

**MOOTTORIURHEILURATOJEN MELU, MOTOCROSS-  
KILPAILUTAPAHTUMISSA MUODOSTUVAN  
MELUPÄÄSTÖN MITTAUS JA MITTAUSTULOSTEN  
TULKINTA**

Juha Korhonen  
Moottoriurheiluratojen melu, motocross-kilpailutapahtumissa  
muodostuvan melupäästön mittaus ja mittaustulosten tulkinta  
Pro Gradu -tutkielma  
Ympäristöterveyden pääainelinja  
Itä-Suomen yliopiston ympäristötieteen laitos  
Marraskuu 2010

ITÄ-SUOMEN YLIOPISTO, Luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta

Ympäristötieteen koulutusohjelma, Ympäristöterveyden pääainelinja

Juha Korhonen: Moottoriurheiluratojen melu, motocross-kilpailutapahtumissa muodostuvan melupäästön mittaus ja mittaustulosten tulkinta

Pro Gradu -tutkielma 90 sivua, 3 liitettä (17 sivua)

Tutkielman ohjaajat: Dosentti Erkki Björk, liikenneneuvos Anni Rimpiläinen, FM Ville Salonen

Marraskuu 2010

---

avainsanat: moottoriurheilu, melu, melupäästö, motocross

## TIIVISTELMÄ

Moottoriurheiluratojen yksi merkittävimmistä ympäristöhaitoista on melu. Arvioitaessa haitan laajuutta, on selvitettävä melulähteen ympäristössään aiheuttamat melutasot joko mittaamalla ja/tai laskemalla. Ympäristömelun arviointiin on kehitetty laskentamalli myös moottoriurheilumelulle. Laskentamallien käyttäminen edellyttää lähtötiedoiksi todellisia, kenttäoloissa määritettyjä melupäästötietoja. Suomessa ei ole yleisesti tuotettu melun leviämisen laskentaan lähtömelutasotietoja moottoriurheiluajoneuvoille.

Tutkimuksen kohteena oli neljä motocross-rataa, joissa suoritettiin melupäästömittauksia kisaviikonloppuina kesän 2009 aikana. Mittauksissa tarkasteltiin yksittäisten ajoneuvojen melupäästöä. Tutkimuksessa mitattiin sekä huippu-urheilu- että kansallisen tason motocross-ajossa aiheutuvaa melupäästöä harjoitus-, aika-ajo- sekä kilpailutilanteissa.

Koko mittausaineiston keskimääräinen melupäästö oli  $L_{WA,eq}$  122,5 dB. Kisatapahtumissa harjoitus- ja aika-ajot aiheuttivat  $L_{WA}$  4,4 dB suuremman melupäästön kuin kilpa-ajo. Kuljettajien käyttämällä ajoneuvoilla oli merkitystä melupäästöön. Eri kilpailuluokkien välillä keskimääräinen melupäästön vaihteluväli oli  $L_{WA}$  10 dB. Suurin melupäästö oli Super Cross-luokalla ja pienin MX B -luokalla. Kahdella radalla mitattiin Super Cross-osakilpailutapahtuman melupäästö. Nämä olivat melupäästöltään äänekkäämpiä tapahtumia kuin muilla radoilla mitatun kansallisen tason osakilpailutapahtumat. Äänekkäimmän ja hiljaisimman radan ajoneuvojen keskimääräisellä melupäästöllä oli eroa  $L_{WA}$  8,0 dB.

Motocross-ajon melua voidaan pitää pääosin kapeakaistaisena, koska analysoiduissa äänitysjaksoissa miltei 80 %:ssa oli kapeakaistaisuuskorjattavaa ja keskimääräiseksi häiritsevyyskorjaukseksi  $K_T$  saatiin 2,4 dB.

