eff-i-audio-blue-b50-1001800141>>. Luettu 5.10.2021.

Jenving. Supra PLY 2X2.0. Verkkoaineisto. < <http://www.jenving.com/products/view/ply-2x2.0-1000000669>>. Luettu 29.12.2021.

Kairinen, Kirsi (toim.). 2013. MAOL taulukot. 1.–3. painos. Helsinki: Otava.

Kazimierczuk, Marian K. 2014. High-Frequency Magnetic Components. E-kirja. John Wiley & sons, Inc.

Linja-Aho, Vesa. 2017. Vaihtojännitteen ja -virran tehollisarvo. Verkkoaineisto. Solmu. <<https://matematiikkalehtisolmu.fi/2017/2/tehollisarvo.pdf>>. Luettu 25.9.2021.

Mommertz, Eckard. 2009. Acoustics and Sound Insulation. E-kirja. Birkhäuser.

Newell, Philip Richard & Holland, Keith. 2006. Loudspeakers. E-kirja. Focal Press.

Self, Douglas. 2006. Audio Power Amplifier Design Handbook. E-Kirja. Focal Press.

Suvanto, Kari & Laajalehto, Kari. 2005. Tekniikan fysiikka 2. Helsinki: Edita.

Thiele & Small -parametrit

Thiele & Small -parametrit	
Qes	Elektroninen Q, eli vaimennus. Kuvaa elementin kykyä resonoida ominaisresonanssitaajuudella, perustuen sähköisiin ominaisuuksiin.
Qms	Mekaaninen Q, eli vaimennus. Kuvaa elementin kykyä resonoida ominaisresonanssitaajuudella, perustuen mekaanisiin ominaisuuksiin.
Qts	Rinnanlaskettu Q, eli sähköinen ja mekaaninen vaimennusarvo. Lasketaan elektronisen rinnankytkennän kaavalla.
Fs	Vapaa ominaisresonanssitaajuus [Hz].
Vas	Ekvivalentti ilmatilavuus. Tilavuus, jonka kokoonpuristaminen kohdistaa yhtä suuren voiman kartioon, kuin kartion ripustus [l].
Sähkö-mekaaniset parametrit	
Mms	Mekaanisten liikkuvien osien massa. Sisältäen ilman massan.
Cms	Ripustusten jäykkyys. Päinvastainen kuin jousen jäykkyys.
Rms	Mekaaninen vaimennus, joka sisältää kalvoon kohdistuvan, kitkan aiheuttaman vaimennuksen sekä säteilykuorman vastustavan osuuden. Rms on verrannollinen Qms lukuun. Suurempi Qms aiheuttaa pienemmän Rms luvun.
Re	Puhekelan vastus tasajännitteellä (usein ilmoitettu impedanssi tai vastus).
BL	Magneettisen induktion ja johtimen pituuden ilmapälissä ristitulo.
Dd	Kartion halkaisija.
Le	Puhekelan induktanssi.
Sd	Kartion pinta-ala.
fLe	Taajuus, jossa Le ja KLe ovat määritelty.
Kle	Puhekelan semi-induktanssi. Kaiutusuunnittelussa käytetty arvo, joka ottaa huomioon taajuuskohtaiset induktanssimuutokset. [$H * \sqrt{\text{Hz}}$]
"Large-Signal" parametrit	
Xmax	Suurin lineaarinen poikkeama. Lasketaan yleensä Hc ja Hg -arvoista. Voidaan kertoa tekijällä, joka määrätään sallitun särön mukaan (esim. 1.1).
Xlim	Poikkeaman raja, eli suurin kartion liike, jonka elementti kestää mekaanisesti.
Hc	Kelan korkeus.
Hg	Ilmavälin korkeus (väli, joka jää puhekelan ja kestopagneetin väliin).
Vd	Elementin lineaarisen liikkeen syrjäyttämä ilmatilavuus.
Pe	Lämpökuorman suurin kesto. Ilmoittaa suurimman jatkuvan sähkötehon, jolla elementtiä voidaan ohjata.
Sekalaiset parametrit	
η_0	Hyötysuhde [%].
Znom	Nimellisimpedanssi.
USPL	Hyötysuhde ilmoitettuna desibeleinä. Ottaa huomioon impedanssivaihtelun aiheuttaman jännitevaihtelun. Niin sanottu jänniteherkkyys.
SPL	Hyötysuhde ilmoitettuna desibeleinä. SPL, eli sound pressure level (äänenpaine) per Watti.
Voicecoils	Puhekelojen määrä.
Connection	Puhekelojen kytkentä (sarjassa/rinnan).

