

Santtu Kovasiipi

Auton ohjaamomelun mittausmenetelmän kehittäminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Auto- ja kuljetustekniikka
Insinöörityö
Päivämäärä 9.5.2012

| | |
|---|---|
| Tekijä(t) Otsikko | Santtu Kovasiipi Auton ohjaamomelun mittausmenetelmän kehittäminen |
| Sivumäärä Aika | 59 sivua + 2 liitettä 9.5.2012 |
| Tutkinto | Insinööri (AMK) |
| Koulutusohjelma | Auto- ja kuljetustekniikka |
| Suuntautumisvaihtoehto | Tuotetekniikka |
| Ohjaaja(t) | Teknologiapäällikkö Pekka Hautala |
| <p>Tämän insinööriyön tavoitteena oli kehittää auton ohjaamomelun mittausmenetelmä Finikorin keskusliikkeelle Suomen Ruosteenestoliikkeiden Osuuskunnalle. Finikor-ketju suorittaa ruosteenesto- ja maalipinnankäsittelyiden lisäksi äänieristyskäsittelyitä henkilö- ja pakettiautoille. Lisäksi laadittiin laitteiston kustannusarvio sekä suoritettiin mittauskoe Ford Focus -henkilöautolle. Menetelmän tuli antaa selkeä kuva äänieristyskäsittelyn vaikutuksesta henkilöauton ohjaamomeluun.</p> <p>Mittausmenetelmän kehittäminen perustui ihmisen kuuloalueeseen ja kuuloelimien sijaintiin ohjaamossa. Näin ollen mittaukset suoritettiin ihmisen korvan luota. Menetelmästä haluttiin tehdä riittävän yksinkertainen ja vaivaton, jotta se olisi helppo toistaa useita kertoja. Mittaukset tehtiin käyttämällä oppilaitoksen mittajärjestelmää. Työn painopiste oli mittausmenetelmän kehittämisessä.</p> <p>Työn tuloksena syntyi mittausmenetelmä, jolla voidaan tutkia auton ohjaamossa esiintyviä äänen taajuuksia ja äänen voimakkuuksia. Menetelmä tuo esille ohjaamomelun keskeisimmät taajuuspiikit tasaista nopeutta ajettaessa sekä vallitsevan äänen painetason mittauksesta. Sekä taajuus että äänen painetaso mitattiin keskiarvona koko mittauksen ajalta, jolloin jatkuva taajuuspiikki korostui ja oli selkeästi huomattavissa.</p> | |
| Avainsanat | Ohjaamomelu, mittausmenetelmä, kuuloalue |

| | |
|--|--|
| Author(s) Title | Santtu Kovasiipi Developing a noise measuring method of a car cabin |
| Number of Pages Date | 59 pages + 2 appendices 9 May 2012 |
| Degree | Bachelor of Engineering |
| Degree Programme | Automotive and Transport Engineering |
| Specialisation option | Automotive Design |
| Instructor(s) | Pekka Hautala, Technology Manager |
| <p>The objective of this Bachelors' thesis was to develop a noise measuring method of a car cabin. This thesis was assigned by a company specialized in soundproofing for cars. In addition, a cost estimate for the measuring equipment was calculated, and a noise measurement test was carried out for a Ford Focus. The aim of the measuring method was to describe the effect of sound proofing on the car cabin noise of a passenger car.</p> <p>The development of the measuring method was based on the human hearing range, and the measuring was performed near the drivers' right ear. The method was designed to be adequately simple and easy to apply so that it would be easy to repeat several times. The measuring was performed by using the system of measurement of the Metropolia University of Applied Sciences. The thesis focused on the development of the measuring method.</p> <p>As a result, a measuring method that can be applied in the research of car cabin noise frequencies and sound was developed. The method shows the focal frequencies of car cabin noise when driving at a continuous speed level and the current sound pressure level. Both the frequency and the sound pressure level were measured as the average values when the continuous frequency peak was clearly observed and was easily noticeable.</p> | |
| Keywords | car cabin, noise, measuring, method |

Sisälllys

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 1.1 | Työn tausta | 1 |
| 1.2 | Työn tavoitteet ja tutkimuskysymykset | 2 |
| 1.3 | Työn rakenne | 2 |
| 2 | Ääni | 3 |
| 2.1 | Äänen synty | 3 |
| 2.2 | Äänen aistiminen | 3 |
| 2.3 | Äänen ominaisuudet | 4 |
| 2.3.1 | Äänen taajuus, spektri ja oktaavi | 4 |
| 2.3.2 | Äänenvoimakkuus | 5 |
| 2.3.3 | Äänennopeus ja aallonpituus | 6 |
| 2.4 | Äänen tallentaminen | 7 |
| 2.5 | Äänen eteneminen | 7 |
| 3 | Äänenmittaus | 14 |
| 3.1 | Mitattavat suureet | 14 |
| 3.2 | Mittausjärjestelmä | 14 |
| 3.2.1 | Mikrofoni | 16 |
| 3.2.2 | Esivahvistin | 16 |
| 3.2.3 | Taajuuspainotukset ja oktaavisuodatus | 17 |
| 3.2.4 | Mittari | 17 |
| 3.2.5 | Näyttö ja tallennus | 17 |
| 3.2.6 | Virtalähde | 18 |
| 3.3 | Toimittajavaihtoehdot | 18 |
| 3.3.1 | MIP Electronics Oy | 18 |
| 3.3.2 | Oy Teknocalor Ab | 19 |
| 3.3.3 | Metropolia Ammattikorkeakoulu Oy | 20 |
| 3.4 | Mittausjärjestelmän valinta | 20 |
| 3.4.1 | Järjestelmälle asetettavat vaatimukset | 21 |
| 3.4.2 | Vertailu | 21 |
| 3.4.3 | Valinta ja perustelut | 23 |

| | | |
|-----|---|----|
| 4 | Testaaminen | 23 |
| 4.1 | Ajoneuvot ja mittaustavoitteet | 23 |
| 4.2 | Mittausjärjestely | 24 |
| 4.3 | Mittau tulokset ja analysointi | 25 |
| 5 | Mittausmenetelmän toimivuus ja johtopäätökset | 42 |
| 5.1 | Menetelmän toimivuus | 42 |
| 5.2 | Mittausjärjestelmän reliabiliteetti | 42 |
| 5.3 | Johtopäätökset ja kehitysideat | 43 |
| 6 | Yhteenveto ja pohdinta | 45 |
| 6.1 | Tavoitteiden saavuttaminen | 45 |
| 6.2 | Ideoita jatkotutkimukseen | 46 |
| | Lähteet | 47 |
| | Liitteet | |
| | Liite 1. MIP Electronics Oy | |
| | Liite 2. Oy Teknocalor Ab | |

1 Johdanto

1.1 Työn tausta

Tämä insinööri työ on yksi kolmesta insinööri työstä, jotka tehdään Suomen Ruosteenestoliikkeiden Osuuskunnan toimeksiannosta. Työ käsittelee auton ohjaamomelun mittausmenetelmän kehittämistä ja se on yhteydessä kahteen muuhun insinööri työhön. Kaksi muuta insinööri työtä tekee Aleks Nolvi ja Joonas Savolainen.

Aleks Nolvi kirjoittaa insinööri työn aiheesta "Ruiskutettavat äänieristemateriaalit", ja siinä perehdytään jo markkinoilla oleviin jälkiasennettaviin äänieristeisiin. Työssä kehitetään mittausmenetelmä ja laitteisto eri äänieristeiden vaimennuksen mittaamiseksi sekä selvitetään kaupallisten eristeiden toimintaperiaate ja niiden ominaisuudet. Suomen Ruosteenestoliikkeiden Osuuskunta toimittaa äänieristemateriaalit, joista suoritetaan kokeelliset mittaukset.

Joonas Savolainen kirjoittaa insinööri työn aiheesta "Äänilähteet ja eteneminen ohjaamoon". Työssä tutkitaan auton äänilähteitä ja niistä syntyvän äänen etenemistä auton rakenteissa. Opinnäytetyössä perehdytään yleisimpiin auton äänilähteisiin, niiden melu- ja taajuustasoihin ja pohditaan rakenneratkaisuja äänen etenemisen katkaisemiseksi. Lisäksi esitellään jo markkinoilla olevia melunvaimennusmahdollisuuksia.

Suomen Ruosteenestoliikkeiden Osuuskunta on vuonna 1982 perustettu korroosioalan keskus- ja tukkuliike, jolla on 49 valtuutettua Finikor Ruoste-Expertti-liikettä Suomessa. Suomen Ruosteenestoliikkeiden Osuuskunnan palveluihin kuuluu Finikor-ketjun markkinoinnin ja koulutuksen lisäksi ruosteenestoaineiden ja tarvikkeiden, maalipinnankäsittelyaineiden, pesu -ja suoja-aineiden sekä ajoneuvonostimien myynti ja maahantuonti. Finikor -ketju on Suomen ruosteenestoalan markkinajohtaja yli 50 prosentin markkinaosuudella. Finikor tekee ruosteenestokäsittelyä jopa yli 40 vuoden kokemuksella. Ketjulla on käytössään standardien (FI 4086, 4087, SIS valmistus ISO 9002) hyväksymät Finikor-ruosteenestoaineet, patentoidut erikoissuuttimet sekä digitaalitekniikalla tehdyt ruosteenesto-ohjeistot kaikista yleisimmistä automalleista..

[1.]

Työn merkitys toimeksi antavalle yritykselle on melko suuri, koska ruosteenestokäsittelyjen määrä on viime vuosina laskenut suuresti. Siksi yritys pyrkii laajentamaan toimintaansa myös äänieristyskäsittelyihin. Tutkimalla äänen eristämistä sekä äänen kulkua autossa ja sen rakenteissa yritys voi saavuttaa johtavan aseman myös äänieristyskäsittelyalalla.

1.2 Työn tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Työn tavoitteena on luoda menetelmä, jolla voidaan mitata auton ohjaamomelua. Alatavoitteena on myös tutustua erilaisiin mittausjärjestelmiin, antaa niistä kustannusarvio sekä suorittaa mittauskoe Ford Focus-henkilöautolle.

Työn päätutkimuskysymys on ”Mikä on kehitettävän mittausjärjestelmän rakenne?” ja alatutkimuskysymys ”Miten mittausjärjestelyt toteutetaan?”. Näihin kysymyksiin työ tulee vastaamaan.

Työ tehdään Suomen Ruosteenestoliikkeiden Osuuskunnan toimeksiannosta, ja sen tarkoitus on edesauttaa yrityksen äänieristyskäsittelyn vaikutusten selkeää havainnointia. Mittausmenetelmää käyttäen on tarkoitus saada kuva auton ohjaamomelusta ennen käsittelyä ja sen jälkeen. Tällä tavoin mahdollinen äänen vaimentuminen voidaan todeta.

1.3 Työn rakenne

Työn alussa käydään läpi perusteet äänestä, sen synnystä ja ominaisuuksista. Tämän jälkeen käsitellään äänenmittausta ja mittausjärjestelmiä sekä mittausjärjestelmien toimittajavaihtoehtoja. Lopussa käsitellään mittausjärjestelmän testaamista sekä analysoidaan mittaustuloksia ja järjestelmän toimivuutta. Työssä keskitytään äänen osalta ihmisen kuuloalueeseen niin teorian kuin mittauskokeidenkin osalta. Työn painopiste on äänen mittaamisessa ja mittauslaitteissa.

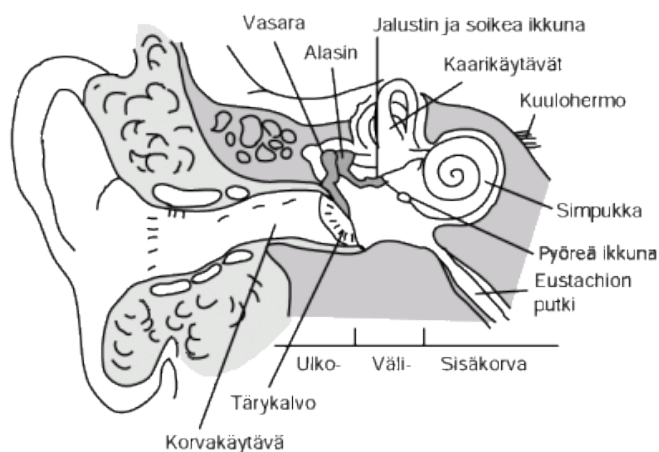
2 Ääni

2.1 Äänen synty

Ääni syntyy, kun jokin kappale värähtelee tai tärisee. Äänilähteen värähdellessä syntyy vuoronperään ilmamolekyylien tihentymiä sekä harventumia eli ääniaaltoja. Ilmamolekyylit ”tönivät” toisiaan liikkeessaan lyhyen matkan edestakaisin; näin syntyy ketjureaktio ja ääniaalto etenee. Liikkeessaan ajoneuvo syrjäyttää ilmaa ja kokee ilmanvastuksen. Ilma törmää ajoneuvon ajonopeudella ja aiheuttaa tietynlaisen ilmavirran, johon syntyy pyörteitä. Nämä ilmapyörteet voidaan kuulla tuulen kohinana ajoneuvon ohjaamossa. Mitä suurempi on äänen värähtelyn vaikutuksen alainen pinta, sitä suurempi on kuultu ääni. Tämän vuoksi tuulen kohinalla on suuri merkitys auton ohjaamomeluun. [2.]

2.2 Äänen aistiminen

Äänen eteneminen ilmassa aiheuttaa ilmamolekyylien lyhyttä edestakaista liikettä, kuten edellä todettiin. Tämän värähtelyn ihminen aistii korvillaan. Ihmisen korvassa ääni kulkee korvalehdeltä korvakäytävää pitkin tärykalvolle. Tärykalvolta ääni kulkee kuuloluiden kautta lopulta nesteeseen täyttämään simpukkaan. Simpukassa on basilaarikalvo, joka alkaa värähdellä. Värähtely saa kuuloreseptorisolut liikkumaan. Solujen värekarvat osuvat yläpuolella olevaan katekalvoon, josta lähtee kuuloreseptoreista kuulohermo pitkin hermoimpulssi isoivokuoren kuulokeskukseen. Täällä syntyy kokemus äänestä ja sen ominaisuuksista. Kuvassa 1 on nimetty korvan osat ja siitä nähdään selkeästi äänen kulku korvassa. [3.]



KUVA 1. Korvan osat [4]

Epämiellyttävää ääntä kutsutaan meluksi. Äänen epämiellyttävyys on hyvin yksilöllistä ja siksi melua on vaikea selkeästi luokitella. Tämän vuoksi myös äänen epämiellyttävyyttä koskeva melumittaus on vaikea toteuttaa, koska mittaukset tulisi tehdä subjektiivisesti. Tässä työssä mitataan pelkkiä numeroarvoja, jotta ohjaamomelua voidaan arvioida ennen äänieristyskäsittelyä ja sen jälkeen. [5.]

Nuoren ihmisen kuulokyky voi parhaimmillaan olla 20–20 000 hertsiä eli äänilähteen värähdystä sekunnissa. Mitä pienempi taajuus, sitä matalampana ääni kuullaan. Vanhemmiten korkeiden taajuuksien kuuleminen heikkenee. Alle 20 Hz-ääniä kutsutaan infraääniksi ja yli 20 kHz-ääniä ultraääniksi. Näitä taajuuksia esiintyy melko paljon, vaikka ihminen ei niitä kuulekaan. Kuulokyky on riippuvainen taajuusalueesta. Äänenkorkeuksien erotuskyky on parhaimmillaan 2000 Hz matalimmilla, voimakkailla äänillä. Äänet, joiden taajuus on välillä 2000–5000 Hz, ovat voimakkuudeltaan kuulon herkimmällä alueella. [6.]

2.3 Äänen ominaisuudet

2.3.1 Äänen taajuus, spektri ja oktaavi

Äänen taajuutta kuvataan yksiköllä hertsi ja sen tunnus on Hz. Hertsiluku kertoo, kuinka monta kertaa ääniaalto värähtelee yhden sekunnin aikana. Mitä nopeampaa ääniaaltojen värähtely on, sitä korkeampi ääni kuullaan ja sitä tiheämmin ääniaallot etenevät. Ihminen aistii ääntä myös tuntoaistillaan, sillä alhaiset taajuudet saavat aikaan värähtelyä kehossa. Hyvin alhaiset taajuudet voivat myös aiheuttaa kuulovaurioita.

Äänen spektri koostuu useista eri ääneksistä, ja vain siniäänestä pidetään ”puhtaana” äänenä, jolla on vain yksi taajuus ja amplitudi. Spektri kuvaa äänen jakautumista komponentteihin taajuuden ja amplitudin suhteen. Ääneksellä tarkoitetaan tietyn taajuuksista ääntä, jolla ei ole harmonisia komponentteja eli yhtä aikaa soivia erikorkuisia ääniä. Äännes on sinimuotoista värähtelyä, joka määritetään sen taajuudella. Äännes on aaltoliikkeen muodoista yksinkertaisin.

Äänen oktaavi kuvaa intervallia, joka vastaa taajuuden kaksinkertaistumista. Esimerkiksi 100:n ja 200 hertsin korkuisten äänten intervalli on oktaavin suuruinen,

koska 200 Hz on kaksi kertaa niin suuri kuin 100 Hz. Oktaavi on taajuuskaista, joka koostuu tietyllä välillä olevista taajuuksista. [7.]

2.3.2 Äänenvoimakkuus

Äänenvoimakkuuden mittaamisessa käytetään yksikköä desibeli, ja sen tunnus on dB. Ihmisen kuulokynnys on 0 dB, mutta todellisuudessa kuultavat äänet ovat alimmillaan muutaman desibelin ylempänä. Teknisesti on mahdollista mitata 0 dB:n äänen äänenpaine. Paineen mittayksikkö on pascal ja sen tunnus on Pa. Ihmisen kuulokynnys on 0,0002 Pa 1000 Hz:n taajuudella. Desibeliasteikko saadaan vertaamalla kaikkia muita ääniä tähän äänenpaineeseen. Työssä mittaustulokset on esitetty yksikössä $Leq[dB]$. Tätä arvoa käytetään yleisesti melumittauksessa äänen painetason yksikkönä, kun signaalin amplitudi vaihtelee mittauksen aikana. $Leq[dB]$ kuvaa mitatun signaalin äänen painetasoa kuvitellun signaalin äänen painetasona, jonka amplitudi ei vaihtele ja jonka energia vastaa mitatun signaalin energiaa.