UNIVERSITY OF EASTERN FINLAND, Faculty of Science and Forestry  
Department of Environmental Science, Majoring in Environmental Health  
Juha Korhonen: Motor Racing Circuit Noise, The Measurement of Motocross Race Noise  
Emission and Interpretation of the Results  
Master's Thesis 90 pages, 3 index (17 pages)  
Mentors in response: Lecturer Erkki Björk, Senior Adviser Anni Rimpiläinen, MSc Ville  
Salonen  
November 2010

---

Key words: Motor racing, noise, noise emission, motocross

## SUMMARY

One of the most significant environmental detriments caused by racetracks is noise. When estimating the environmental influence of the noise source, the caused noise levels must be clarified by measuring and/or calculating. There is also a noise dispersion calculation model for evaluation of the racetrack noise. The use of this model requires that the noise emission levels represent the levels from the actual motor racing. In Finland there isn't a certain emission level bank for racetrack noise that can be used in noise level calculations.

The experimental target of this research was four motocross circuits where noise emission measurements were carried out during the summer 2009. In the measurements the emission level was investigated from the single motocross vehicle drive by. The measurements were carried out so that noise levels were investigated from advanced and intermediate skill levels. The practice and qualification and the actual racing action were taken into account.

The average noise emission level of the whole measurement data was  $L_{WA,eq}$  122,5 dB. During the competition the practice and qualification driving caused  $L_{WA}$  4,4 dB larger noise emission than the actual racing. The different racing vehicles caused different noise emission. The noise emission difference was  $L_{WA}$  10 dB between the largest Super Cross and smallest MX B motocross class.

Two racetracks had SuperCross competitions that were measured. These competitions caused larger noise emission than the racing competitions where the intermediate class drivers raced. The difference between the loudest and the most silent track was  $L_{WA}$  8,0 dB.

Noise from the motocross race can mainly be considered as narrow-banded. 80 per cent of the analyzed sound recordings contained noise that required narrow-band correction. The average correction factor  $K_T$  was 2,4 dB.

## **ESIPUHE**

Pro gradu on aloitettu keväällä 2009, kokeellinen osuus toteutettiin kesällä 2009 ja tekstiosuus kirjoitettiin syksyn 2009 ja kevään 2010 aikana. Työn tarkoituksena on ollut antaa tutkimustietoa moottoriurheilusta aiheutuvasta melusta Suomen Moottoriliitto ry:lle. Lisäksi gradun tuloksilla on pyritty edesauttamaan ympäristöviranomaisia sekä muita moottoriurheilumelun parissa työskenteleviä moottoriurheilumelun ymmärtämisessä ja arvioinnissa.

Haluan kiittää ohjaajiani Erkkiä, Annia ja Villeä laadukkaasta ja kannustavasta ohjauksesta. Lisäksi haluan kiittää Suomen Moottoriliitto ry:tä ja Kurt Ljungqvistia tutkimustyön tukemisesta. Kiitän myös työn tarkastajia. Lopuksi haluan esittää kiitokset Ritvalle, Annalle ja Terolle, jotka ovat kukin omalla tavallaan onnistuneet myötävaikuttamaan tämän työn valmistumiseen.

Helsinki, syksyllä 2010

Juha Korhonen

## KÄSITELUETTELO

Desibeli	Belin kymmenesosa. Suureen ja vertailusuureen suhteen kymmenlogaritminen arvo kymmenellä kerrottuna. Tunnus dB.
Ekvivalenttitaso	Samanarvoinen jatkuva äänitaso, vakioäänitaso, jonka akustinen energia tarkasteltavana aikana on sama kuin tänä aikana esiintyneen vaihtelevan melun energia.
Emissio ( $L_w$ )	Päästö, melulähteen akustinen säteily. Kts. melupäästö.
Enimmäistaso ( $L_{max}$ )	Maksimitaso, tarkasteltavana aikana suurin äänitaso.
Immissio	Meluummissio, tarkasteltavan paikan melutaso.
Keskiäänitaso	Kts. Ekvivalenttitaso.
$L_{eq}$	Ekvivalenttitaso, keskiäänitaso.
Melu	Ei-toivottu ääni, terveydelle haitallinen ääni.
Melupäästö	Melulähteen ympäristöön säteilemä ääni.
Motocross (MX)	Motocross on yksi maastomoottoripyöräilyn muodoista.
Palloaalto	Aalto, jonka aaltorintama on pallopinta tai sen osa.
Spektri	Spektrianalysointorilla määritetty signaalin taso taajuuskaistoittain.
Taivutus	Äänen etenemissuunnan muuttuminen.
Taustamelu	Muu kuin tarkasteltava ääni.
Vaimennus	Energian väheneminen ajan tai paikan funktiona.
Äänen absorptio	Energiahäviöiden aiheuttama ääniaallon vaimeneminen sen edetessä väliaineessa tai heijastuessa rajapinnasta.
Äänen eteneminen	Äänienergian siirtyminen väliaineessa paikasta toiseen.
Äänisäde	Ääniaallon kuviteltu kulkutie väliaineessa.