Pioneer AVH-X5800DAB:n käyttöopas

- When using a mobile phone, keep the aerial of the mobile phone away from the LCD screen to prevent disruption of the video in the form of disturbances such as spots or coloured stripes.

Maintaining the LCD screen

- When removing dust from or cleaning the LCD screen, first turn this product off and then wipe the screen with a soft dry cloth.
- When wiping the LCD screen, take care not to scratch the surface. Do not use harsh or abrasive chemical cleaners.

LED (light-emitting diode) backlight

A light emitting diode is used inside the display to illuminate the LCD screen.

- At low temperatures, using the LED backlight may increase image lag and degrade the image quality because of the characteristics of the LCD screen. Image quality will improve with an increase in temperature.
- The product lifetime of the LED backlight is more than 10 000 hours. However, it may decrease if used in high temperatures.
- If the LED backlight reaches the end of its product lifetime, the screen will become dimmer and the image will no longer be visible. In that case, please consult your dealer or the nearest authorised Pioneer Service Station.

Specifications

General

Rated power source	14.4 V DC (10.8 V to 15.1 V allowable)
Earthing system	Negative type
Maximum current consumption	10.0 A
Dimensions (W × H × D):	
DIN	
Chassis	178 mm × 100 mm × 157 mm
Nose	188 mm × 118 mm × 26 mm (AVH-X5800DAB)
Nose	188 mm × 118 mm × 11 mm (AVH-X3800DAB/AVH-X2800BT)
D	
Chassis	178 mm × 100 mm × 165 mm
Nose	171 mm × 97 mm × 18 mm (AVH-X5800DAB)
Nose	171 mm × 97 mm × 3 mm (AVH-X3800DAB/AVH-X2800BT)

Weight	1.8 kg (AVH-X5800DAB)
Weight	1.6 kg (AVH-X3800DAB/AVH-X2800BT)

Display

Screen size/aspect ratio	6.95 inch wide/16:9 (effective display area: 156.6 mm × 81.6 mm) (AVH-X5800DAB)
Screen size/aspect ratio	6.2 inch wide/16:9 (effective display area: 137.52 mm × 77.232 mm) (AVH-X3800DAB/AVH-X2800BT)
Pixels	1 152 000 (2 400 × 480)
Display method	TFT Active matrix driving
Colour system	PAL/NTSC/PAL-M/PAL-N/SECAM compatible