Desibeliasteikko on logaritminen. Tämän vuoksi desibeliarvoja ei voida suoraan laskea yhteen. Jos kahden äänen äänenvoimakkuudet ovat molemmat 40 dB, ne eivät yhdistettynä ole 80 dB. Ihminen aistii äänenvoimakkuuden kaksinkertaistuvan, kun äänenvoimakkuus kasvaa 10 dB. Desibelieroja ei myöskään voida suoraan verrata asteikon logaritmisuuden vuoksi. Esimerkiksi 90 desibelin melun vaimentuminen 82 desibeliin on huomattavasti suurempi kuin 40 desibelin vaimentuminen 32 desibeliin. Äänen painetason ollessa korkea muutamankin desibelin vaimentumisen kuulee siis selkeästi.

Äänenvoimakkuuden kipukynnys on ihmisellä noin 120–130 dB. Keskimääräinen puheen äänenvoimakkuus on luokkaa 50–55 dB ja yleisesti melurajana pidetään 80 dB:n voimakkuutta. Kuvassa 2 on desibeliasteikko, joka kuvaa arkielämän äänien äänenvoimakkuuksia. [8.]

| DESIBELIASTEIKKO ARKIELÄMÄN ÄÄNILLE | |
|--|---|
| 0 dB | kuulokynnys |
| 10 dB | lehtien havina |
| 20 dB | tyhjän studion kohinat |
| 30 dB | kodin pohjahäly |
| 40 dB | konserttialissa hiljaisin pianissimo |
| 50 dB | hiljainen keskustelu |
| 60 dB | kovaääninen keskustelu |
| 70 dB | radion kuuntelu- voimakkuus, keskim. |
| 85 dB | diskon meluraja |
| 100 dB | telakka, kova melu katupora |
| 130 dB | kipuraja |
| yli 130 dB | kuulolle vaarallinen melu |

KUVA 2. Desibeliasteikko [8]

Melumittauksissa äänenvoimakkuutta mitataan yleensä käyttäen eri taajuuksia eri tavoin painottavia suodatuksia. Näin saadaan paremmin kuvattua äänen vaikutusta ihmiseen. Useimmiten käytetään A-suodatusta, jolloin mittauksessa käytetään merkintää dB(A). Tällä painotuksella ääntä mitataan kuulemisen ja kuulovaurion kannalta. Toinen yleisesti käytetty on C-suodatus. C-suodatuksella saadaan hyvä kuva erilaisista äänen impulsseista. Näillä suodatuksilla voidaan huomioda, että ihmisen korva kuulee eri tavoin eri sävelkorkeuksia toisin kuin mittalaitteet. C-suodatuksen on esitetty toimivan A-suodatusta paremmin mitattaessa matalataajuisia melua. C-suodatuksen oletetaan matalataajuisista melua mitattaessa antavan A-suodatusta paremmin kuvaavan arvon melun äänekkydestä ja haitoista. Myös Z-suodatusta käytetään, kun halutaan lineaarinen aikapainotus. Tätä painotusta käytetään yleensä äänentoistolaitteiden laadun arvioinnissa. [9.]

2.3.3 Äänennopeus ja aallonpituus

Äänen nopeus riippuu väliaineesta, jossa ääni etenee. Ilmassa ääni etenee noin 344 metriä sekunnissa eli noin 1236 kilometriä tunnissa ilman lämpötilan ollessa 20 °C. Äänen nopeuteen vaikuttavat väliaineen ominaisuudet, jotka ovat kaasuilla ja kiinteillä aineilla hieman erilaiset. Äänen nopeuteen kaasuissa vaikuttavat kaasun lämpötila, kaasuvakiot sekä kaasun tiheys. Kiinteissä väliaineissa nopeuteen vaikuttavia seikkoja ovat väliaineen lämpötila ja tiheys.

Äänen aallonpituutta kuvataan yksiköllä λ , jonka tunnus on λ . Aallonpituus on äänennopeus jaettuna taajuudella. Äänentaajuus saadaan siis jakamalla äänennopeus aallonpituudella. [7.]

2.4 Äänen tallentaminen

Äänen tallentaminen tarkoittaa äänen talteen ottamista myöhemmin toistettavaan muotoon. Ääntä voi myös tallentaa siirtämällä sitä alkuperäisestä toiseen muotoon, kuten sähköiseksi signaaliksi. Ääntä voidaan tallentaa magneettisesti, optisesti tai mekaanisesti. Digitaalisessa tallentamisessa ääni muutetaan numeeriseen muotoon, jota voidaan myöhemmin kuunnella ja muokata digitaalisella äänenkäsittelylaitteella, kuten tietokoneella. Äänen tallennuksessa tulee ottaa huomioon signaalin puutteellisuus, koska kuultu ääni on aina täydellisempi kuin nauhoitettu. Tämä johtuu siitä, että nauhoitettaessa ääntä tehdään alkuperäisestä sinisignaalista aina kompromissi. Sinisignaalin tallennustarkkuuteen vaikuttaa näytteenottotaajuus, joka määrittää, kuinka tarkasti alkuperäinen signaali tallennetaan. [10.]

2.5 Äänen eteneminen

Ääniaaltojen etenemiseen vaikuttaa useita tekijöitä. Ääniaallot voivat heijastua, taipua ja imeytyä huokoiseen aineeseen (absorptio). Auton ohjaamossa ääniaallon etenemiseen vaikuttavia esteitä on monia erilaisia. Kangaspäällysteiset osat, kuten istuimet ja ovien verhoillut pinnat, absorboivat, kun taas kovat pinnat heijastavat ääniaaltoja. Absorptio on näistä kahdesta parempi vaihtoehto, koska äänenvoimakkuus heikkenee ääniaaltojen imeytyessä kappaleeseen. Toisaalta ääniaallot aiheuttavat värähtelyä absorboivassa kappaleessa. [11.]

Jos äänilähde liikkuu suhteessa kuulijaan, kokee kuulija Doppler-ilmiön. Äänilähteen synnyttämä ääni koetaan korkeampana kuin se todellisuudessa on, jos äänilähde lähestyy kuulijaa. Tämä johtuu siitä, että ääniaallot "tihenevät" lähestyvän liikkeen vuoksi. Äänilähteen ollessa kuulijan kohdalla äänenkorkeus laskee ja poispäin liikkuvan äänilähteen ääni kuullaan normaalia matalampana. Doppler-ilmiötä selventää kuva 3, jossa moottoripyöräilijä liikkuu vasemmalla olevasta naisesta poispäin kohti oikealla olevaa miestä. Nainen kuulee moottoripyörän äänen matalampana kuin mies, jota moottoripyörä lähestyy. [12.]

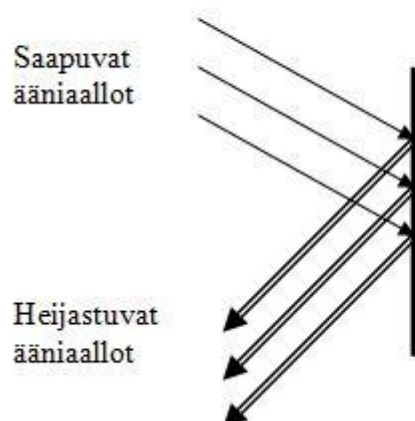


KUVA 3. Doppler-ilmiö [13]

Äänen heijastuminen riippuu pinnasta, johon ääniaallot törmäävät. Mitä kovempi ja sileämpi pinta on kyseessä, sitä suurempi osa äänestä heijastuu. Jos taas pinta on epätasainen ja pehmeä, se absorboi ääntä enemmän kuin heijastaa sitä. Myös pinnan muodolla on vaikutusta ääniaaltojen heijastumiseen. Tasainen ja suora pinta heijastaa ääntä eri tavalla kuin esimerkiksi kupera pinta. Suora pinta saa ääniaallot heijastumaan samassa kulmassa kuin ne saapuivat. Kuvassa 4 on esitetty ääniaaltojen heijastuminen suorasta pinnasta. [14.]

Suora pinta

Suorasta pinnasta ääniaallot heijastuvat samassa kulmassa kuin ne saapuvat.

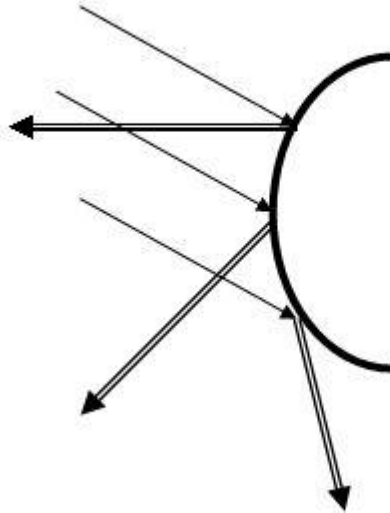


KUVA 4. Ääniaaltojen heijastuminen suorasta pinnasta [14]

Kupera pinta heijastaa ääniaallot eri tavalla kuin suora pinta. Se saa ääniaallot heijastumaan eri suuntiin. Kuvasta 5 nähdään, miten ääniaallot heijastuvat eri suuntiin niiden kohdatessa kuperan pinnan. [14.]

Kuperapinta

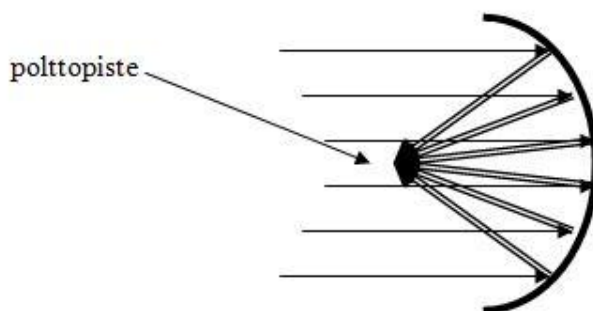
Kuperasta pinnasta ääniaallot heijastuvat eri suuntiin.



KUVA 5. Ääniaaltojen heijastuminen kuperasta pinnasta [14]

Kovera pinta

Kovera pinta heijastaa ääniaallot toisiaan kohti. Ääniaallot heijastuvat samaan pisteeseen paraboloidisesta heijastimesta.

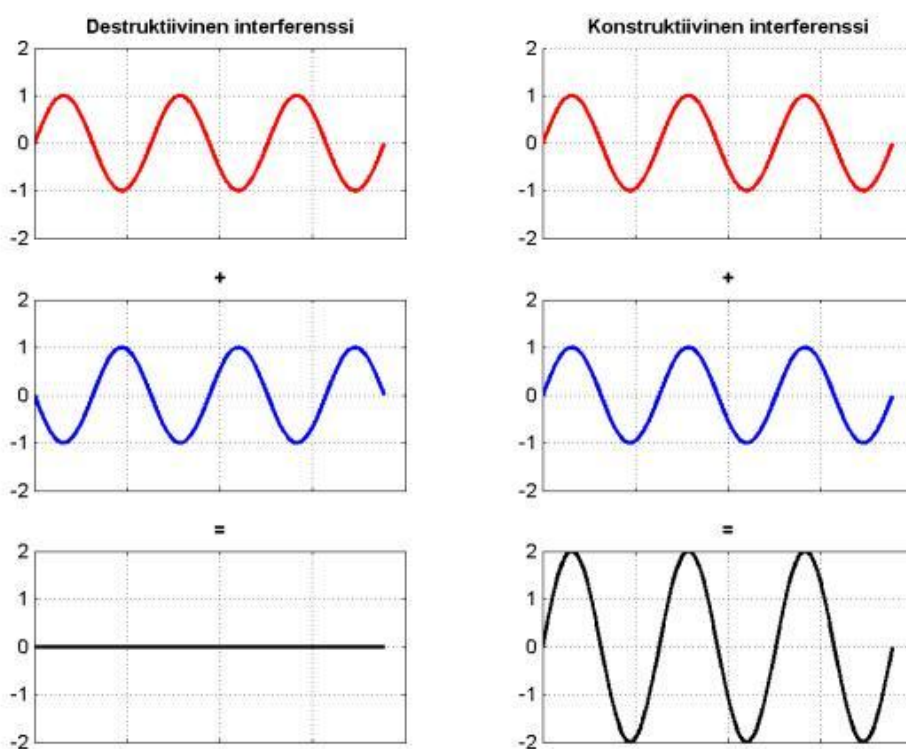


KUVA 6. Ääniaaltojen heijastuminen koverasta pinnasta [14]

Koverasta pinnasta ääniaallot heijastuvat samaan pisteeseen. Tällaista koveraa ja heijastavaa pintaa kutsutaan paraboloidiseksi heijastimeksi. Kuvassa 6 on esitetty ääniaaltojen heijastuminen koverasta pinnasta. Ääniaallot heijastuvat yhteen pisteeseen, jota kutsutaan kuvan 6 mukaisesti polttopisteeksi. [14.]

Auton ohjaamossa on hyvin erilaisia heijastavia pintoja sekä äänilähteitä, eikä siksi ääniaaltojen liikettä voida siellä yksikäsitteisesti todeta. Lisäksi jokainen automalli on sisustaltaan melko erilainen ja näin ollen ääniaallot vaimentuvat, heijastuvat, taittuvat ja taipuvat eri tavalla eri automalleissa.

Interferenssi aiheuttaa kahden ääniaallon kohdatessa toisensa joko niiden vahvistumista tai kumoutumista. Aaltojen vaihe-erojen on oltava vakio, jolloin aallot yhdistyvät superpositioperiaatteen mukaisesti. Interferenssistä on hyötyä esimerkiksi äänen vaimentamisessa. Haluttua ääntä voidaan vaimentaa aktiivisella äänenvaimentamisella lähettämällä vastakkaisessa vaiheessa olevaa saman taajuista ääntä, jolloin syntyy interferenssi, joka kumoaa ääniaallot. [15.]



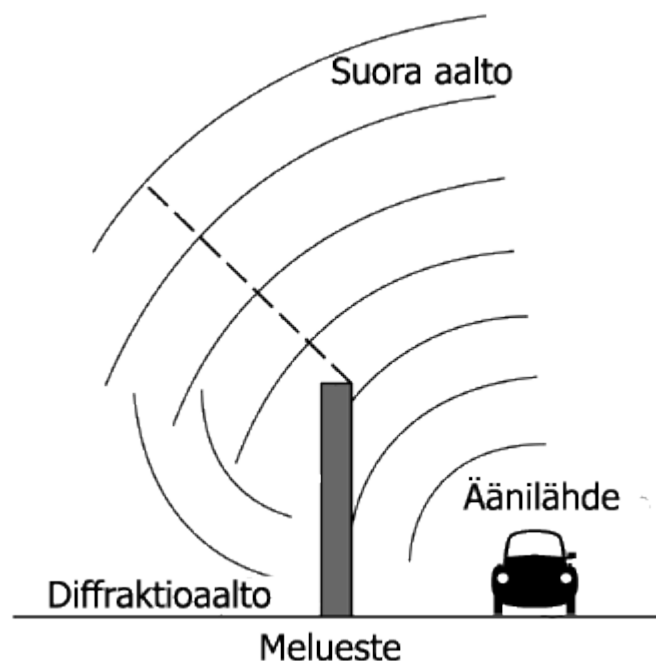
KUVA 7. Destruktiivinen ja konstruktiiivinen interferenssi [15]

Kuvassa 7 on kuvattu, miten destruktiiivinen ja konstruktiiivinen interferenssi vaikuttavat ääniaaltoihin. Destruktiivisessa interferenssissä kaksi ääniaaltoa kumoaa toisensa ja ne molemmat vaimenevat. Konstruktiiivisessa interferenssissä kaksi ääniaaltoa yhdistyy yhdeksi ääniaalloksi, joka on ääniaaltojen summa. Konstruktiiivisessa interferenssissä ääniaallot voimistuvat. [15.]

Resonanssi tarkoittaa ääniaallon aiheuttamaa myötävärähtelyä kappaleessa, johon ääniaallot törmäävät. Ääniaalto ja kappale ovat resonanssissa, kun ääniaallon taajuus on sama tai lähes sama kuin kappaleen ominaisvärähtelytaajuus. Ominaisvärähtelytaajuus riippuu kappaleen ominaisuuksista, ja se kuvaa kappaleelle ominaista taajuutta värähdellä. Resonanssi saa kappaleen sekä ääniaallon värähtelyn voimistumaan. [7.]

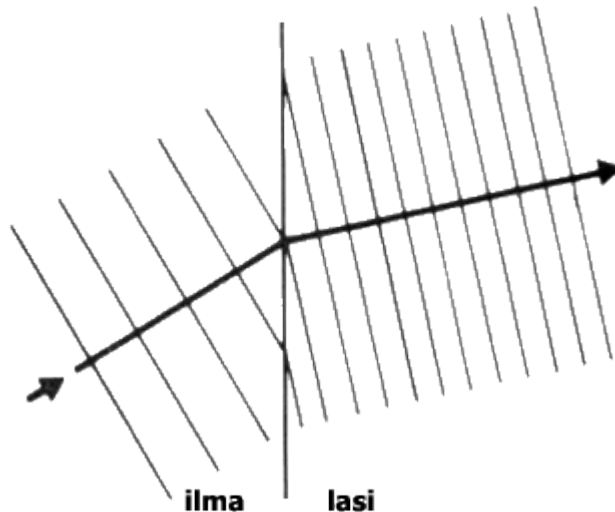
Superpositioperiaate on osa lineaarialgebraa, ja sen mukaan lineaarisen systeemin ratkaisujen lineaarinen yhdistelmä on kyseisen systeemin ratkaisu. Interferenssissä voidaan käyttää lineaarista algebraa mallinnuksen apuna. Ääniaallot yhdistyvät superpositioperiaatteen mukaisesti. Syntynyt interferenssi on joko konstruktivista eli vahvistavaa tai destruktiivista eli vaimentavaa. [16.]

Äänen taipumista eli diffraktiota tapahtuu, kun ääniaallot pyrkivät taipumaan kohtaamansa esteen taakse. Ääniaaltojen kohdatessa esimerkiksi meluaidan, syntyy aidan päälle tavallaan uusi, pistemäinen äänilähde, jolloin ääniaallot etenevät myös aidan toiselle puolelle. Meluaita estää osan äänestä, mutta samalla syntyyvä "sekundääriäänilähde", joka on pistemäinen, saa äänen kuulumaan myös meluaidan toisella puolella. Äänen taipuminen on esitetty kuvassa 8. [11.]