# SISÄLTÖ

NIMIÖSIVU

TIIVISTELMÄ

SUMMARY

ESIPUHE

KÄSITELUETTELO

<b>1 JOHDANTO .....</b>	<b>9</b>
<b>2 KIRJALLISUUSKATSAUS .....</b>	<b>10</b>
<b>2.1 YMPÄRISTÖMELU .....</b>	<b>10</b>
<b>2.2 MOOTTORIURHEILU MELULÄHTEENÄ .....</b>	<b>11</b>
<b>2.2.1 Moottoriurheilumeluun vaikuttavia tekijöitä .....</b>	<b>11</b>
<b>2.2.1.1 Moottori ja voimansiirtomelu .....</b>	<b>11</b>
<b>2.2.1.2 Rengasmelu ja ajoalustan vaikutus melutasoon .....</b>	<b>13</b>
<b>2.3 MELUN LEVIÄMINEN JA VAIMENEMINEN YMPÄRISTÖSSÄ .....</b>	<b>15</b>
<b>2.3.1 Hajaantumisvaimennus .....</b>	<b>15</b>
<b>2.3.2 Absorptiovaimennus .....</b>	<b>16</b>
<b>2.3.3 Olosuhdetekijöiden vaikutus melun leviämiseen .....</b>	<b>16</b>
<b>2.3.3.1 Tuuli ja lämpötila.....</b>	<b>16</b>
<b>2.3.3.2 Maanpinnan heijastus ja vaimennustekijät.....</b>	<b>18</b>
<b>2.3.3.3 Kasvillisuuden vaikutus.....</b>	<b>19</b>
<b>2.4 MOOTTORIURHEILUMELUN ARVIOINTI.....</b>	<b>20</b>
<b>2.4.1 Moottoriurheilumelu ympäristöhaittana .....</b>	<b>20</b>
<b>2.4.2 Moottoriurheilumelulle altistuminen .....</b>	<b>22</b>
<b>2.4.3 Ympäristönsuojelulaki ja -asetus .....</b>	<b>22</b>
<b>2.4.4 Valtioneuvoston päätös melutason ohjearvoista .....</b>	<b>23</b>
<b>2.4.5 Meluntorjunnan valtakunnalliset linjaukset ja toimintaohjelma .....</b>	<b>24</b>
<b>2.4.6 Ympäristömelun mittaaminen .....</b>	<b>24</b>

2.4.6.1 Moottoriurheilumelun mittaaminen .....	26
2.4.7 Moottoriurheilumelun leviämisen laskennallinen mallintaminen.....	27
2.5 MELUPÄÄSTÖTIEDOT .....	29
2.6 MELUN EROTTUMINEN TAUSTAMELUSTA.....	35
2.7 HILJAISUUDEN KOKEMINEN .....	37
2.8 MELUN KAPEAKAISTAISUUS .....	38
3 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET .....	41
4 AINEISTO JA MENETELMÄT .....	42
4.1 TUTKIMUSAINEISTO.....	42
4.1.1 Motocross-radat .....	42
4.1.2 Ajotoiminta.....	43
4.1.3 Ajoneuvoluokat .....	43
4.2 MELUPÄÄSTÖN MITTAUSMENETELMÄ.....	44
4.2.1 Mittauslaitteisto.....	45
4.2.2 Mittausteoriaa .....	45
4.2.3 Melupäästömittaukset .....	47
4.2.4 Mittaustulosten laskennallinen käsittely.....	49
4.3 TILASTOLLINEN ANALYYSI .....	49
4.3.1 SPSS -analyysi.....	50
4.3.2 Tulosten vertaaminen muihin mittaustuloksiin .....	52
4.4 KAPEAKAISTAISUUDEN MITTAUSMENETELMÄ.....	53
4.4.1 Mittauslaitteisto.....	53
4.4.2 Mittauspisteet .....	53
4.4.3 Sääolot.....	54
4.4.4 Äänitteiden analysointi.....	55
5 TULOKSET.....	56
5.1 MELUPÄÄSTÖJEN MITTAUSTULOKSET KOOSTETTUNA.....	56