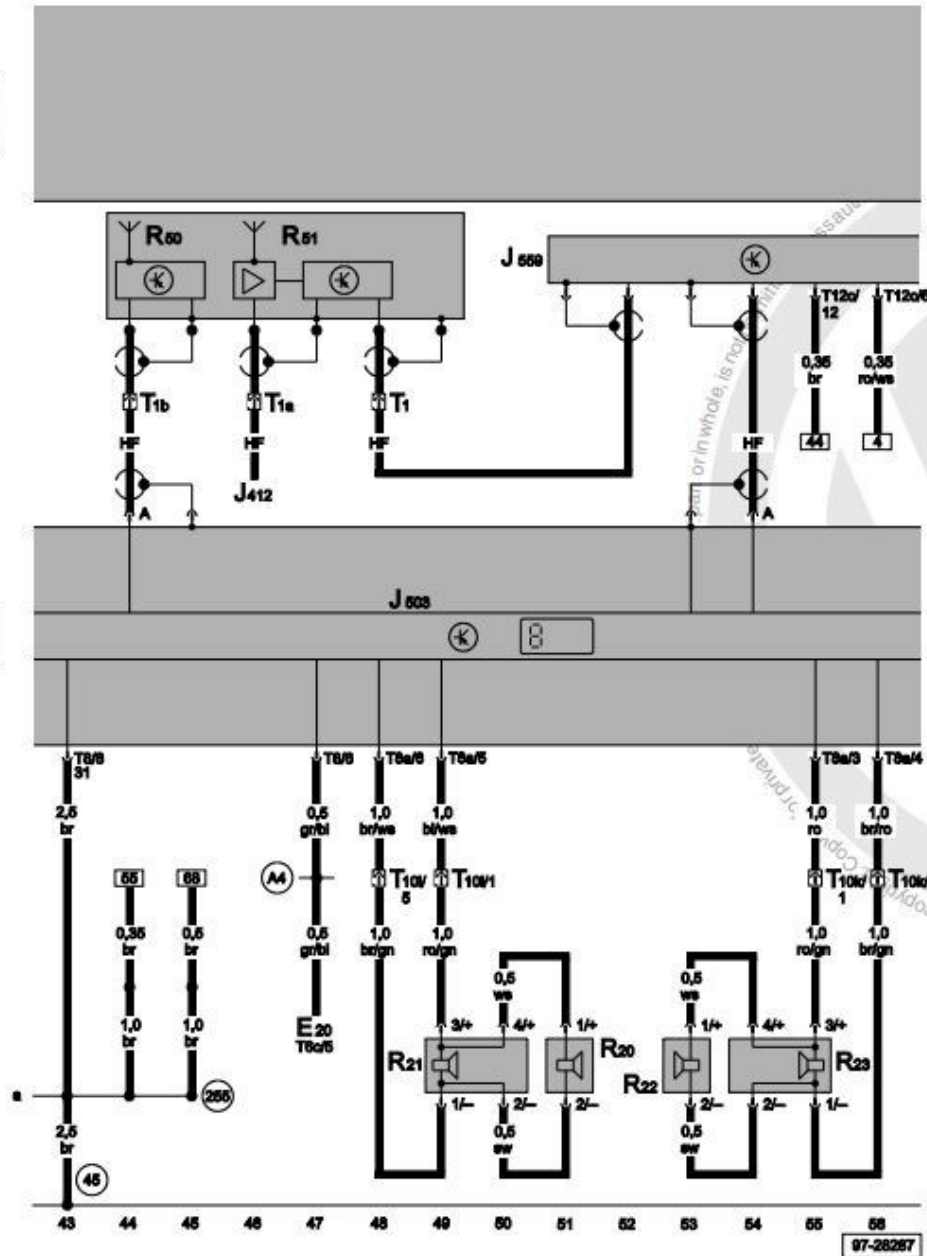
Audio

Maximum power output	•50 W × 4 ch/4 Ω •50 W × 2 ch/4 Ω + 70 W × 1 ch/2 Ω (for subwoofer)
Continuous power output	22 W × 4 (50 Hz to 15 kHz, 5 %THD, 4Ω LOAD, Both Channels Driven)
Load impedance	4 Ω (4 Ω to 8 Ω [2 Ω for 1 ch] allowable)
Preout output level (max)	4.0 V
Equaliser (13-Band Graphic Equaliser):	
Frequency	50 Hz/80 Hz/125 Hz/200 Hz/315 Hz/500 Hz/800 Hz /1.25 kHz/2 kHz/3.15 kHz/5 kHz/8 kHz/12.5 kHz
Gain	±12 dB (2 dB/step) <Standard Mode>
HPF:	
Frequency	50 Hz/63 Hz/80 Hz/100 Hz/125 Hz/160 Hz/200 Hz
Slope	-6 dB/oct, -12 dB/oct, -18 dB/oct, -24 dB/oct, OFF
Subwoofer/LPF:	
Frequency	50 Hz/63 Hz/80 Hz/100 Hz/125 Hz/160 Hz/200 Hz
Slope	-6 dB/oct, -12 dB/oct, -18 dB/oct, -24 dB/oct, OFF
Gain	+10 dB to -24 dB (1 dB/step)
Phase	Normal/Reverse
Time alignment	0 to 140 step (2.5 cm/step)
Bass boost:	
Gain	+12 dB to 0 dB
Speaker level	+10 dB to -24 dB (1 dB/step)
<Network Mode>	
HPF (High):	
Frequency	1.25 kHz/1.6 kHz/2 kHz/2.5 kHz/3.15 kHz/4 kHz /5 kHz/6.3 kHz/8 kHz/10 kHz/12.5 kHz
Slope	-6 dB/oct, -12 dB/oct, -18 dB/oct, -24 dB/oct
HPF (Mid):	
Frequency	25 Hz/31.5 Hz/40 Hz/50 Hz/63 Hz/80 Hz/100 Hz /125 Hz/160 Hz/200 Hz/250 Hz
Slope	-6 dB/oct, -12 dB/oct, -18 dB/oct, -24 dB/oct, OFF
LPF (Mid):	

Volkswagen Golf Mk4:n kytkentäkaavio



Current Flow Diagram



ram

No. 70 / 5

Control unit with display for radio and navigation, traffic information control unit, front loudspeaker, radio, telephone and auxiliary heater aerial, navigation system aerial (GPS)

- E20 Illumination regulators - switches and instruments
- J412 Mobile telephone operating electronics control unit
- J503 Control unit with display for radio and navigation system
- J559 Traffic information control unit, behind the dash panel, right
- R20 Front left treble loudspeaker, in the door
- R21 Front left bass loudspeaker, in the door
- R22 Front right treble loudspeaker, in the door
- R23 Front right bass loudspeaker, in the door
- R50 Navigation system aerial (GPS)
- R51 Telephone and auxiliary heater aerial
- T1 Single connector, near roof aerial
- T1a Single connector, near roof aerial
- T1b Single connector, near roof aerial
- T6c 6-pin connector
- T8 8-pin connector
- T8a 8-pin connector
- T10i 10-pin connector, black, coupling station on left A-pillar
- T10k 10-pin connector, black, coupling station right A-pillar
- T12c 12-pin connector