KUVA 8. Äänen diffraktio [11]

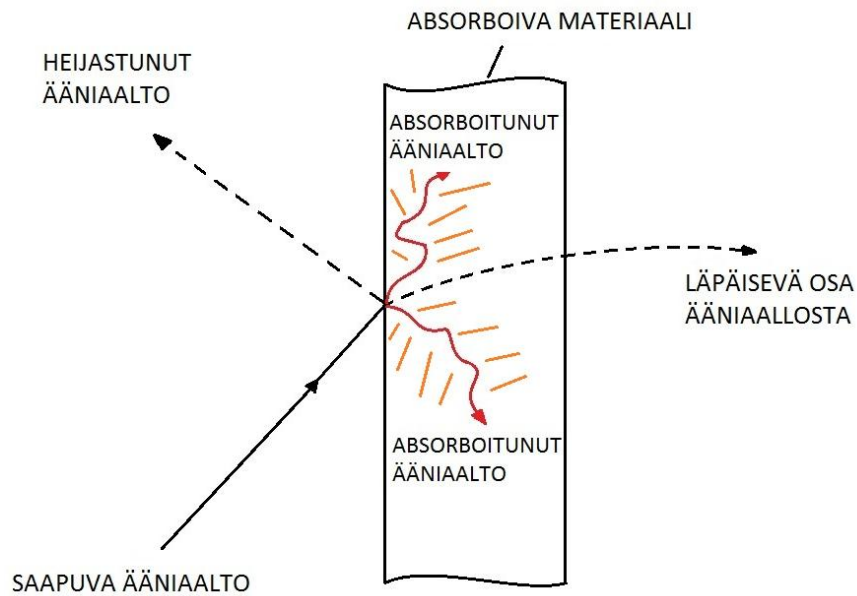
Ääni taittuu, kun sen ääniaaltojen etenemisnopeus muuttuu. Näin ollen myös aaltojen kulkusuunta muuttuu. Ääni taittuu esimerkiksi silloin, kun se siirtyy väliaineesta toiseen. Ilmassa etenevä ääni taittuu ääniaaltojen törmätessä lasiin. Lasin toiselle puolelle etenevä osa ääniaalloista on muuttanut kulkusuuntaansa. [11.]



KUVA 9. Äänen taittuminen [11]

Kuvasta 9 nähdään, miten ääniaallot taittuvat väliaineen vaihtuessa. Kuvassa ääniaallot etenevät ilmassa, kunnes ne kohtaavat lasin ja väliaine vaihtuu. Lasin läpäisevä osa ääniaalloista muuttaa kulkusuuntaansa jatkaessaan etenemistä.

Vaimentumisella tarkoitetaan äänen tapauksessa ääniaaltojen imeytymistä huokoiseen aineeseen. Kyseinen aine ikään kuin "imee" ääniaaltoja itseensä, jolloin ääni osittain vaimenee. Ääniaallot saavat absorboivan eli vaimentavan aineen värähtelemään tietyllä taajuudella, ja näin osa äänestä muuttuu lämmöksi huokoisen aineen sisäisen kitkan ansiosta, aineen värähtelyn vaikutuksesta. [16.]



KUVA 10. Äänen absorboituminen

Kuvasta 10 nähdään, miten ääniaalto käyttäytyy kohdatessaan absorboivan materiaalin. Osa ääniaallosta heijastuu pinnasta, osa läpäisee sen, ja osa absorboituu materiaaliin. Kuvassa absorboituneen ääniaallon molemmin puolin olevilla lyhyillä viivoilla on kuvattu absorboituvan ääniaallon aiheuttaman värähtelyn tuottamaa lämpöä.

3 Äänenmittaus

3.1 Mitattavat suureet

Mittauksessa tärkeimmät suureet ovat äänenvoimakkuus desibeleinä sekä äänen taajuus hertseinä. Ne yhdessä vaikuttavat aistittavan äänen epämiellyttävyyteen. Pelkästään desibelien mittaaminen ei riitä, koska kuuloalueen ulkopuoliset taajuudet vaikuttavat äänenvoimakkuuteen, mutta eivät välttämättä ihmiseen. Myöskään pelkkä taajuuksien mittaaminen ei riitä, sillä epämiellyttävien taajuuksien merkitys on vähäinen, jos niiden äänenvoimakkuus ei ole suuri. Näin ollen desibelien yhdistäminen taajuuksiin tuo esille selkeästi, millä taajuudella mitattu ääni värähtelee ja mikä on sen äänenvoimakkuus. Mittausten perusteella on helppo arvioida, mitkä taajuudet korostuvat ja verrata niitä ihmiselle haitallisimpiin taajuuksiin. Lisäksi mittaustiedot vaikuttavat toisen opiskelijan työhön, koska hänen tutkimuksensa määrittää, miten eri äänieristemateriaalit vaimentavat eri taajuuksia. Tämä helpottaa myös Suomen Ruosteenestoliikkeiden Osuuskunnan työtä äänieristekäsittelyissä.

Mittausjärjestelmän tulee pystyä mittaamaan äänenvoimakkuuden lisäksi äänen taajuutta. Äänentaajuutta tulee voida mitata A-suodatettua taajuuspainotusta käyttäen, jotta voitaisiin kuvata ääniaaltojen vaikutusta siten kuin ihminen ne aistii. Järjestelmä kehitetään siten, että taajuuksia ja desibelejä mitataan tasaisella ajonopeudella ja mittauksia tehdään useilla eri nopeuksilla. Mittauksesta havaitaan mahdolliset taajuuspiikit ja saadaan selville äänen voimakkuus.

3.2 Mittausjärjestelmä

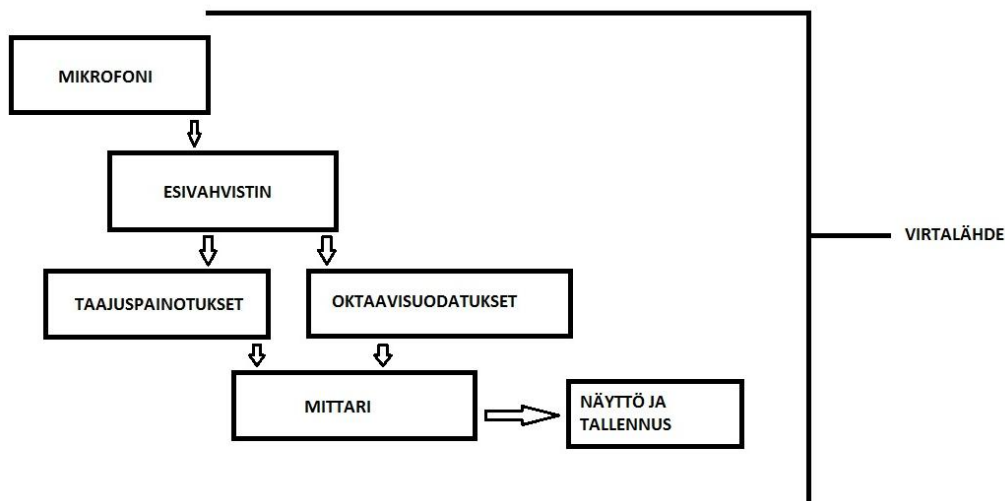
Järjestelmä rakennetaan siten, että tarvittavat suureet saadaan mitattua ja analysoitua samanaikaisesti tietokoneella. Tarkoituksena ei ole tehdä liian monimutkaista järjestelmää, vaan saada selkeitä tuloksia, joista on oikeasti hyötyä. Mittausjärjestelmän laitteista pyydetään tarjous, kun eri toimittajavaihtoehdot on määritetty. Lopuksi järjestelmästä voidaan antaa kustannusarvio. Ensin on kuitenkin määritettävä, mitä laitteita valittujen suureiden mittaamiseksi tarvitaan. Tässä yhteydessä käydään lyhyesti läpi laitteiden toiminta, ominaisuudet ja tarpeellisuus.

Äänitasomittari on itsessään mittausjärjestelmä. Nykyaikaiset äänitasomittarit on rakennettu siten, että erillisiä esivahvistimia tai mittausmikrofoneja ei tarvita, vaan äänitasomittari sisältää itsessään kaikki tarvittavat komponentit. Kuvassa 11 on nykyaikainen äänitasomittari RION NL-42. Kyseessä on sama mittari, jota MIP Electronics Oy:n tarjous koskee (kts. luku 3.3.1 ja liite 1).



KUVA 11. Äänitasomittari RION NL-52 [17]

Mikrofoni reagoi ääniaaltojen värähtelyyn ja välittää ne sähköisenä signaalina esivahvistimelle. Esivahvistimelta ääni menee joko taajuuspainotuksien (A, C tai Z) tai oktaavisuodatuksen läpi analysoivalle mittarille. Mittari suorittaa äänisignaalille varsinaisen mittauksen, josta selviää äänen painotettu tai painottamaton taajuus ja äänenvoimakkuus. Mittarilta signaali etenee äänitasomittarin näytölle ja tallennukseen, jotta mittaustietoja voidaan tarvittaessa käsitellä myöhemmin esimerkiksi tietokoneella. Virtalähde mahdollistaa kaiken edellä mainitun toiminnan. Kaaviossa 1 on kuvattu edellä mainittu toiminta lohkokaaavana.



KAAVIO 1. Äänitasomittarin lohkoakaavio

3.2.1 Mikrofoni

Mikrofoni on mittauksissa välttämätön laite, koska ilman sitä ei ääniaaltoja voida havaita ja muuttaa sähköiseen muotoon.

Mittausmikrofonien tehtävänä on havaita äänen aiheuttamia äänenpaineen muutoksia. Mikrofonien toimintaperiaatteena on, että äänenpaine muuttaa mikrofoniakalvon ja kalvon takana olevan taustalevyn välistä kapasitanssia. Tämä kapasitanssin muutos yhdessä polarisaatiojännitteen kanssa aiheuttaa jännitevarauksen, joka esivahvistimen kautta siirretään edelleen äänitasomittarille tai analysaattorille. [18.]

Mikrofoneja on olemassa sekä erillisiä että sisäänrakennettuja. Sisäänrakennetut ovat käytännössä äänitasomittarin sisällä. Mikrofoneilla on myös erilaisia keiloja, jotka kuvastavat mikrofonin "aistimaa" aluetta. Joillakin mikrofoneilla on laajempi keila kuin toisilla, ja se riippuu täysin käyttötarkoituksesta.

3.2.2 Esivahvistin

Esivahvistimen tehtävä mittauksessa on vahvistaa mikrofonilta tulevaa signaalia ja välittää se äänitasomittarille. Tässä tapauksessa kyseessä on siis esivahvistin, jonka tehtävänä on vahvistaa signaalia sopivaksi käsittelyä varten. [19.]

Esivahvistimella on kolmivaiheinen rakenne. Se koostuu ottoasteesta, ohjainasteesta ja antoasteesta. Ottoasteen tarkoitus on toimia puskurina mikrofonilta tulevan signaalin ja

ohjainasteen välillä. Ohjainasteessa on signaalin vahvistava ja vaimentava piiri. Antoasteen tehtävä on sovittaa ohjainasteelta tuleva signaali mittarille sopivaksi. [20.]

3.2.3 Taajuuspainotukset ja oktaavisuodatus

Äänitasomittarin ominaisuuksista riippuen, voidaan äänisignaali käsitellä joko taajuuspainotettuna tai erilaisilla oktaavisuodatuksilla. Äänitasomittareissa on yleensä sitä enemmän taajuuksia mitä kalliimpi laite on kyseessä.

Taajuuspainotukset voivat olla A-, C- tai Z-painotuksia, kuten aiemmin todettiin. Useissa mittareissa on myös mahdollista tehdä oktaavisuodatus taajuuspainotuksen sijasta. Tämä suodatus asettaa taajuudet oktaaveittain, jolloin taajuuksia ei suoraan nähdä mittarista, vaan esitys on oktaavikaistoittain.

3.2.4 Mittari

Äänitasomittarin älykäs osa on mittari, jolla äänisignaali analysoidaan. Tämän komponentin ansiosta, voidaan mittarin näytöllä esittää tietoa äänisignaalista. Se tekee äänisignaalielle varsinaisen mittauksen, josta selviää halutut parametrit. Äänitasomittarin ominaisuuksista riippuu se, kuinka monta parametria mittari pystyy äänestä analysoimaan. Yleensä mittarit analysoivat signaalista äänen taajuuden, äänenvoimakkuuden.

3.2.5 Näyttö ja tallennus

Signaalin tultua mittarilta se esitetään äänitasomittarin näytöllä ja sitä voidaan myös tallentaa. Esitystapoja on yhtä monta kuin on äänitasomittareitakin. Äänen tallennus on tärkeää, jos mittauksista haluaa myöhemmin tarkastella ja muokata tietokoneella. Tällainen voisi tulla kysymykseen, jos äänitasomittari ei pysty tekemään signaalista Fourierin-muunnosta, jolloin se voidaan toteuttaa tietokoneella. Lisäksi tietokoneella on äänitasomittarin näyttöä helpompi ja selkeämpi tarkastella äänisignaalia ja sen spektriä. Kuten luvussa 2.4 todettiin, on kuitenkin hyvä muistaa, että tallennettu ääni ei koskaan täysin vastaa alkuperäistä.

3.2.6 Virtalähde

Äänitasomittarin komponentit tarvitsevat virtaa toimiakseen, ja siksi virtalähde on niiden toiminnan kannalta välttämätön. Virtalähde tuottaa komponenteille niiden vaatiman käyttö- ja polarisaatiojännitteen. Virtalähteellä on kuitenkin muitakin ominaisuuksia, kuten signaalin vaimennus ja vahvistus sekä erilaisia suodattimia, joilla vältetään ei-toivottuja ylikuormituksia. [21.]

3.3 Toimittajavaihtoehdot

Alla on esitetty mittausjärjestelmän hankintaa koskevat toimittajavaihtoehdot. MIP Electronics Oy:ltä sekä Oy Teknocalor Ab:ltä on saatu tarjous sopivasta mittausjärjestelmästä ja oppilaitoksella, Metropolia Ammattikorkeakoulu Oy:llä, on hallussaan sopiva mittausjärjestelmä.

3.3.1 MIP Electronics Oy

MIP Electronics Oy on keravalainen mittalaitteiden asiantuntija ja jälleenmyyjä, joka perustettiin vuonna 1986. Oy Wärtsilä Ab:n käynnistämä mittauslaitteiden liiketoiminta on ajan myötä sulautunut osaksi nykyistä MIP Electronics Oy:tä. [22.]

MIP Electronics Oy antoi tarjouksen (liite 1) äänitasomittari RION NL-52:sta sekä sen lisälaitteista. Tarjouksessa on vaihtoehtoisia paketteja riippuen siitä, mitä laajennuksia mittariin halutaan.

NX-42EX-toimintokortilla mittarista saadaan ”laajakaistaloggeri”, joka on tarjoajan mukaan ihanteellinen lähtötason tutkimuksia ja niiden noudattamisen valvontaa varten.

NX-42WR-optiolla äänitasomittarin pakkaamaton ääni voidaan tallentaa wav-tiedostoina. Tämän option avulla tietoa voidaan tuoda suoraan taulukkolaskentaohjelmaan, kuten Microsoft Office Excel -ohjelmaan. Nauhoitetun äänen voi myös toistaa millä tahansa mediasoittimella.

Rion AS-60 Data Management Software -ohjelmalla ääntä voidaan analysoida ja tarkastella tietokoneella. Ohjelmalla voi myös luoda kaavioita ja raportteja.

Äänitasomittariin voidaan myös lisätä NX-42RT-toiminto, jolla saadaan 1/1- sekä 1/3-oktaavikaistat esille mittarista.

Äänitasomittarin kalibroimiseksi tarjouksessa on ehdotettu RION NC-74-kalibraattoria.

Tarjouksen hinnat ovat seuraavat:

| | |
|---|-----------------|
| - NL-52 perusmalli, luokka 1 | 2.975,- alv 0 % |
| - NL-52EX, sis. loggaus | 3.510,- alv 0 % |
| - NL-52EX+NX+WR, loggaus + äänitys | 4.585,- alv 0 % |
| - NX-42RT, 1/1, 1/3-oktaavien laajennuskortti | 2.650,- alv 0 % |
| - AS-60 Data Management Software | 1.690,- alv 0 % |
| - RION NC-74-kalibraattori | 1.150,- alv 0 % |

Mikrofonien jatkokaapelit:

| | |
|--------------------------------------|---------------|
| - EC-04A, jatkokaapeli 5 m | 175,- alv 0 % |
| - EC-04B, jatkokaapeli 10 m | 225,- alv 0 % |
| - EC-04C, jatkokaapeli 30 m, kelalla | 685,- alv 0 % |
| - EC-04D, jatkokaapeli 50 m, kelalla | 880,- alv 0 % |

3.3.2 Oy Teknocalor Ab

Teknocalor on vuonna 1958 perustettu vantaalainen talotekniikan ammattilaisista koostuva perheyrittäjä, joka myy ja markkinoi kansainvälisiä, alansa johtavia tuotebrändejä. Teknocalorin tavoitteena on jatkuvasti kehittää ja tuoda markkinoille laadukkaita LVI-tuotteita ja varmistaa monipuolinen tuotevalikoima ammattilaisille ja

jälleenmyyjille. Toimipisteet sijaitsevat Vantaalla ja Tampereella, joissa työskentelee 30 ammattilaista. [23.]

Oy Teknocalor Ab antoi tarjouksen kaistalaajennuksella varustetusta Cesva SC-310-reaaliaika-analysointilaiteesta (liite 2).

Tarjouksen hinnat ovat seuraavat:

- Cesva SC-310 RTA 1/1 ja 1/3 4.280,- alv 0 %
- Kaistalaajennus (10 Hz...20 kHz ja FFT430, 20 kHz) 720,- alv 0 %

Analysointilaiteeseen saa Oy Teknocalor Ab:n mukaan paljon erilaisia lisävarusteita. Tarjouksessa ehdotetut vaihtoehdot ovat:

- Mikrofonin ja esivahvistimen jatkojohto 3m 305,- alv 0 %
- Capture Studio Editor -tietokoneohjelma 390,- alv 0 %

Cesva SC-310 RTA -mittarin hintaan sisältyy 1.luokan reaaliaika-analysointilaite, jossa on irrotettava esivahvistin ja mikrofoni, paristo, suojakotelo, Capture Studio -tietokoneohjelma, USB-kaapeli ja käyttöohje.

3.3.3 Metropolia Ammattikorkeakoulu Oy

Oppilaitoksella on Kalevankadun toimipisteessä energiatekniikan laboratoriossa, käytössä mittausjärjestelmä, joka sisältää kannettavan tietokoneen, NI SC-2345 -mittalaitteen ja viisi PCB 130D20 -mikrofonia. Mittaus suoritetaan ohjelmalla, jonka tuntiopettaja Tomi Hämäläinen on tehnyt NI LabVIEW -tietokoneohjelmalla. Tätä mittausjärjestelmää käytettäessä ei tarvitsisi tehdä mitään hankintoja.

3.4 Mittausjärjestelmän valinta

Mittausjärjestelmän valintaan vaikuttavat mitattavat suureet sekä järjestelmän kustannukset. Järjestelmän valitsemiseksi vertaillaan toimittajavaihtoehtojen tarjoamien laitteiden ominaisuuksia ja hintaa. Mittausjärjestelmälle on tietyt

vaatimukset, jotka laitteiden tulee täyttää, jotta haluttu lopputulos on mahdollista saavuttaa.