<b>5.2 MITTAUSMENETELMÄN LUOTETTAVUUS .....</b>	<b>57</b>
<b>5.2.1 Melupäästöjen jakaumat ja normalisuus .....</b>	<b>57</b>
<b>5.2.2 Melupäästötulosten riippuvuus mittausetäisyydestä.....</b>	<b>60</b>
<b>5.3 MELUPÄÄSTÖMITTAUKSET MUUTTUIJITTAIN TARKASTELTUNA .....</b>	<b>60</b>
<b>5.3.1 Kilpailuluokkien vaikutus melupäästöihin.....</b>	<b>60</b>
<b>5.3.2 Melupäästöjen riippuvuus radasta.....</b>	<b>63</b>
<b>5.3.3 Ajotilanteen vaikutus melupäästöihin.....</b>	<b>65</b>
<b>5.3.4 Mittausgeometrian vaikutus melupäästöön .....</b>	<b>67</b>
<b>5.3.5 Tahtiluokkien melupäästöt .....</b>	<b>71</b>
<b>5.3.5.1 Tahtiluokkien melupäästöjen taajuusjakaumat .....</b>	<b>72</b>
<b>5.4 MELUN KAPEAKAISTAISUUS .....</b>	<b>74</b>
<b>6 TULOSTEN TARKASTELU.....</b>	<b>76</b>
<b>6.1 MITTAUSMENETELMÄN LUOTETTAVUUS JA TULOSTEN EDUSTAVUUS .....</b>	<b>76</b>
<b>6.2 MOTOCROSS-AJON MELUPÄÄSTÖT .....</b>	<b>77</b>
<b>6.3 TULOSTEN VERTAILU MUIHIN TUTKIMUKSIIN.....</b>	<b>79</b>
<b>6.4 TAHTILUOKKIEN MELUPÄÄSTÖT JA TAAJUUSJAKAUMAT.....</b>	<b>82</b>
<b>6.5 MOTOCROSS-MELUN KAPEAKAISTAISUUS.....</b>	<b>84</b>
<b>7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET .....</b>	<b>85</b>
<b>8 LÄHDELUETTELO.....</b>	<b>87</b>

## **LIITTEET**

**1 TILASTOANALYYSIN HAVAINTOAINEISTO**

**2 KAPEAKAISTAISUUS-ANALYYSIT**

**3 RATAKARTTAKUVAT**



## 1 JOHDANTO

Ulkona sijaitseva moottoriurheilurata kuuluu toimintoihin, joille vaaditaan ympäristösuojelulaissa ja -asetuksessa määritelty ympäristölupa. Ympäristölupakäsittelyssä selvitetään toiminnasta aiheutuvat vaikutukset ympäristölle. Merkittävä moottoriurheiluratojen aiheuttama ympäristörasite on toiminnasta aiheutuva melu.

Moottoriurheilumelun hallintaan ei Suomessa ole annettu ohjearvoja. Valtioneuvoston päätöstä 993/1992 melutason ohjearvoista sovelletaan meluhaittojen ehkäisemiseksi ja ympäristön viihtyisyyden turvaamiseksi maankäytön, liikenteen ja rakentamisen suunnittelussa sekä rakentamisen lupamenettelyissä. Päätös ei kuitenkaan koske ampuma- ja moottoriurheiluratojen aiheuttamaa melua.