45 Earth point, centre behind dash panel

255 Earth connection 1, in radio wiring harness

A4 Positive connection (58b), in dash panel wiring harness

- ws = white
- sw = black
- ro = red
- br = brown
- gn = green
- bl = blue
- gr = grey
- li = purple
- ge = yellow
- or = orange
- rs = pink

Edition 07.2004

Audison APM-mittausraportti 1



Year: 2003
Make: Volkswagen
Car: Golf
Customer: none
Date: 3. joulukuuta 2021
Operator: none
Note: none

AutoStudio

Measurement Info

Memory Status	APM_session_01_measurement_02.apm
Mode	Free
SPL Category	---
Position	Front Left

Score

Front Stage Analysis 70.0

Azimut	-36.0°
Elevation	-34.0°

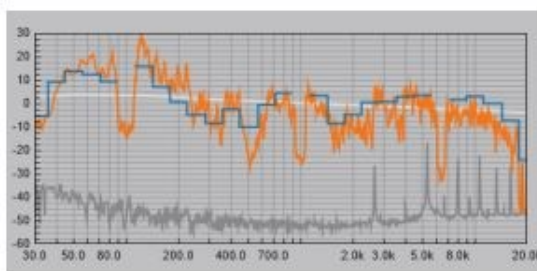


Score

Total Music Distortion 84.5

Distortion	6.7%
Low frequency	4.9%
Mid frequency	8.6%
High frequency	4.5%

Alteration	8.5 dB
Average [20-20k]	6.2 dB
Maximum [20-20k]	20.3 dB
Average [80-10k]	5.3 dB



Audison APM-mittausraportti 2

Measurement info

Memory Status	APM_session_02_measurement_01.apm
Mode	Free
SPL Category	---
Position	Front Left

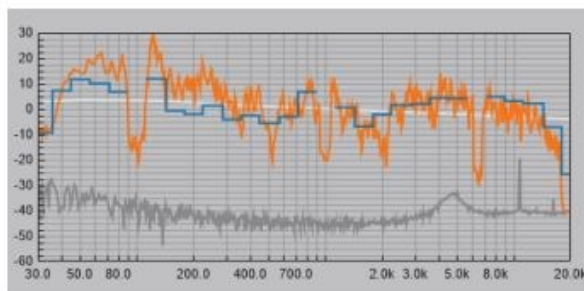
Score

Front Stage Analysis	70.0
Azimut	-36.0°
Elevation	-34.0°



Score

Total Music Distortion	84.4
Distortion	6.9%
Low frequency	3.3%
Mid frequency	9.7%
High frequency	4.5%
Alteration	8.3 dB
Average [20-20k]	5.7 dB
Maximum [20-20k]	21.8 dB
Average [80-10k]	4.6 dB



Audison APM-mittausraportti 3

Measurement Info

Memory Status	APM_session_02_measurement_01.apm
Mode	Free
SPL Category	---
Position	Front Left

Score

Front Stage Analysis 70.0

Azimut	-36.0°
Elevation	-34.0°

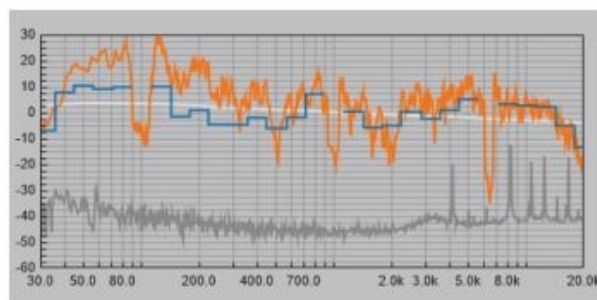


Score

Total Music Distortion 85.9

Distortion	7.6%
Low frequency	4.5%
Mid frequency	10.9%
High frequency	3.8%

Alteration	5.7 dB
Average [20-20k]	5.0 dB
Maximum [20-20k]	9.9 dB
Average [80-10k]	4.5 dB



Audison APM-mittausraportti 4

Measurement Info

Memory Status	APM_session_03_measurement_01.apm
Mode	Free
SPL Category	---
Position	Front Left

Score

Front Stage Analysis **70.0**

Azimut	-36.0°
Elevation	-34.0°



Score

Total Music Distortion **88.9**

Distortion	6.6%
Low frequency	3.8%
Mid frequency	8.9%
High frequency	4.4%

Alteration	6.2 dB
Average [20-20k]	5.2 dB
Maximum [20-20k]	11.5 dB
Average [80-10k]	4.6 dB