3.4.1 Järjestelmälle asetettavat vaatimukset

Mittausjärjestelmän tulee pystyä mittaamaan äänenvoimakkuutta ja äänen taajuutta sekä sen pitää tukea A-suodatettua taajuuspainotusta. Mitatusta signaalista pitää saada selville äänen painetaso sekä taajuus suhteessa äänen painetasoon. Kuten kaikissa hankkeissa, kulut ovat merkittävä tekijä tässäkin työssä. Jos oppilaitoksen mittausjärjestelmä täyttää asetetut vaatimukset, alhaiset kustannukset puoltavat sen valintaa.

3.4.2 Vertailu

Vertailussa on tuotu kolmen toimittajavaihtoehdon tarjoamat mittalaitteet rinnakkain tarkastelua varten ja tulokset nähdään taulukosta 1. Oy Teknocalor Ab:n hinta sisältää Cesva SC-310 RTA reaaliaika-analysaattorin, kaistalaajennuksen sekä Capture Studio Editor -tietokoneohjelman. Metropolia Ammattikorkeakoulu Oy:n hinta sisältää kannettavan tietokoneen, NI SC-2345 -mittalaitteen, viisi PCB 130D20 -mikrofoonia sekä tarvittavat johdot. MIP Electronics Oy:n hinta sisältää RION NL-52 -äänitasomittarin, NX-42EX- ja NX-42WR-toimintokortin, AS-60 Data Management Software -tietokoneohjelman sekä kalibraattorin.

TAULUKKO 1. Toimittajavaihtoehtojen tarjoamien mittalaitteiden vertailu

| Laitteet ja toimittajat | Äänenvoimakkuus | Äänen taajuus | Taajuuspainotus dB(A) | Signaalin tallennus | Signaalin siirto PC:lle | Hinta (€, alv 0 %) |
|---|-----------------|---------------|-----------------------|---------------------|-------------------------|--------------------|
| Cesva SC-310 RTA (Oy Teknocalor Ab) | KYLLÄ | KYLLÄ | KYLLÄ | KYLLÄ | KYLLÄ | 5390,0 |
| Mittausjärjestelmä (Metropolia Ammattikorkeakoulu Oy) | KYLLÄ | KYLLÄ | KYLLÄ | KYLLÄ | KYLLÄ | 0 |
| RION NL-52 (MIP Electronics Oy) | KYLLÄ | KYLLÄ | KYLLÄ | KYLLÄ | KYLLÄ | 7425,0 |

Kuten taulukosta 1 nähdään, kaikki mittalaitteet täyttävät mittausjärjestelmälle asetetut vaatimukset. Vertailun tuloksena oppilaitoksen mittausjärjestelmä nousee selkeästi esille, koska sen käyttö ei aiheuta kustannuksia ja sillä voi suorittaa mittauksen toivotulla tavalla.

3.4.3 Valinta ja perustelut

Mittausjärjestelmäksi päätettiin valita Metropolia Ammattikorkeakoulu Oy:n tarjoama mittausjärjestelmä. Järjestelmän valintaa puoltavat sen riittävät ominaisuudet sekä ylivoimaisen edulliset kustannukset. Mittausjärjestelmä täyttää asetetut vaatimukset, ja se on näin ollen täysin riittävä käytettäväksi mittauksissa.

4 Testaaminen

4.1 Ajoneuvot ja mittaustavoitteet

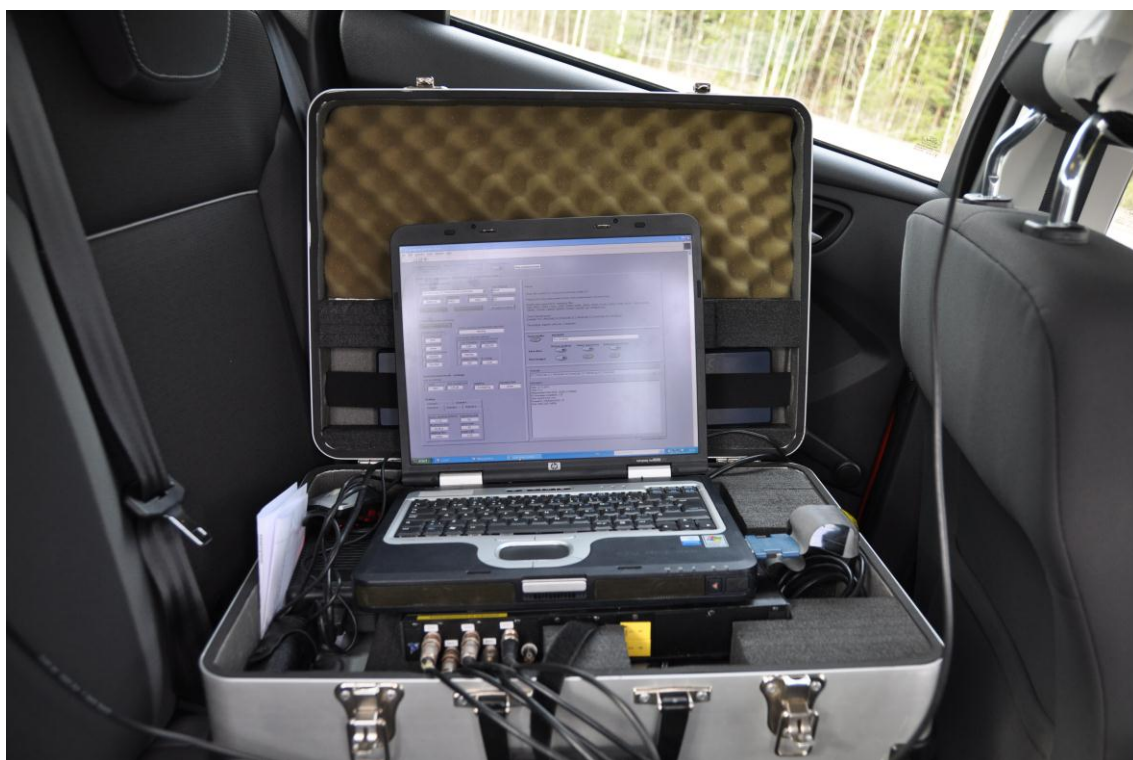
Mittauksiin saatiin Suomen Ruosteenestoliikkeiden Osuuskunnan kautta Ford-maahantuojan esittelyauto, Ford Focus 1.6 Trend, joka on kuvassa 12. Mittaukset suoritettiin myös kahdelle muulle autolle, mutta aikataulun vuoksi niitä ei ole käsitelty tässä työssä. Mittaustavoitteina oli suorittaa toisiinsa verrattavissa olevia mittauksia ja saada mittauksista riittävän tarkkoja. Lisäksi oli tavoitteena nähdä selkeitä eroja mittaustuloksissa äänieristyskäsittelyn jälkeen.



KUVA 12. Ford Focus 1.6 Trend -henkilöauto

4.2 Mittausjärjestely

Mittausjärjestelyihin kuului tarvittavien laitteiden lainaaminen oppilaitokselta ja tarvittaessa uusien ostaminen. Mittauksia varten ostettiin vaihtosuuntaaja eli invertteri, joka muuntaa tasavirtaa vaihtovirraksi. Vaihtosuuntaaja otti 12 V:n jännitteen tupakansytyttimen liitännästä, ja se tuotti tarvittavan virran kannettavalle tietokoneelle sekä NI SC-2345 -mittalaitteelle autossa. Lisäksi autossa oli mukana Tom Tom Go Live 1005 -navigaattori, jakorasia sekä teippiä mikrofoniin nopean kiinnittämisen ja irrottamisen vuoksi. Kuvassa 13 on mittausjärjestelmä toiminnassa.



KUVA 13. Mittausjärjestelmä toiminnassa

Mittaukset suoritettiin ohjaamon äänilähteistä insinööriyötään tekevän Joonas Savolaisen kanssa, jolloin toinen saattoi hallita mittalaitteita ja toinen ajaa mitattavaa autoa. Kuljettaja pidettiin koko ajan samana, jotta vältettiin ajotyylin erilaisuuden vaikutukset mittaustuloksiin. Mittalaitteiden käyttäjä istui auton takapenkillä ja käytti kannettavaa tietokonetta ajon aikana. Mittaukset suoritettiin nopeuksilla 40, 50, 60, 80, 100 ja 120 km/h. Nopeuden tarkkuus oli ± 2 km/h. Lisäksi suoritettiin tyhjäkäyntimittaus korotetulla kierrosluvulla, joka oli 3000 kierrosta minuutissa (rpm), tarkkuuden ollessa ± 100 kierrosta minuutissa. Mittaukset tehtiin autolle ennen

äänieristyskäsittelyä ja äänieristyskäsittelyn jälkeen ja ne suoritettiin samalla tieosuudella, teillä numero 130 ja E12. Yksittäisen mittauksen pituus oli 60 sekuntia, koska mittausjärjestelmä antoi sitä tarkemman keskiarvon, mitä pidempi mittaus oli. Tasaisen nopeuden mittaukset ajettiin vaihteella, jolla moottorin kierrosluku oli lähimpänä 2000 kierrosta minuutissa. Mittausten ajaksi radio ja ilmastointi kytkettiin pois päältä eikä sisäilmanpuhallinta käytetty. Autossa oli Michelin 215/55 R16 -renkaat. Auton äänieristyskäsittely tehtiin ruiskutettavalla Noxudol 3100 -äänieristemassalla ja 2 mm paksulla äänieristematolla. Äänieristemassalla käsiteltiin auton pohja, pyörän kaarien sisäpuoli sekä alustan osat, minkä jälkeen alueet käsiteltiin vielä ruosteenestoaineella. Äänieristemattoa käytettiin takatavaratilan eristämiseen.

4.3 Mittaustulokset ja analysointi

Tämän työn tuloksissa on keskitytty analysoimaan kuljettajan niskatukeen kiinnitetyn mikrofonin mittaamia taajuuksia sekä äänen painetasoja. Joonas Savolaisen työssä on keskitytty äänilähteisiin ja siinä on käsitelty mittaustuloksia auton muista mittauskohteista. Kuljettajan niskatukeen kiinnitetyn mikrofonin mittauspää osoitti mittausten aikana kohti tuulilasiasia. Kuvasta 14 nähdään mikrofonin kiinnitys mittaustilanteessa.



KUVA 14. Kuljettajan niskatukeen kiinnitetty mikrofoni

Tulokset on esitetty siten, että käsittelemättömän auton ja käsitellyn auton mittaustulokset eri nopeuksilla on esitetty peräkkäin, jotta niiden vertailu olisi helppoa. Sää oli lähes identtinen sekä ennen äänieristyskäsittelyä tehdyn mittauksen että äänieristyskäsittelyn jälkeen tehdyn mittauksen aikana. Taivas oli puolipilvinen ja lämpötila +10-13 °C. Mainittakoon, että auton ohjaamomelu oli kuljettajan mukaan tasaista kohinaa eikä selkeästi poikkeavia ääniä esiintynyt paitsi muun liikenteen vaikutuksesta. Tällaisia tilanteita olivat esimerkiksi ohitustilanteet.

Taulukossa 2 on esitetty kuljettajan niskatukeen kiinnitetyn mikrofonin mitaamat äänen painetasot sekä käsittelemättömästä että käsitellystä autosta.

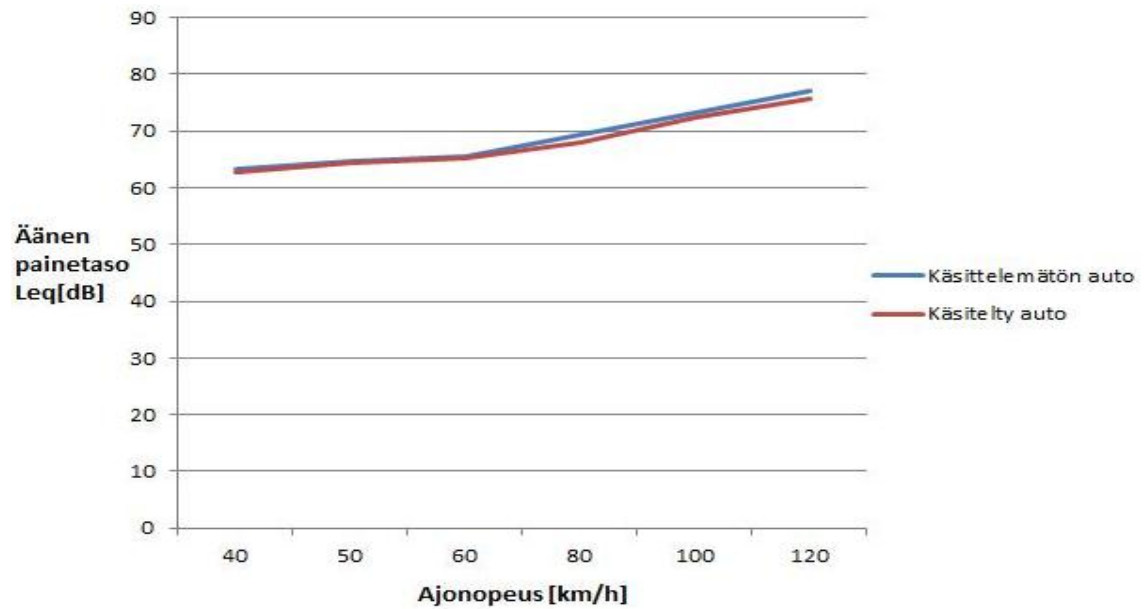
TAULUKKO 2. Ford Focus 1.6 Trend:n mittaustulokset kuljettajan niskatuelta

| Käsittelemätön auto | | Käsitelty auto | Erotus |
|----------------------|---------|----------------|---------|
| Ajonopeus [km/h] | Leq[dB] | Leq[dB] | Leq[dB] |
| 40 | 63,32 | 62,83 | 0,49 |
| 50 | 64,62 | 64,49 | 0,13 |
| 60 | 65,55 | 65,32 | 0,23 |
| 80 | 69,37 | 67,91 | 1,46 |
| 100 | 73,2 | 72,52 | 0,68 |
| 120 | 77,19 | 75,61 | 1,58 |
| Tyhjäkäynti 3000 1/s | 57,76 | 58,5 | -0,74 |

Kuten taulukosta 2 nähdään, ohjaamon äänen painetasot eri nopeuksilla eivät juuri muuttuneet äänieristyskäsittelyn myötä. Parannusta on tapahtunut vain hieman kaikissa muissa mittauksissa paitsi tyhjäkäyntimittauksessa, mutta erot eivät ole suuria. Kuljettajan mukaan selkeästi havaittavia melueroja ei ollut, ja tulosten perusteella selkeää vaimenemista ei ole tapahtunut. Mittaustarkkuus sekä monet muut tekijät vaikuttavat todennäköisesti mittaustuloksiin. Näitä tekijöitä on käsitelty luvussa 5.2.

Kaaviossa 2 on esitetty käsittelemättömän ja käsitellyn auton äänen painetasot kuvaajina. Kaaviossa sininen käyrä on käsittelemättömän ja punainen käsitellyn auton kuvaaja.

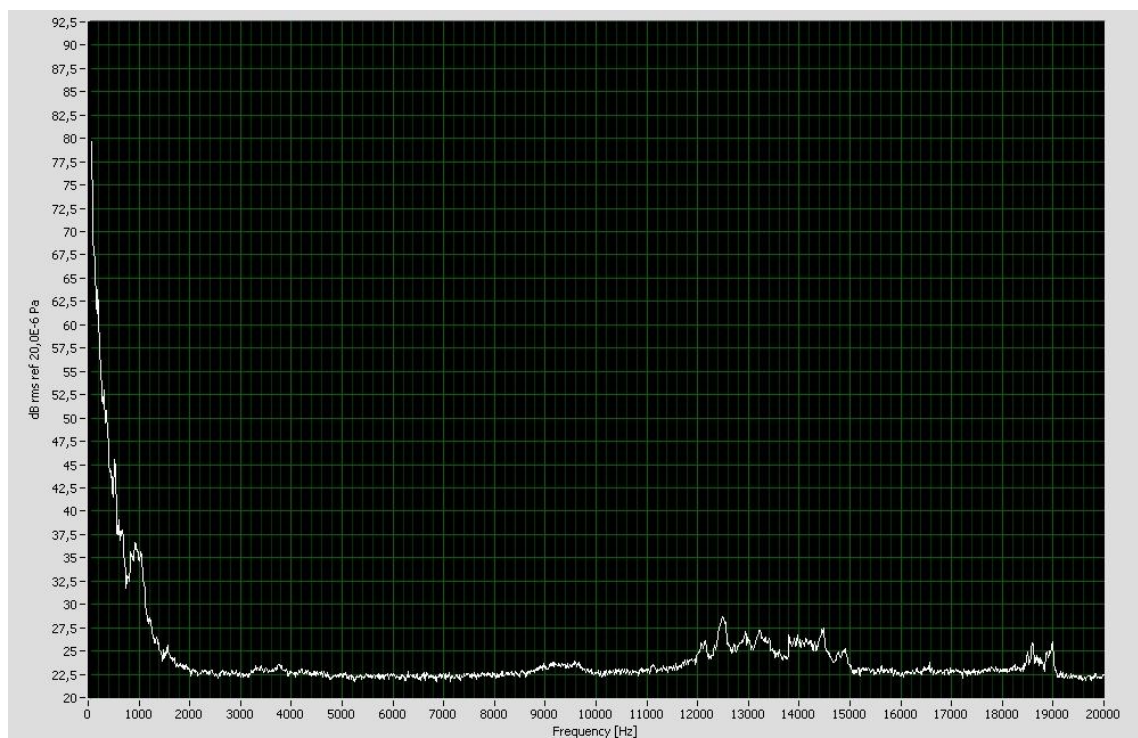
KAAVIO 2. Käsittelemättömän ja käsitellyn auton äänen painetasokuvaajat



Kuvaaja 2 selventää hyvin käsittelemättömän ja käsitellyn auton ohjaamomelun pientä vaimentumista. Lisäksi kuvaajasta nähdään, että ohjaamomelun äänen painetason nousu on melko lineaarista ja suhteessa ajonopeuteen.

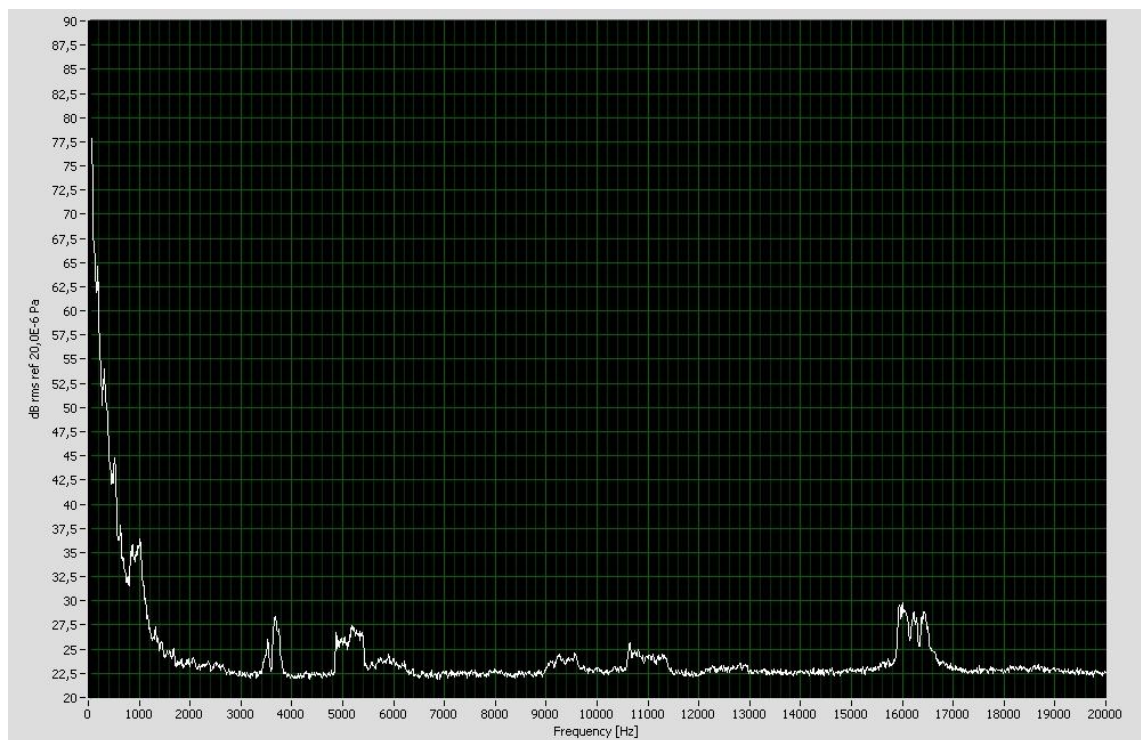
Seuraavaksi työssä käsitellään mittaustulosten taajuuskäyriä. Pystyakselilla on äänen painetaso desibeleinä ja vaaka-akselilla on äänen taajuus hertseinä. Kaikille kuvaajille on ominaista, että merkittävin osa äänen painetasosta ja taajuuksista on välillä 0-3,0 kHz. Taajuuskäyrissä on myös korostuneita taajuusalueita, joiden äänen painetaso ei ole kovin korkea. Nämä korostuneet taajuusalueet voivat johtua esimerkiksi moottorin pyörievien osien aiheuttamista äänistä tai rengasmelusta. On kuitenkin huomattava, että matalat, alle 30 dB:n korostuneet taajuusalueet, eivät ole ohjaamossa selkeästi havaittavia "erillisiä" ääniä. Jos autossa olisi jotakin vikaa, kuten esimerkiksi jarrujen vinkumista, näkyisi se selkeästi näitä korostuneita taajuusalueita korkeampana taajuuspiikkinä kuvaajassa.

Kuvassa 15 on käsittelemättömän auton taajuuskäyrä mittauksesta, kun ajonopeus on ollut 40 km/h. Selkeitä taajuuspiikkejä ei ole, mutta korostuneita taajuusalueita on. Korostuneita taajuusalueita on välillä 0-1,5 kHz, 12-15 kHz ja 18,5-19 kHz. Kuvaajasta voidaan todeta, että ohjaamomelun merkittävimmät ja äänen painetasoltaan voimakkaimmat taajuudet ovat välillä 0-1,5 kHz ajonopeudella 40 km/h.



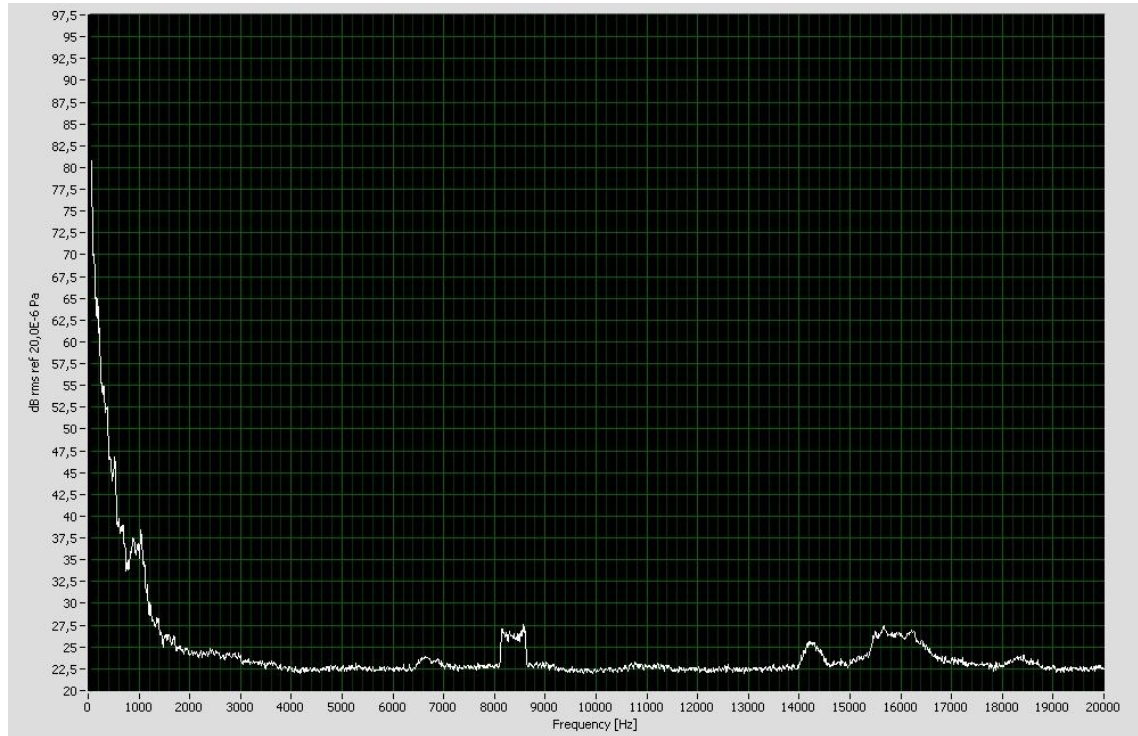
KUVA 15. Käsittelemättömän auton taajuuskäyrä nopeudella 40 km/h

Kuvasta 16 nähdään käsitellyn auton taajuuskäyrä mittauksesta, kun ajonopeus on ollut 40 km/h. Kuten käsittelemättömässäkin autossa, on tässä taajuuskäyrässä korostuneita taajuusalueita, mutta käsitellyssä autossa niitä on enemmän. Käsittelemättömän ja käsitellyn auton taajuuskäyrien merkittävimmät erot ovat korostuneiden alueiden siirtyminen matalemmille taajuuksille sekä korostuneiden alueiden alhaisempi äänen painetaso. Tämä voi johtua auton äänieristyskäsittelyjen osien ominaisvärähtelytaajuuden muuttumisesta käsittelyn yhteydessä, mutta syynä voi olla myös mittausten erilaisuus ja mittavirheet. Pienetkin erot vaikuttavat mittaustuloksiin melko suuresti.



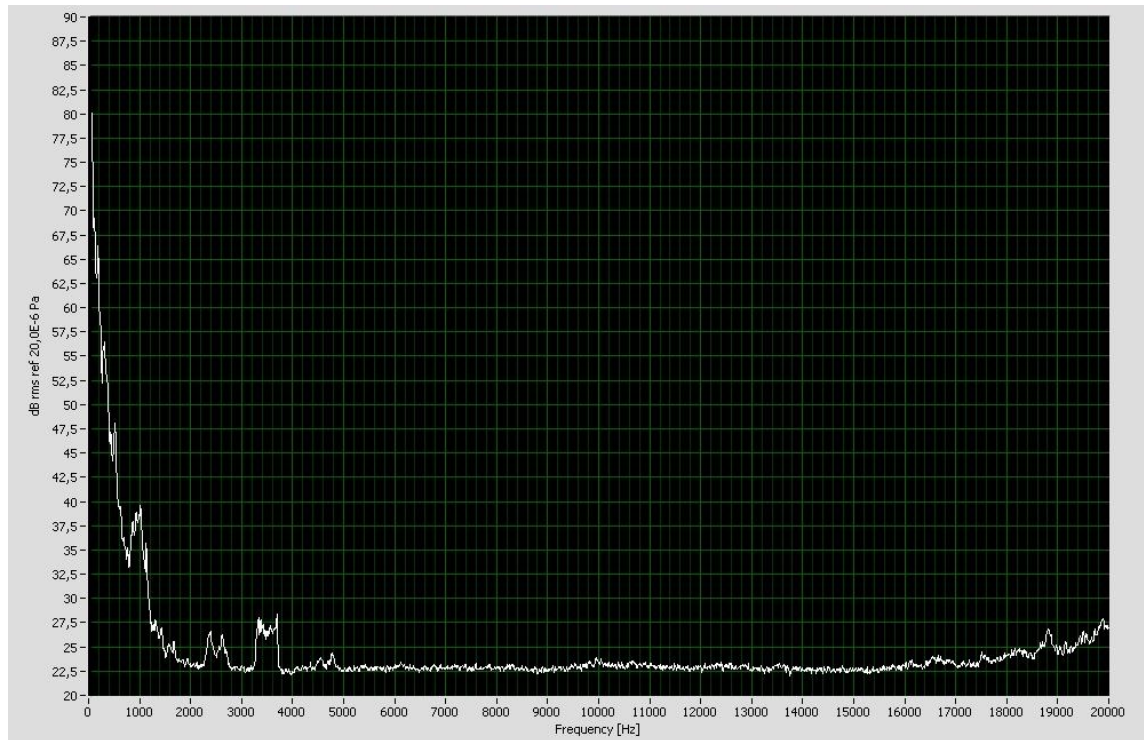
KUVA 16. Käsitellyn auton taajuuskäyrä nopeudella 40 km/h

Kuvassa 17 on käsittelemättömän auton taajuuskäyrä mittauksesta nopeuden ollessa 50 km/h. Korostuneita taajuusalueita on enemmän kuin käsittelemättömän auton taajuuskäyrässä nopeudella 40 km/h. Korostuneet alueet sijoittuvat 8 kHz:n ja 9 kHz:n välille sekä 14 kHz:n taajuudesta ylöspäin.



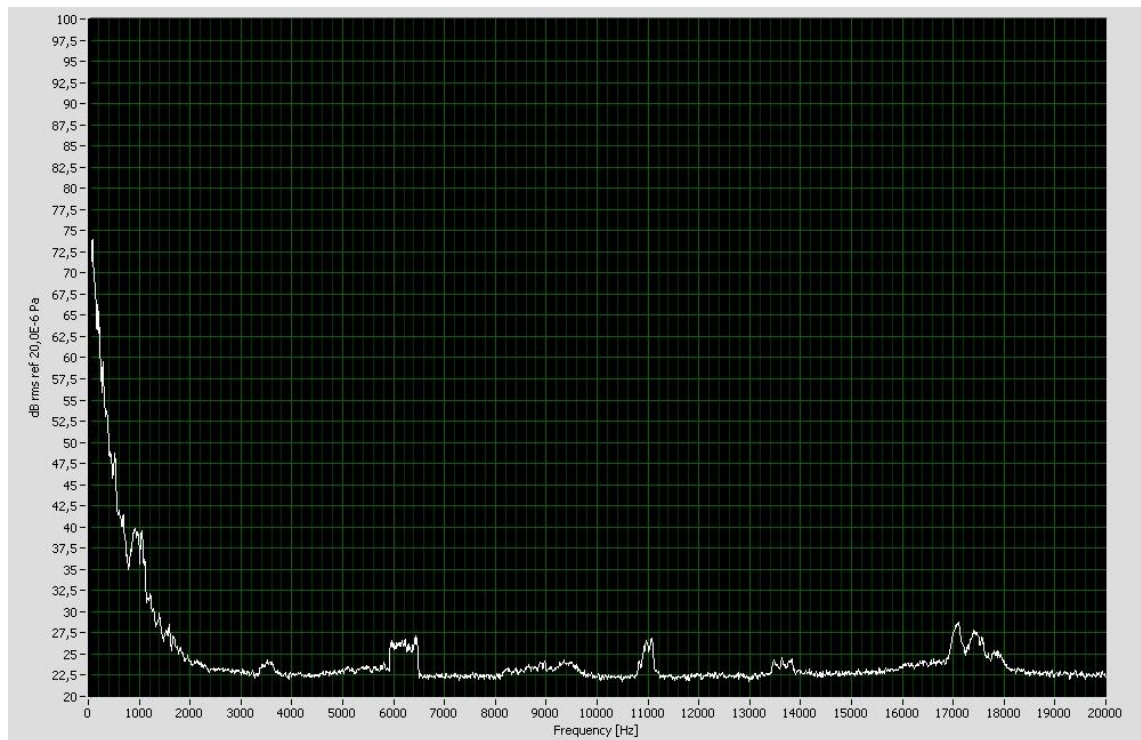
KUVA 17. Käsittelemättömän auton taajuuskäyrä nopeudella 50 km/h

Kuvassa 18 on käsitellyn auton taajuuskäyrä nopeuden ollessa 50 km/h. Käyrä eroaa selkeästi käsittelemättömän auton taajuuskäyrästä, sillä siinä korostuneet taajuusalueet sijaitsevat alhaisilla taajuuksilla. Tosin korkeilla taajuuksilla 17 kHz:stä ylöspäin on alkava korostuneen taajuuden alue.



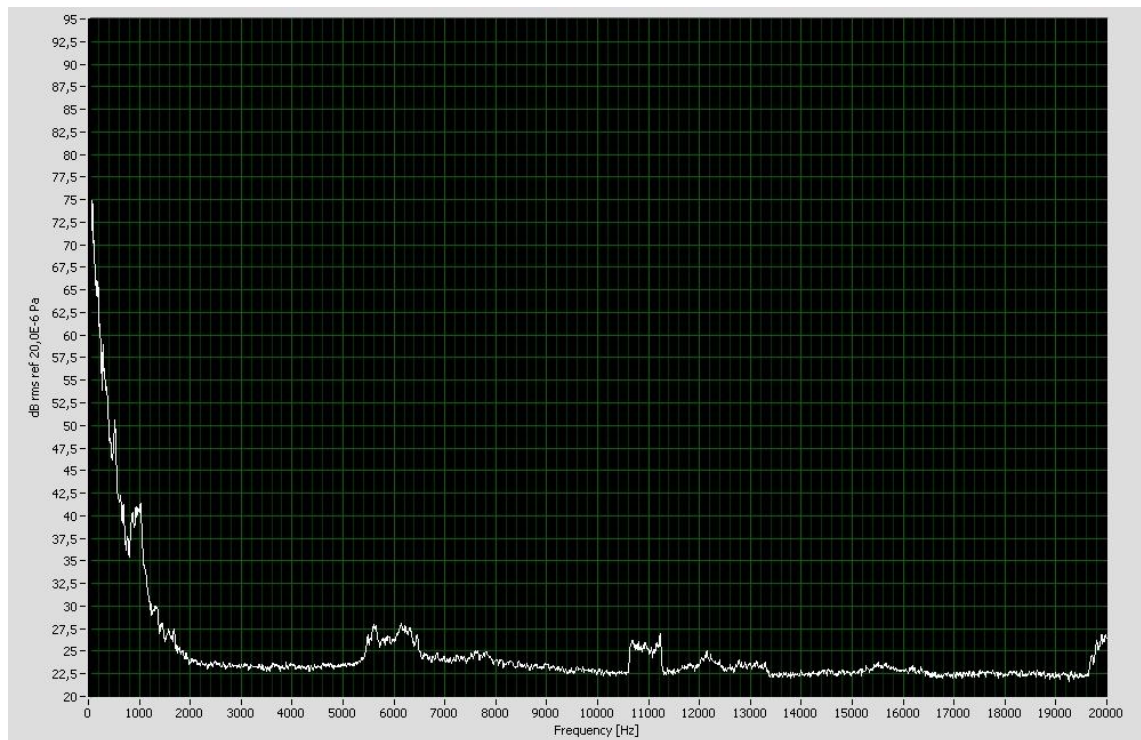
KUVA 18. Käsitellyn auton taajuuskäyrä nopeudella 50 km/h

Kuvassa 19 nähdään käsittelemättömän auton taajuuskäyrä nopeudella 60 km/h. Korostuvia taajuusalueita on enemmän kuin käsittelemättömässä autossa nopeudella 50 km/h, mutta niiden leveys on pienempi.



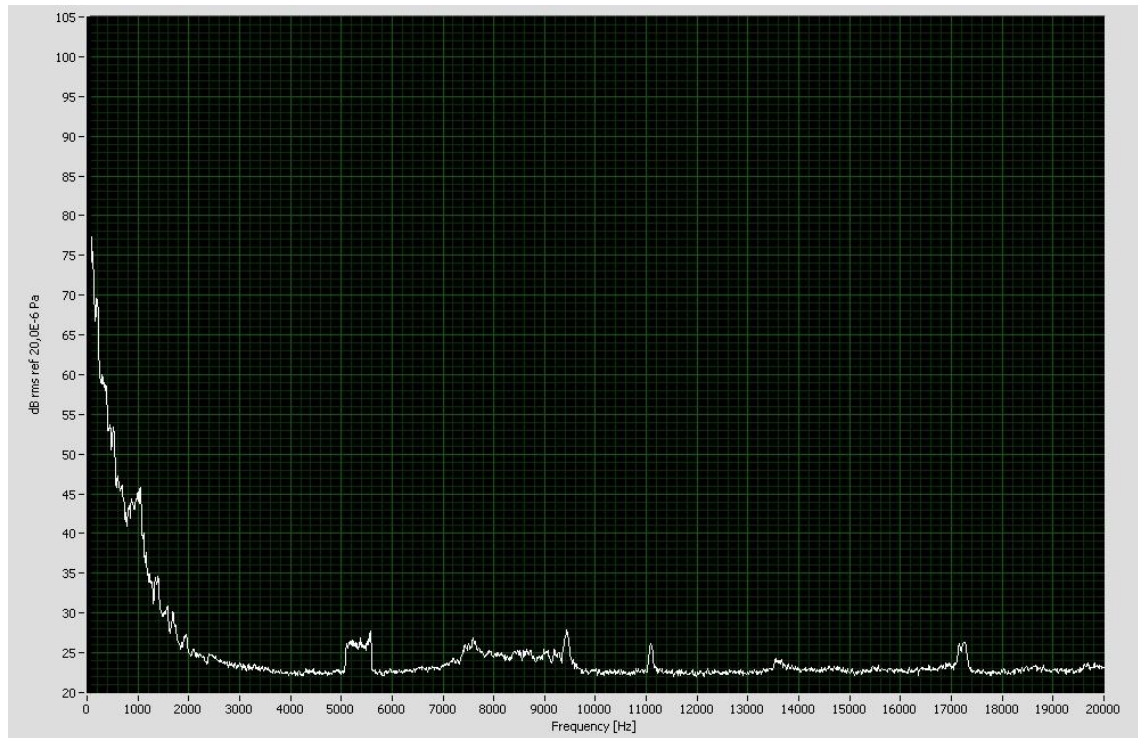
KUVA 19. Käsittelemättömän auton taajuuskäyrä nopeudella 60 km/h

Kuvassa 20 on käsitellyn auton taajuuskäyrä nopeudella 60 km/h. Korostuneita taajuusalueita on vähemmän kuin samalla nopeudella mitatussa käsittelemättömässä autossa. Selkeästi tasaisesti alue on esimerkiksi välillä 13-19,5 kHz. Myös tässä kuvaajassa on nähtävissä alkava korostuneen taajuuden alue 19,5 kHz:n kohdalla. Erot voivat johtua äänieristemassan vaikutuksista eristettyjen alueiden ja osien ominaisvärähtelytaajuuteen.



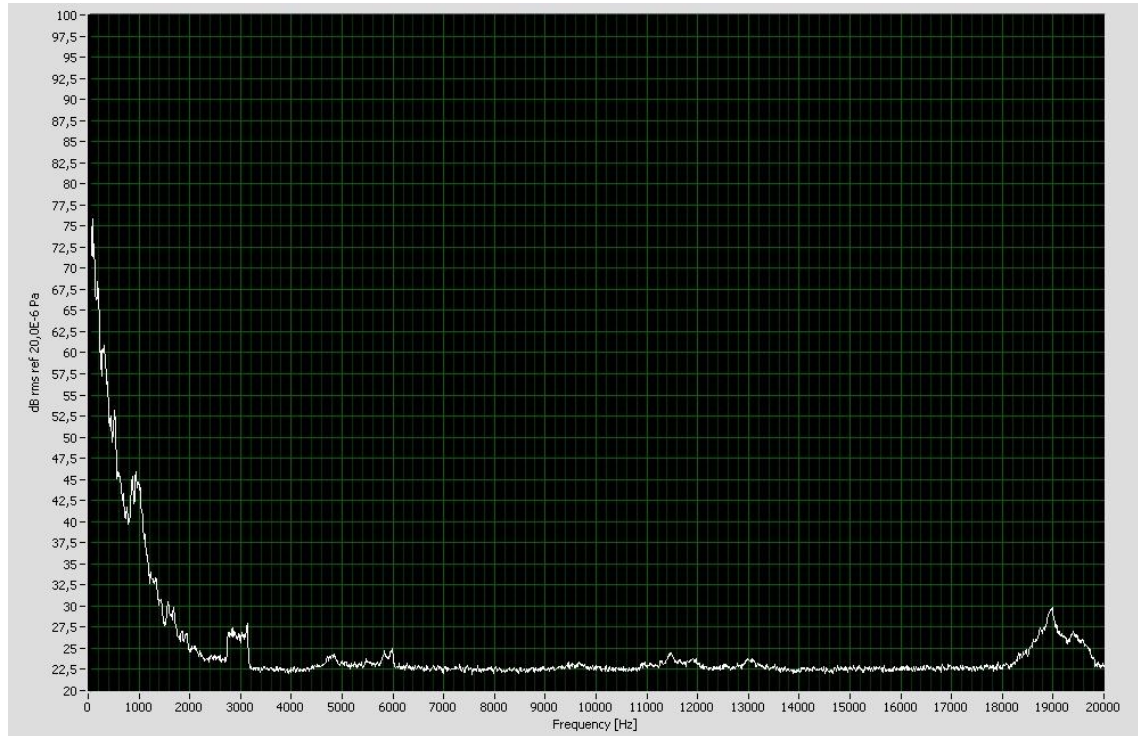
KUVA 20. Käsitellyn auton taajuuskäyrä nopeudella 60 km/h

Kuvassa 21 on käsittelemättömän auton taajuuskäyrä mittauksesta nopeuden ollessa 80 km/h. Korostuneiden taajuusalueiden leveys kapenee edelleen verrattuna käsittelemättömään autoon nopeudella 60 km/h. Nyt korostuneita alueita voisi kutsua jo taajuuspiikeiksi, mutta kuljettajan aistimaa selkeää eroa ei ollut.



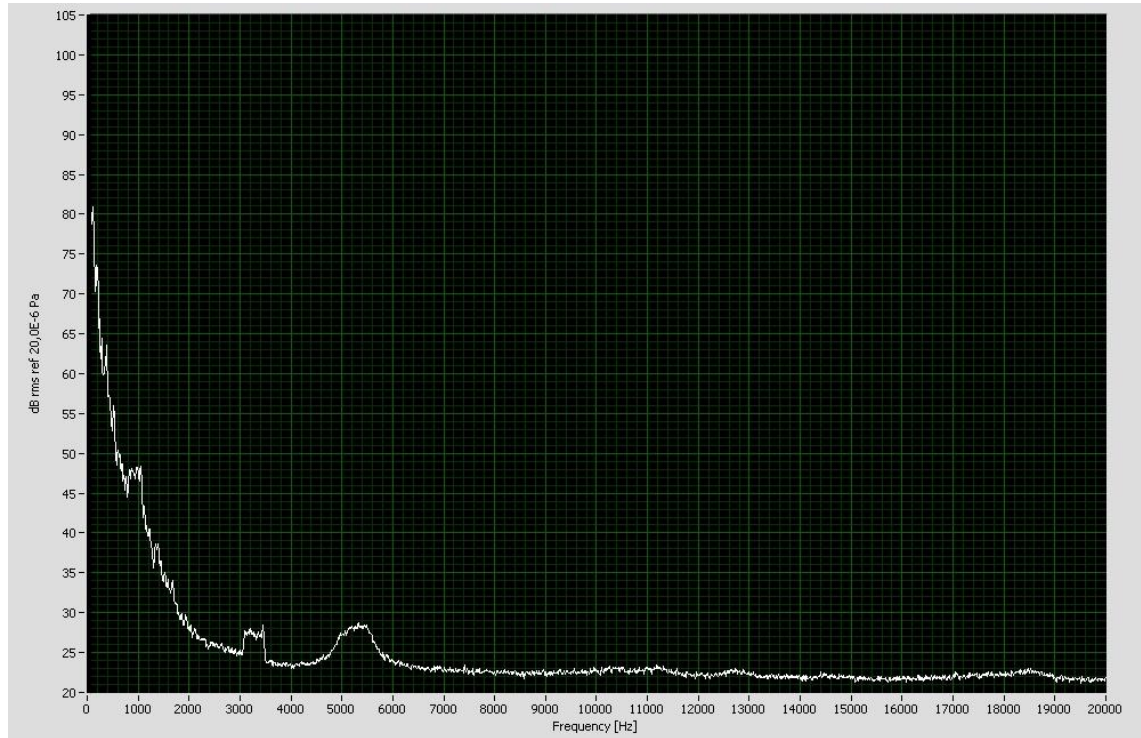
KUVA 21. Käsittelemättömän auton taajuuskäyrä nopeudella 80 km/h

Käsitellyn auton taajuuskäyrä mittauksesta nähdään kuvasta 22 nopeuden ollessa 80 km/h. Taajuuskäyrän korostuneet alueet tasoittuvat edelleen, ja korkeimpien taajuuksien korostunut alue on siirtynyt selkeämmäksi "kohoumaksi" ihmisen kuuloalueelle.



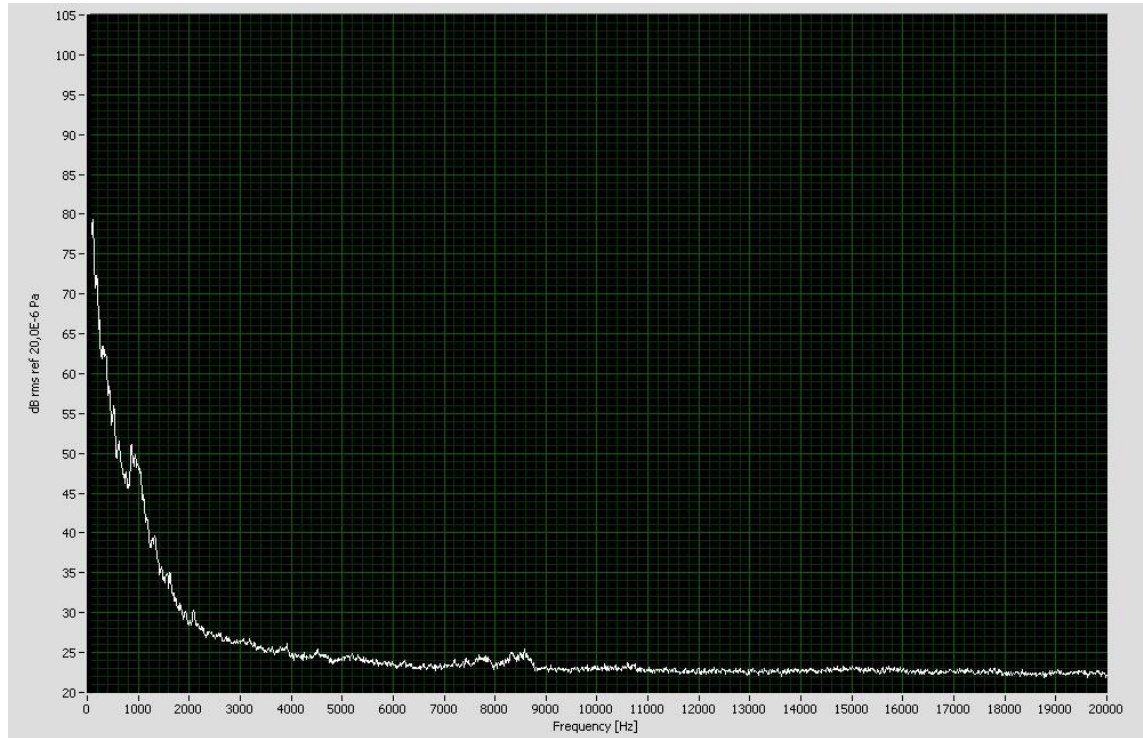
KUVA 22. Käsitellyn auton taajuuskäyrä nopeudella 80 km/h

Kuvasta 23 nähdään käsittelemättömän auton taajuuskäyrä nopeuden ollessa 100 km/h. On huomattava, että nopeuden kasvaessa myös käsittelemättömän auton taajuuskäyrän korostuneet taajuusalueet tasoittuvat. Korostuvat alueet ovat selkeästi asettuneet alhaisille taajuuksille, ja ne ovat välillä 0-5,7 kHz.



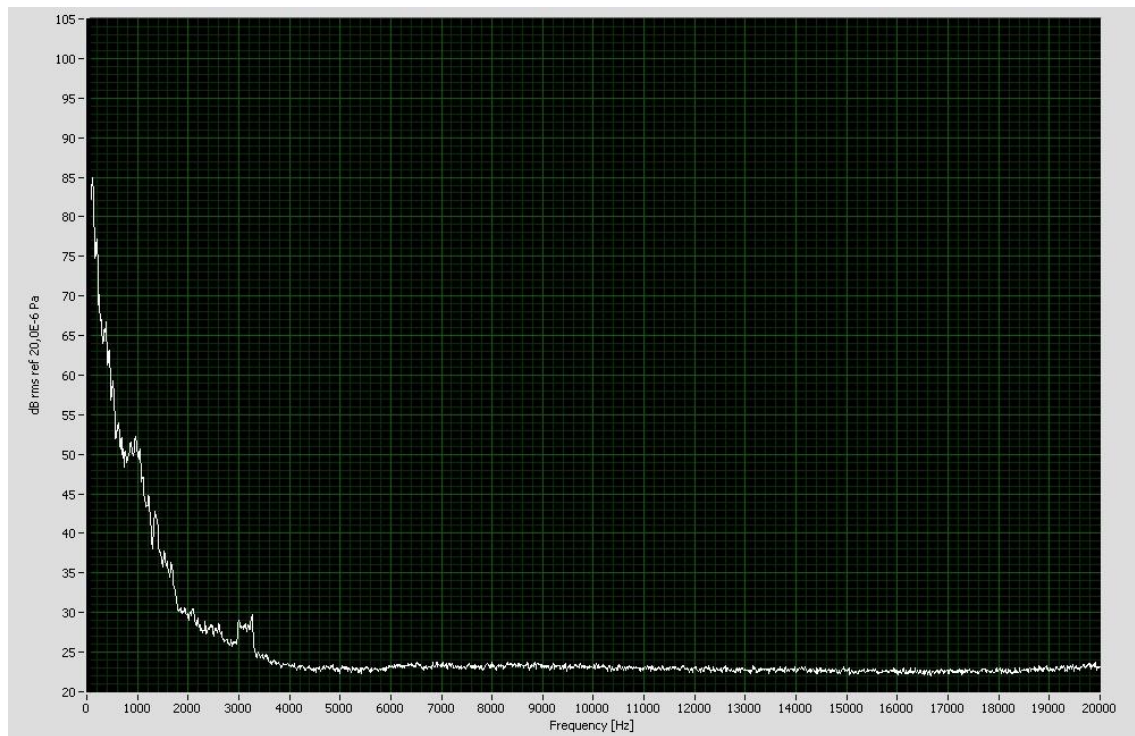
KUVA 23. Käsittelemättömän auton taajuuskäyrä nopeudella 100 km/h

Kuvasta 24 nähdään käsitellyn auton taajuuskäyrä nopeudella 100 km/h. Taajuuskäyrä on huomattavasti tasaisempi kuin käsittelemättömän auton taajuuskäyrä vastaavalla nopeudella, vaikka sekään ei juuri sisällä "kohoumia". Tämän kuvaajan tasaisuus kuvan 23 kuvaajaan verrattuna korostaa äänieristyskäsittelyn hyötyjä.



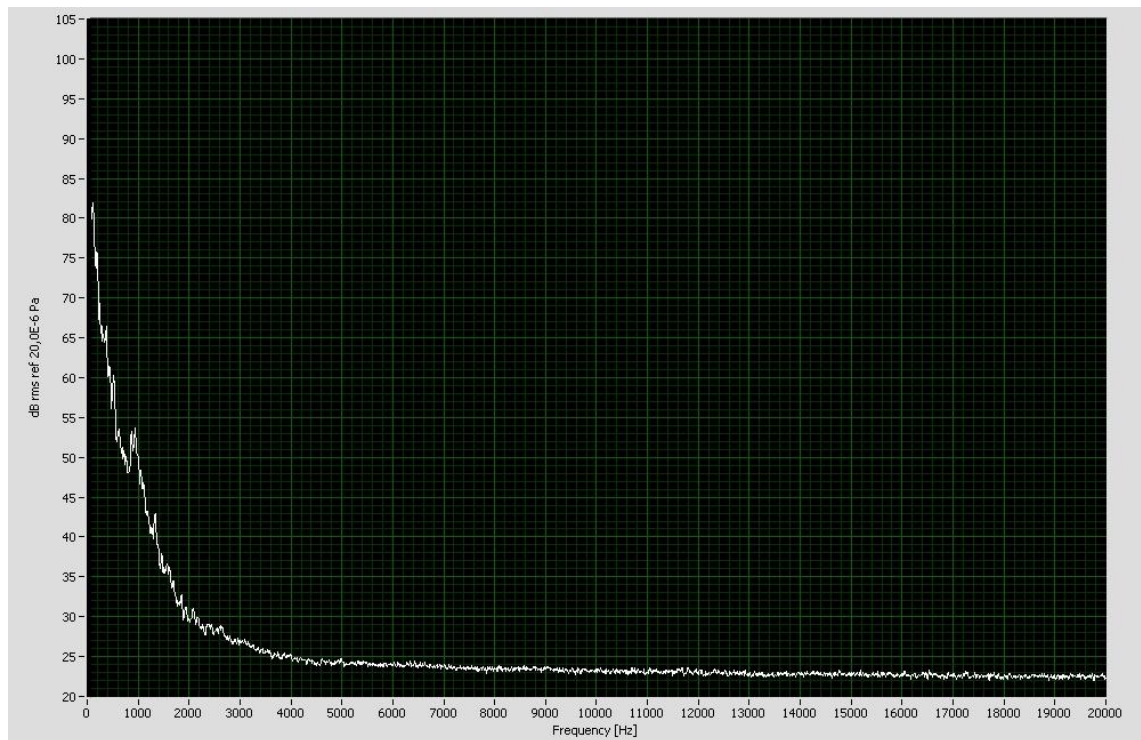
KUVA 24. Käsitellyn auton taajuuskäyrä nopeudella 100 km/h

Kuvassa 25 on käsittelemättömän auton taajuuskäyrä nopeuden ollessa 120 km/h. Kuten jo edellä todettiin, taajuuskäyrä muuttuu tasaisemmaksi nopeuden kasvaessa. Ainoa korostunut taajuusalue on välillä 0-3,4 kHz. Alueella 3,4-20 kHz äänen painetaso on hyvin alhainen verrattuna taajuusalueeseen 0-3,4 kHz. Tästä voidaan päätellä, että nopeuden kasvaessa ohjaamomelu koostuu lähes kokonaan 4 kHz matalammista taajuuksista.



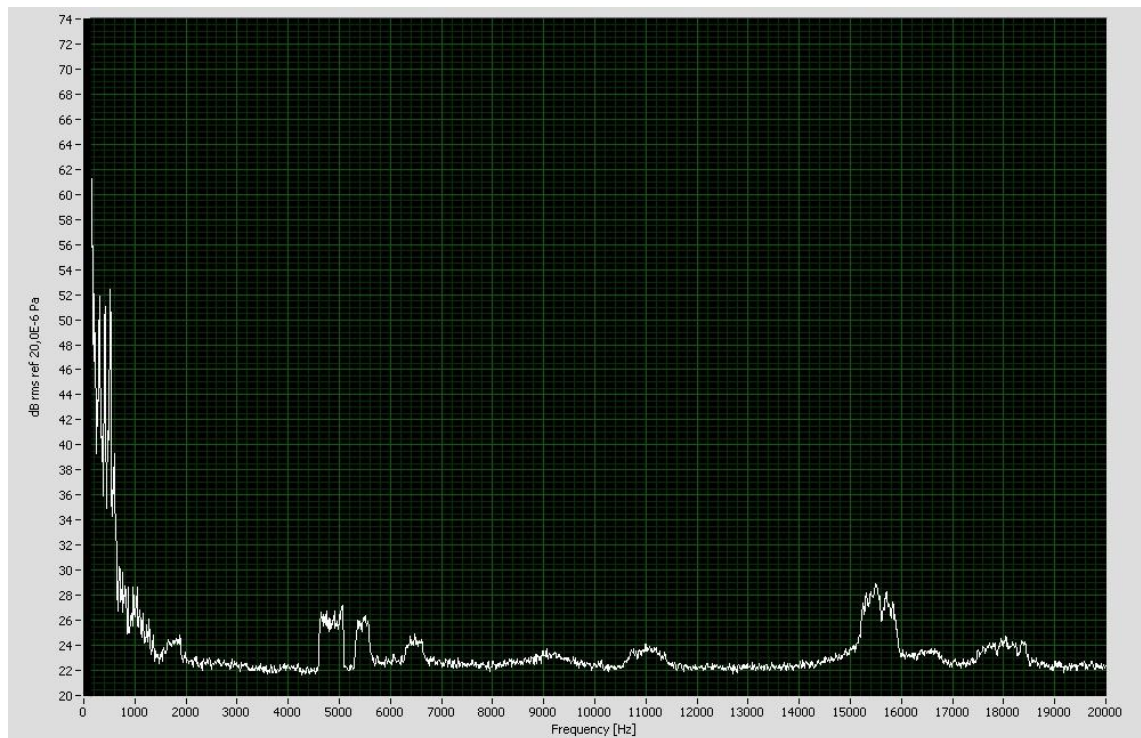
KUVA 25. Käsittelemättömän auton taajuuskäyrä nopeudella 120 km/h

Kuvasta 26 nähdään käsitellyn auton taajuuskäyrä nopeudella 120 km/h. Taajuuskäyrä on alhaisia taajuuksia lukuun ottamatta ihanteellisen tasainen. Kärittelyn myötä kuvan 25 korostunut taajuus välillä 3-3,4 kHz on vaimentunut.



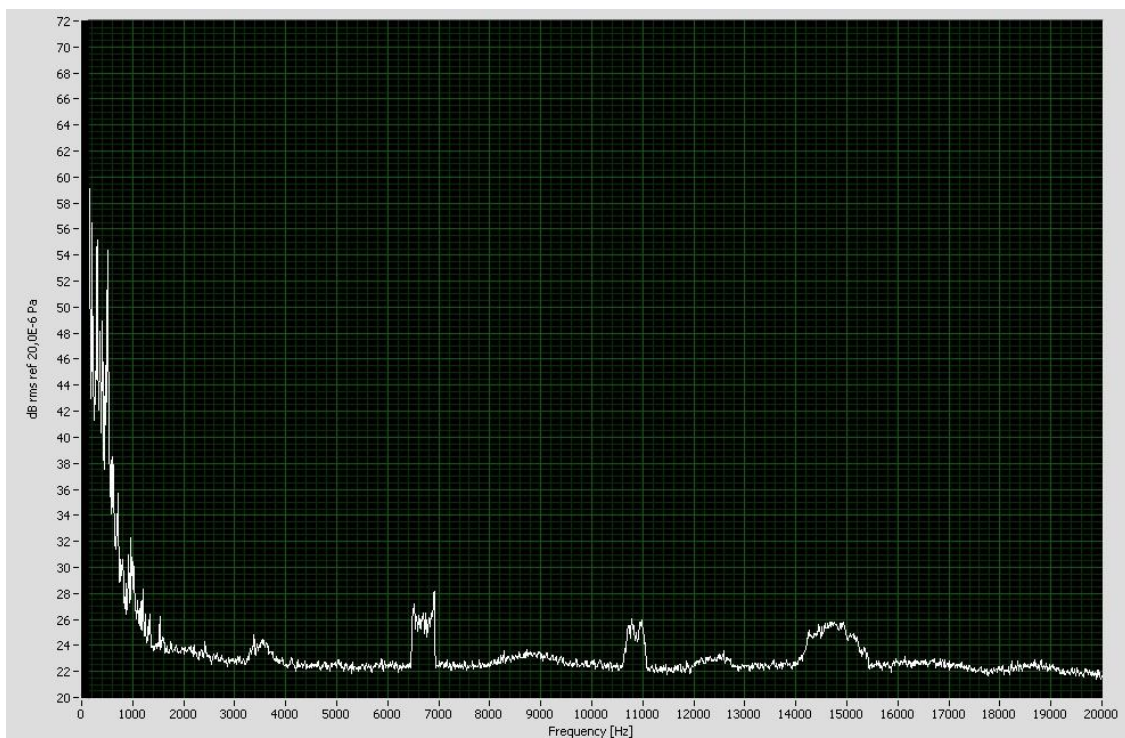
KUVA 26. Käsitellyn auton taajuuskäyrä nopeudella 120 km/h

Kuvasta 27 nähdään käsittelemättömän auton taajuuskäyrä tyhjäkäynnillä moottorin kierrosluvun ollessa 3000 rpm. Taajuuskäyrässä on huomattavasti enemmän korostuneita taajuusalueita verrattuna tasaisella ajonopeudella suoritettaviin mittauksiin. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että mittauksessa mitataan vain moottorimelua, joka on taajuudeltaan "elävämpää" kuin ohjaamomelu tasaisella ajonopeudella. Taajuuden "elävyys" johtuu todennäköisesti moottorin pyörievien osien aiheuttamista äänistä, koska tyhjäkäyntimittaus koostuu pelkästään moottorimelusta. Etenkin välillä 0,2-0,6 kHz on selkeitä ja teräviä taajuuspiikkejä, joiden äänen painetaso on melko korkea.



KUVA 27. Käsittelemättömän auton taajuuskäyrä tyhjäkäynnillä 3000 rpm

Kuvassa 28 on käsitellyn auton taajuuskäyrä tyhjäkäynnillä moottorin kierrosluvun ollessa 3000 rpm. Korostuneita taajuusalueita on lähes yhtä paljon kuin kuvassa 27, mutta niiden sijainti taajuusakselilla on hieman muuttunut. Tyhjäkäyntimittauksissa äänieristyskäsittelyllä ei ole niin suurta vaikutusta kuin tasaisen nopeuden mittauksissa, koska vaimennettavaa ilmanvastuksen ja renkaiden melua ei ole.



KUVA 28. Käsitellyn auton taajuuskäyrä tyhjäkäynnillä 3000 RPM

Kaikkien mittauksien taajuuskäyristä nähdään, että auton ohjaamomelun merkittävin taajuusalue on 0-3,5 kHz. On hyvä muistaa, että ihmisen kuulon herkin alue on välillä 2-5 kHz, kuten luvussa 2.2 todettiin. Näitä taajuuksia vaimentamalla voitaisiin ohjaamomelun äänen painetaso saada laskemaan selvästi. Aleksi Nolvin työn tuloksien on tarkoitus edesauttaa tällaista äänieristyskäsittelyä, jossa voitaisiin vaimentaa juuri tiettyjä, haluttuja taajuuksia. Osa ohjaamomelusta on kuitenkin niin matalataajuuksista, että se ilmenee värähtelynä ihmiskehossa, ja sitä on äänieristyskeinoin lähes mahdotonta vaimentaa. Taajuuskäyrillä on mittausmenetelmässä tärkeä rooli, koska niillä voidaan havaita myös auton vikoja, jos epäilyttävän korkeita taajuuspiikkejä esiintyy. Lisäksi niistä nähdään, millä taajuusalueella korkeimmat äänen painetasot sijaitsevat.

5 Mittausmenetelmän toimivuus ja johtopäätökset

5.1 Menetelmän toimivuus

Mittausmenetelmä osoittautui hyvin toimivaksi. Menetelmän tulokset ovat luotettavia ja tarkkoja, mutta niiden todenmukaisuus jää mittaajan varaan. Mittaajan tulisi ottaa huomioon useita muuttujia, joita on käsitelty tarkemmin luvussa 5.2. Menetelmällä voi onnistuneesti mitata viittä kohdetta ohjaamossa ja analysoida tuloksia mittausten jälkeen. Näin ollen ohjaamossa voi tehdä kohdemittauksia sekä yleistä melumittausta samanaikaisesti. Menetelmä on toimiva, mutta siinä on paljon kehitettävää. Etenkin mittausjärjestelyä voisi kehittää vielä melko paljon.

5.2 Mittausjärjestelmän reliabiliteetti

Reliabiliteetin avulla tarkastellaan, saadaanko mittauksen avulla luotettavaa tietoa todellisuudesta. Jos havainnot eivät ole sattumanvaraisia, reliabiliteetti on hyvä. Mittaustulos voi vaihdella siksi, että mitattavassa asiassa on todellisia eroja. Erot voivat johtua tutkimuskohteessa tapahtuneista muutoksista tai mittaustilanteisiin liittyvistä seikoista. Reliabiliteetti osoittaa siis sen, missä määrin mittausjärjestelmä mittaa tutkittavia mittaussuureita ja kuinka luotettava ja pysyvä mittari on. Hyvä reliabiliteetti osoittaa myös mittaustulosten pysyvyyttä ja johdonmukaisuutta. Mitattaessa kalibroituin mittalaittein, lähes samanlaisissa olosuhteissa auton ohjaamomelua useita kertoja tuloksen pysyessä lähes samana, voidaan todeta mittausjärjestelmän olevan reliaabeli. [24.]

Mittausjärjestelmän epätarkkuuteen vaikuttaa muutama tekijä. Nämä tekijät ovat mikrofonien kalibrointi mittalaitteen kanssa, mikrofonien sopivuus kyseiseen mittaukseen, mikrofonien kiinnityksen vaikutus mittaustulokseen sekä liitäntöjen ja johtojen laatu. Mittauksessa käytetyt PCB 130D20 -mikrofonit olivat kalibroitu mittalaitteen kanssa siten, että tiettyä mikrofonia varten piti käyttää tiettyä liitäntää. Näin meneteltäessä mikrofonien välinen mittaustarkkuus oli lähes sama. Jos mikrofoni olisi kytketty eri liitäntään kuin johon se oli tarkoitettu, olisivat mikrofonin

kalibrointi-arvot olleet väärät. Tämän vuoksi mikrofonien liitännät tarkastettiin useaan kertaan eikä tätä virhettä tapahtunut. Voidaan siis todeta mikrofonien kalibroinnin olleen tarkka ja oikea. Mikrofonien sopivuus ohjaamomelun mittaamiseen voisi olla parempi. Kuten luvussa 6.3 todetaan, mittauksessa käytettyjen mikrofonien keila ei jäljittele ihmisen korvaa parhaalla mahdollisella tavalla. Kyse ei toisaalta ole mittausjärjestelmän epätarkkuudesta, vaan mikrofonien sopivuudesta kyseisiin mittauksiin. Näin ollen mikrofonien mittaustuloksia voidaan edelleen pitää tarkkoina ja luotettavina. Mikrofonien kiinnityksellä voi olla vaikutuksia mittaustuloksiin. Mikrofonien sijainnin muuttuessa mittausten välillä, ei voida olla varmoja siitä, että mittaustulokset olisivat lähes samoja. Kiinnityksiin ja mikrofoneihin kohdistuva värinä auton liikkuessa voi myös vaikuttaa mikrofonien mittaustuloksiin. Toisaalta, jos mikrofonien kiinnitys on sama sekä ennen että jälkeen äänieristyskäsittelyn, on sama värinä vaikuttamassa molempiin mittauksiin. Värinällä ei siis pitäisi olla suurta merkitystä, joten vain mikrofonien sijainnin muuttuminen on merkittävä tekijä. Liitäntöjen ja johtojen laadun vaikutus mittausjärjestelmän epätarkkuuteen on em. tekijöistä pienin. Elektronisissa laitteissa liitäntöillä ja johdoilla on melko suuri rooli, mutta niiden aiheuttamaa virhettä kyseisissä mittauksissa voidaan pitää häviävän pieninä. Mittaustuloksien ja äänieristyskäsittelyn vaikutusten kannalta niillä ei ole merkitystä, koska liitännät ja johdot pidettiin samoina sekä ennen että jälkeen äänieristyskäsittelyn. Mittausjärjestelmässä on varmasti epätarkkuutta, mutta sen määrä on niin pieni, että järjestelmää voidaan pitää reliabelina.

5.3 Johtopäätökset ja kehitysideat

Tuloksista voi päätellä, että mittausmenetelmä on toimiva ja sillä saadaan tarkkoja tuloksia, jos sitä käytetään oikein. Mittaustilanteen muuttujien määrä pitäisi saada minimoitua, jotta voitaisiin suorittaa luotettavaa mittaustulosten vertailua käsittelemättömän ja käsitellyn auton välillä. Mittauksiin huomattavasti vaikuttavia tekijöitä ovat tien pinnanlaatu, muu liikenne, mikrofonien sijaintien muuttuminen sekä mittauskerrat ja mittaustulosten keskiarvon laskeminen.

Erittäin suuri osa ohjaamomelusta on rengasmelua ja siksi tien pinnalla on todella suuri merkitys mittauksen kannalta. Jos tien pinnanlaatu ei ole sama myöhemmin keskenään verrattavien mittausten välillä, ei mittaustuloksia voi todenmukaisesti verrata. Tien pinnanlaatu pitäisi siis olla mahdollisimman muuttumaton mittausten välillä. Muun

liikenteen aiheuttaman melun vaikutukset näkyvät mittaustuloksissa, vaikka mittausjärjestelmä laskeekin mittausjakson ajalta keskiarvoa. Tämän vuoksi mittaukset olisi syytä suorittaa suljetulla alueella, jossa ei ole muuta liikennettä. Mikrofonien sijaintien muuttuminen vaikuttaa myös olennaisesti mittaustuloksiin. Mikrofonille saapuva ääniaalto voi olla merkittävästi erilainen, jos mikrofonin asento muuttuu mittausten välillä. Tämän vuoksi mikrofoneilla olisi syytä olla tukevat kiinnikkeet, joilla voidaan varmistaa sijainnin muuttumattomuus. Lisäksi mikrofonit olisi hyvä pitää kiinnitettyinä, kunnes kaikki mittaukset kyseisellä autolla on suoritettu, koska niitä ei ole mahdollista kiinnittää täysin samaan paikkaan uudelleen. Mittauskertoja pitäisi tehdä esimerkiksi viisi jokaista nopeutta kohden ja laskea tulosten keskiarvo. Työssä toteutetut mittaukset tehtiin vain kerran. Toisaalta jos äänieristyskäsittely vaimentaisi selkeästi auton ohjaamomelua, näkyisi tuo ero todennäköisesti ilman keskiarvon mittaamistakin.

6 Yhteenveto ja pohdinta

6.1 Tavoitteiden saavuttaminen

Työn alussa asetettu päätutkimuskysymys on ”Mikä on kehitettävän mittausjärjestelmän rakenne?” ja alatutkimuskysymys ”Miten mittausjärjestelyt toteutetaan?”. Kehitetyn mittausjärjestelmän rakenne muuttui työn loppuvaiheessa suuresti. Aluksi oli tarkoitus käyttää mittauksissa oppilaitoksen Ono Sokki LA-5110 -äänitasomittaria, mutta oppilaitoksen toinen mittausjärjestelmä osoittautui huomattavasti tarkemmaksi ja käytännöllisemmäksi. Tämä siksi, että Ono Sokki LA-5110 -äänitasomittaria käytettäessä ääntä olisi pitänyt tallentaa tietokoneelle, jolloin sen tarkkuus olisi täysin eri luokkaa kuin reaaliajassa tapahtuvan mittauksen. Myös sen analysointi olisi ollut haasteellisempaa, koska nykyinen mittausjärjestelmä osoittaa mittauksen tulokset erittäin selkeästi. Kehitetyn mittausjärjestelmän rakenne oli siis kannettava tietokone, NI SC-2345 -mittalaite, viisi PCB 130D20 -mikrofonia, Benton-vaihtosuuntaaja, Tom Tom Go Live 1005 -navigaattori ja jakorasia.

Mittausjärjestelyt toteutettiin Joonas Savolaisen kanssa, koska mittauksia olisi lähes mahdoton suorittaa yksin. Mittausjärjestelyihin osallistui myös Suomen Ruosteenestoliikkeiden Osuuskunta, koska sen kautta saatiin mitattavat autot. Mittausjärjestelyt olisi pitänyt toteuttaa eri tavalla, jotta mittaustuloksia voisi verrata luotettavasti toisiinsa käsittelemättömän ja käsitellyn auton välillä. Jatkomittauksia varten huomioidaan ensimmäisessä mittauksessa havaitut epäkohdat, jotta tuloksista saataisiin ensimmäistä mittausta vertailukelpoisempia.

Työ tuotti mittausmenetelmän, joka on kehittämiskelpoinen. Ensimmäisessä muodossaan siinä on vielä paljon seikkoja, joihin tulisi kiinnittää huomiota. Silti työ oli kannattava ja menetelmä toimiva. Jos menetelmän kehittämistä jatketaan, voi siitä tulla entistä tarkempi, nopeampi ja luotettavampi tapa mitata auton ohjaamomelua. Ohjaamomelun mittaamiseen on kehitetty joitakin mittaustapoja, mutta ne vaativat hyvin kalliita laitteita. Tämä mittausmenetelmä on kohtalaisen edullinen, jota myös yksityiset ihmiset ja pienet yritykset voisivat hyvin hyödyntää.

6.2 Ideoita jatkotutkimukseen

Mittausjärjestelmää voisi kehittää kompaktimmaksi käyttämällä pienempää kannettavaa tietokonetta sekä pienempää mittalaitetta. Myös mikrofonien ominaisuuksiin voisi perehtyä lisää jatkossa. Työssä keskityttiin kuljettajan aistimaan ohjaamomeluun, joten, mitä paremmin korvan tapaa vastaanottaa ääntä voitaisiin jäljitellä mikrofonilla, sitä paremmin mittaustulokset vastaisivat todellisuutta. Käyttämällä mikrofontia, jolla on suuri keila – alue, jolta mikrofoni vastaanottaa ääntä – voitaisiin ehkä paremmin jäljitellä ihmisen korvalehteä. Ihmisen korvalehti on nimittäin kuin pieni lautasantenni, joka käytännössä ”kerää” ääniä korvakäytävään. Toisin kuin puikkomaisen mikrofonin, kuten työssä käytetyn PCB 130D20:n, ”keräämät” ääniaallot voidaan vastaanottaa vain kapealta alueelta. Ehkä olisi myös mahdollista käyttää kätevämpää langatonta järjestelmää, jossa mikrofonit olisivat langattomalla yhteydellä liitettynä mittalaitteeseen.

Lähteet

- 1 Yrityskuvaus. Verkkodokumentti. Fonecta.
<http://www.fonecta.fi/tuotteet-ja-palvelut/Espoo/315106/Finikor/>. Luettu 19.2.2012
- 2 Ääni syntyy. Verkkodokumentti. Äänipää.
http://www.aanipaa.tamk.fi/synty_1.htm. Luettu 13.2.2012.
- 3 Kuulo. Verkkodokumentti. BioMag Laboratory.
<http://www.biomag.hus.fi/braincourse/L7.html>. Luettu 13.2.2012.
- 4 Kuulo ja korvan rakenne. Verkkodokumentti. PiiSami.
<http://koti.welho.com/slemmet/tieto/img/aku-ear.gif>. Luettu 20.2.2012
- 5 Melu ja tärinä. Verkkodokumentti. TTK.
http://www.tyoturva.fi/tyosuojelu_tyopaikalla/melu_ja_tarina. Luettu 14.2.2012.
- 6 Tilavaikutelma. Verkkodokumentti. Äänipää.
http://www.aanipaa.tamk.fi/tila_2.htm. Luettu 13.2.2012.
- 7 Äänen taajuus. Verkkodokumentti. Äänipää.
http://www.aanipaa.tamk.fi/taajuu_1.htm. Luettu 13.2.2012.
- 8 Äänen voimakkuus. Verkkodokumentti. Äänipää.
http://www.aanipaa.tamk.fi/voima_1.htm. Luettu 15.2.2012
- 9 Melun mittaaminen. Verkkodokumentti. Työterveyslaitos.
http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/melu/melun_mittaaminen/sivut/default.aspx. Luettu 20.2.2012.
- 10 Äänen tallennus. Verkkodokumentti. Tietokoneavusteinen musiikintutkimus.
<http://www.music.helsinki.fi/tmt/opetus/aanitys/luento3/pruju3.html>. Luettu 19.2.2012
- 11 Perustietoa äänestä. Verkkodokumentti. PiiSami.
<http://koti.welho.com/slemmet/tieto/akustiikka.htm>. Luettu 22.2.2012
- 12 Arkielämän ääni-ilmiöitä. Verkkodokumentti. Äänipää.
http://www.aanipaa.tamk.fi/arki_1.htm. Luettu 13.2.2012
- 13 Doppler effect images. Verkkodokumentti. Your Dictionary.
<http://images.yourdictionary.com/doppler-effect>. Luettu 22.3.2012

- 14 Äänen heijastuminen. Verkkodokumentti. Tekninen työ.
<http://tekniikka.virtuaalikoulu.org/aanen+heijastuminen.doc>. Luettu 23.2.2012.
- 15 Destruktiivinen ja konstruktiiivinen interferenssi. Verkkodokumentti. Internetix opinnot.
http://opinnot.internetix.fi/fi/muikku2materiaalit/lukio/fy/fy3/4._interferenssi_ja_diffraکتio_seka_valo_ilmiona/4.1.destruktiivinenjakonstruktiiivineninterferenssi?C:D=hNh9.g0iC&m:selres=hNh9.g0iC. Luettu 24.2.2012
- 16 Äänen absorptio. Verkkodokumentti. VTT.
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2002/T2160.pdf>. Luettu 28.2.2012
- 17 RION NL-42/52. Verkkodokumentti. MIP Electronics Oy.
http://www.mip.fi/cms/images/stories/melu_ja_aani/RION_NL52/nl52-04.jpg. Luettu 22.3.2012
- 18 Mittausmikrofonit. Verkkodokumentti. MIP Electronics Oy.
<http://www.mip.fi/cms/fi/mittalaitteet/melu-ja-aeaeni/mittausmikrofonit>. Luettu 1.3.2012
- 19 Esivahvistimet. Verkkodokumentti. MIP Electronics Oy.
<http://mip.fi/cms/fi/mittalaitteet/melu-ja-aeaeni/esivahvistimet>. Luettu 22.3.2012
- 20 Esivahvistin. Verkkodokumentti. Hifiopas.
<http://www.students.tut.fi/~jmikkola/hifiopas/vahvistin.html>. Luettu 22.3.2012
- 21 Virtalähteet. Verkkodokumentti. MIP Electronics Oy.
<http://www.mip.fi/cms/fi/mittalaitteet/melu-ja-aeaeni/virtalahteet>. Luettu 3.2.2012
- 22 Tarjous. PDF- dokumentti. MIP Electronics Oy.
- 23 Tervetuloa!. Verkkodokumentti. Oy Teknocalor Ab.
<http://teknocalor.fi/fi>. Luettu 4.2.2012
- 24 5.2 Mittarien validiteetti ja reliabiliteetti. Verkkodokumentti. Oulun yliopisto.
<http://herkules.oulu.fi/isbn9514268334/html/x585.html>. Luettu 9.5.2012

MIP Electronics Oy

MIP Electronics Oy:n tarjous auton ohjaamomelun mittaukseen sopivasta mittausjärjestelmästä.



maanantai, 5. maaliskuuta 2012

Santtu Kovasiipi
Metropolia AMK
Bulevardi 31
00180 Helsinki

Tarjous 12091

Email: santtu.kovasiipi@metropolia.fi
gsm: 040-8228683

Viite: Tarjous

Tarjouksen sisältö:

| | |
|---|---|
| 1. MIP Electronics Oy | 1 |
| 2. Äänitasomittari RION NL-52 | 2 |
| 3. Kalibraattorit RION NC-74 | 4 |
| 4. Yleiset ehdot | 5 |
| 5. Toimittajan kokemus mittalaittebisneksistä | 5 |

1. MIP Electronics Oy

MIP:in menestyksekkäs taival mittalaitteiden maahantuojana ja omistajavetoisena yrityksenä käynnistyi vuonna 1986. Tarinan alku ulottuu kuitenkin kauemmas, alun perin Oy Wärtsilä Ab:n käynnistämään mittauslaitteiden liiketoimintaan, joka sittemmin sulautui osaksi nykyistä MIP Electronics Oy:tä.

Tätä vankkaa osaamista ja pitkää perinnettä hyödynnämme MIP:issä edelleen. Siitä ovat osoituksena maailmanluokkaa edustavat päämiehemme, joiden avulla saatamme tarjota markkinoiden edistyneisimmät mittalaitteet ja ohjelmistot äänen, melun, värähtelyjen, sisäilman laadun sekä hiukkaspäästöjen mittaamiseen.

Kantavana voimana ovat monet tyytyväiset asiakkaamme, jotka edustavat niin suurteollisuutta, pk-yrityksiä, julkista sektoria kuin ympäristö- ja terveysviranomaisia. Käyttäjystävällisiin mittalaitteisiimme luottavat myös alan konsultti- ja insinööritoimistot, oppilaitokset ja rakennusalan yritykset.

Tärkeä kivijalka on kuitenkin henkilöstömme korkea ammattitaito sekä intohimo, joka näkyy tavassamme palvella asiakkaitamme. Jokainen heistä on meille tärkeä kumppani, jonka mittaamiseen liittyvät erityistarpeet pyrimme yhteistuumin ratkomaan.

MIP Electronics Oy

Palokorvenkatu 2, PL 46, 04251 Kerava
puh: 09-294 1773, fax: 09-294 7084
www.mipoy.com
Y-tunnus: 1627111-2

Uskomme, että laatu syntyy tinkimättömästä halusta tarjota vain parasta. Tarkasti toimivat äänen, melun, värähtelyjen ja sisäilman laadun mittauslaitteet ja analysointiohjelmit ovat MIP:lle kunnia-asia.

Teemme parhaamme joka päivä, fiksuja valintoja asiakkaidemme menestyksen takeeksi.

Edustamme kansainvälisesti tunnettuja merkkejä, kuten esimerkiksi:



Valikoimastamme löytyy sopivin ratkaisu kuhunkin tarpeeseen. Ohessa tarjoamme Teidän tarpeisiinne parhaiten soveltuvat mittalaitteet:

2. Äänitasomittari RION NL-52

NL-52/42 on Rionin uusi kustannustehokas ja monipuolinen IEC 61672-1 luokan 1/luokan 2 äänitasomittarisarja ympäristömelun, työpaikkamelun ja meluhaittojen mittauksiin.

Varustettuna NX-42EX toimintokortilla, mittarista saadaan laajakaistaloggeri, joka on ihanteellinen lähtötason tutkimuksia ja niiden noudattamisen valvontaa varten. Tiedot tallennetaan pilkuin eroteltuina CSV-tekstitiedostoina SD™-kortille, näin tiedot saadaan laskentataulukkoon turvautumatta erityisohjelmistoihin.

Pakkaamaton ääni voidaan tallentaa vakiona WAV-tiedostoina lisäämällä NX-42WR *optio*. Voit siis tuoda tietoa suoraan taulukkolaskenta-ohjelmaan ja toistaa nauhoitetun äänen millä tahansa mediasoittimella, mutta se on suositeltavaa



tarkistaa Rion AS-60 Data Management Software - ohjelmalla. Sinun tarvitsee vain vetää ja pudottaa kansiot sisältävät NL-52/42/32/22/31/21 datat (ja ääni jos se on läsnä) osaksi AS-60-ohjelmaa ja voit sitten tarkistaa, synkronoida ja analysoida jopa 8 mittauksen aineistoja samanaikaisesti ja viedä niitä Excel™ - ohjelmaan tai luoda kaavioita ja raportteja, joko viikoittain tai päivittäin raportteja suoraan ohjelmiston avulla.

NL-52 + NX-42EX on vakiokokoonpano, joka mahdollistaa samanaikaisen mittauksen ja loggauksen laajakaistaistamelen suureista (LAeq, L_{Amax} ja tilastollisia arvoja jne) ja hetkellisiä arvoja (100 ms, 200 millisekuntia tai 1 sekunti), jolloin voit zoomata ja tarkastella aika-profiilin tapahtumia. Mittarin ominaisuuksiin kuuluu tietty yksinkertaisuus ja käytön helppous, joista Rion on tunnettu ja tunnustettu.

NL-52 voidaan käyttää Rion WS-15 Ulkomikrofonisuojauskitin kanssa ja silti säilyttää luokan 1 tarkkuus.

NL-52 + NX-42 EX on myös täysin päivitettävissä 1/1-oktaavi tai 1/3-oktaavifilttereillä lisäämällä NX-42RT toiminto (saatavissa tammikuussa 2012).

Yksinkertaisiin mittauksiin NL-52/42 voidaan myös toimittaa perusversioina ilman toimintokortteja.

Muita mainittavia ominaisuuksia ovat loistava taustavalaistu värinäyttö, IPX-3 VEDENKESTÄVYYS (ilman mikrofonia) ja kyky välittömästi tallentaa instrumentin näyttö bittikarttana.

Yhteenvedona NL-52/42 + NX-42EX pääpiirteet on esitetty alla (huomaa, että loggaustoiminnot ja muut toiminnot kuten äänen tallennus ja 1/1-oktaavi / 1/3-oktaavikaistoittain vaativat NX-42EX):

- Mittaussuureet: Leq, L_{max}, L_{Amin} SEL, jopa 5 tilastollisen melun indeksiä (LN) (4 x 1% ja 1 x 0.1% tarkkuudella) ja hetkellinen äänenpaineen taso
- Mittaa lisäksi hetkelliset aika- ja taajuuspainotetut arvot 100msec, 200msec tai 1 sekunnin välein Samanaikainen mittaus ja loggaus lyhyen aikavälin näytteiden avulla mahdollistaa yksityiskohtaisen analyysin aikahistoriana
- Suurin tallennus 1000 tuntia (vaatii ulkoista virtalähdettä ja riittävän kokoisen SD-kortin)
- Sana "Store" välähtää näytöllä kerran sekunnissa, kun mittari on loggausmoodissa
- Tiedot tallennetaan SD™-korteille CSV tekstitiedostoina, jotka voidaan lukea suoraan taulukkolaskentaohjelmilla
- Voidaan käyttää pitkän aikavälin seurantaan kanssa erittäin käytännöllisen, kustannustehokkaan ulkosuojaussalkun kanssa
- Dynamiikka-alue 130 dB

- Tauko ja Poista-toiminnolla (1, 3 ja 5 sekuntia) voidaan poistaa ylimääräisiä häiriöitä
- Sub-kanava mahdollistaa mittauksen toisella aika- ja / taajuuspainotuksella
- Erinomainen taustavalaistu 400 x 240 Semi-läpinäkyvä TFT LCD WQVGA LCD-näyttö, jossa numeerinen ja pylväsnäyttö äänitasolle
- 5 parametria voidaan näyttää samanaikaisesti yhdellä näytöllä, joka on todella hyödyllinen vaikeille työmaille, tai kukin parametri voidaan näyttää eri näytöissä
- Äänenpaineen tasoa voi seurata myös reaaliaikaisesti 20 sekunnin, 1 minuutin tai 2 minuutin Aikakuvaaja-näytössä (tämä voi olla todella hyödyllinen käytettäessä Poista-toimintoa)
- Mittarin näyttö voidaan tallentaa bittikarttana
- Näytölle ohjetiedostot saatavissa napin painalluksella
- NL-52 täyttää IEC 61672 Luokan 1 - standardin
- NL-42 täyttää IEC 61672 Luokan 2 - standardin
- Jopa 26 tunnin käyttöaika 4 x AA alkaliparistoilla
- Jopa 25 tunnin käyttöaika 4 x Ni-MH akuilla
- USB-liitäntä (SD™ kortti näkyy virtuaalisena levynä)
- Optiona - Äänityskortti NX-42WR
- Optiona - Reaaliaikainen 1/1-oktaavi / 1/3-oktaavi NX-42RT (saatavissa alkuvuodesta 2012)
- Optiona - Outdoor Mikrofoni Protection WS-15

| Hinnat: | EUR |
|----------------------------------|------|
| NL-52 perusmalli, luokka 1 | 2975 |
| NL-52EX, sis. loggaus | 3510 |
| NL-52EX+NX+WR, loggaus + äänitys | 4585 |

| | |
|---|------|
| NX-42RT, 1/1, 1/3-oktaavien laajennuskortti | 2650 |
| AS-60 Data Management Software | 1690 |

Mikrofonien jatkokaapelit:

| | | |
|--------|-------------------------------|-------|
| EC-04A | Jatkokaapeli, 5 m | € 175 |
| EC-04B | Jatkokaapeli, 10 m | € 225 |
| EC-04C | Jatkokaapeli, 30 m, with reel | € 685 |
| EC-04D | Jatkokaapeli, 50 m, with reel | € 880 |

3. Kalibraattorit RION NC-74

- Luokan 1 (IEC 60942) akustinen kalibraattori
- Pienikokoinen ja luotettava
- Sopii 1/2" ja 1" mikrofoneille.
- Automaattinen ilmanpaineen kompensointi
- 1 kHz ± 2%.



- 94 dB \pm 0.3dB
- laitteelle on paikka RION-mittareiden kantolaukussa.

Hinta: 1150 EUR

4. Yleiset ehdot

| | |
|------------------|---|
| Hinnat: | Euroina, alv. 0 %. Hintoihin lisätään alv. 23 % laskutuksen yhteydessä. |
| Maksuehto: | 14 pv. netto, laitteen vastaanotosta |
| Toimitusehto: | Vapaasti asiakkaan tiloihin toimitettuna |
| Toimitusaika: | n. 2 viikkoa tilauksesta |
| Takuu: | 1 vuosi ellei muuten mainittu |
| Voimassaoloaika: | Tarjous on voimassa 3 kk. päiväyksestä |

5. Toimittajan kokemus mittalaittebisneksistä

Henkilökunnallamme on yli 20 vuoden kokemus mittalaitteiden kehittämisestä, valmistuksesta ja markkinoinnista. Olemme toimittaneet tuhansia mittauslaitteita vuosien mittaan suomalaisille asiakkaille. Uskomme, että olemme osaava partneri huolehtimaan siitä, että toimittamamme laitteet toimivat myös tulevaisuudessa.

Olemme pyrkineet kokoamaan mahdollisimman hyvin tarpeitanne vastaavan vaihtoehdot. Vastaamme mielellämme kaikkiin lisäkysymyksiinne.

Ystävällisin terveisin

Jouni Lukkari
MIP Electronics Oy
jouni.lukkari@mip.fi
Puh. 010-3222633

Oy Teknocalor Ab

Oy Teknocalor Ab:n tarjouksen mittalaitteen tekninen esite.



SC310

Integrating sound level meter real time spectrum analyser in third octave and octave band

Applications

- Acoustic insulation in one third octave bands
- Environmental noise evaluation (ISO 1996-2); detection of tonal components, impulsiveness and low frequency analysis.
- Frequency analysis of industrial and environmental noise
- Detection and identification of sound sources

User friendly

- Measures all parameters simultaneously with frequency weightings A, C and Z
- One single range 23 - 137dBA; up to 140 dB peak (no range setting)
- Back Light graphic screen and membrane keyboard for easy use

Features

- Integrating sound level meter type 1 according IEC and ANSI
- Real time spectrum analyser, octave band 31.5 Hz to 16 kHz and one third octave band 20 Hz to 10 kHz.
- Mass storage of data in memory
- Direct printing
- Circular memory available
- Includes software and cable for real time retrieval of all measured and recorded data to a PC, Bluetooth® wireless technology
- Stores in memory the time and date of the last time the sensitivity was modified
- Extension Modules: reverberation time measurement, extended frequency analysis (10 Hz to 20 kHz), dosimeter and vibration measurement (1 Hz to 80 Hz)

The **SC310** is a powerful and easy to use instrument. It can work as integrating sound level meter type 1 according to IEC 61672, IEC 60651, IEC 60804, ANSI S1.4 and ANSI S1.43. It is also a real time spectrum analyser in one-third octave band and octave band, with type 1 filters according to IEC 61260 and EN 61260. The **SC310** also fulfils the standard ANSI S1.11 standard.

The **SC310** has a single range, there is no need to make any scale adjustments. It also measures all functions simultaneously. These functions are the ones needed to calculate the basic noise evaluation figures of most of the countries in the world: S, F and I functions, Equivalent continuous levels, Percentiles, Impulsiveness indexes, Peak levels, Sound exposure levels, Short functions, etc.

The **SC310**'s graphic screen provides graphical and numerical representation of the measured functions. The screen can be illuminated, allowing the user to work in low-light conditions.

The **SC310** has an extensive internal memory to record all the measured data. The amount of stored functions is configurable.

The **SC310** has two communications ports: RS-232 and USB. The USB port allows you to download quickly all the stored data and the RS-232 port allows you to configure communication ports through modem (BTN or mobile) or wireless (Bluetooth®). A serial printer can be connected to the RS-232 port to print in real time all functions measured by the **SC310**.

The preamplifier of the **SC310** is removable. It can therefore be uncoupled and moved away from the **SC310** by means of the extension cables (CN-003, CN-010 or CN-030). Also allows you to use the outdoor kit (TK1000) for outdoor measurements.

The power and versatility of the **SC310** and its user-friendly design defines it as the perfect hand held instrument for precision acoustic measurements.