Moottoriurheiluradan ympäristölupakäsittely sisältää yleensä meluselvityksen, jossa joko mittaamalla arvioidaan tai laskennallisesti mallinnetaan melun leviämistä ympäristöön. Tarkka ja luotettava laskentamalli vaatii lähtöarvoiksi todelliset emissiotasot (Lahti, 1983.). Jotta laskentamallilla voidaan realistisesti ennustaa melutaso, melupäästöjen tulee vastata todellisessa ajotilanteessa muodostuvaa melua (Miljøstyrelsen, 2003.). Suomessa ei ole yleisesti tuotettu lähtömelutasotietoja moottoriurheiluajoneuvoille.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää:

- 1) motocross-ajoneuvon keskimääräinen melupäästö,
- 2) tutkia mitkä tekijät vaikuttavat melupäästön suuruuteen,
- 3) motocross-ajosta aiheutuvan melupäästön taajuusominaisuuksia.

## 2 KIRJALLISUUSKATSAUS

### 2.1 YMPÄRISTÖMELU

Melu on yleisin ja yksi tärkeimmistä ympäristötekijöistä, joka heikentää ympäristön laatua ja voi aiheuttaa terveyshaittoja. Melulla tarkoitetaan ääntä, jonka ihminen kokee epämiellyttävänä tai häiritsevänä tai joka on muulla tavoin ihmisen terveydelle vahingollista taikka hänen muulle hyvinvoinnilleen haitallista. (Jauhiainen ym. 2007.)

Elinympäristössämme on suuri joukko erilaisia ääni/-melulähteitä. Taulukossa 1 on lueteltu esimerkkejä yleisimmistä ympäristömelulähteistä ja tyypeistä. Kullakin niistä on tyypillisiä ominaisuuksia paitsi akustisesti luonnehdittuina myös vuorokauden ajan, keston, toistuvuuden, säännöllisyyden, leviämisen, merkityssisällön ja hallittavuuden kannalta. (Jauhiainen ym. 2007.) Taulukossa 1 moottoriurheilu luokitellaan vapaa-ajan meluksi.

**Taulukko 1:** Esimerkkejä ympäristömelun lähteistä (Jauhiainen ym. 2007.)

Liikenne	tie- ja raideliikenne lentoliikenne vesiliikenne
Ulkoinen teollisuusmelu	teollisuus- ja voimalaitokset louhimot ja murskaamot rakentaminen
Asuinympäristön melu	ilmastointilaitteet hissit kodin- ja puutarhakoneet naapurimelu ja askeläänet itse tuotettu melu
Vapaa-ajan melu	moottoriurheilu ampuma-aseet ja -radat ulkoilmatilaisuudet ravintolat, diskot harrastusvälineet ja lelut

## **2.2 MOOTTORIURHEILU MELULÄHTEENÄ**

### **2.2.1 Moottoriurheilumeluun vaikuttavia tekijöitä**

Moottorikäyttöisten ajoneuvojen melu kattaa huomattavan osan ihmisen kuuloalueen taajuuksista. Näiden moottoriajoneuvojen melun tärkeimmät aiheuttajat ovat käyttövoimalaitteisto, vierintämelu sekä aerodynaaminen melu. Käyttövoimalaitteisto käsittää tässä yhteydessä moottorin, voimansiirron ja pakokaasujärjestelmän. Vierimismelu aiheutuu renkaan ja tienpinnan kosketuksesta. Ajoneuvon tyypistä ja ajo-olosuhteista riippuu, kumpi tekijöistä on tärkeämpi. Käyttövoimalaitteiston melu riippuu vain vähän nopeudesta, mutta rengasmelu voimistuu nopeasti, kun vauhti kasvaa. Tietyn rajanopeuden yläpuolella renkaat ovat vallitseva melulähde. (Lahti 2003.) Aerodynaaminen melu tulee merkittäväksi yli 120 km/h nopeuksilla. (Björk 1997.)

Tieliikenteessä renkaiden osuus melusta on vähäisin pienellä ajonopeudella. Rengasmelu nousee merkittäväksi noin 30 km/h nopeudesta lähtien henkilöautoilla ja noin 40 km/h nopeudesta kuorma-autoilla. Tärkein melun aiheuttaja siitä tulee noin 50 km/h nopeudella kevyillä ja 70 km/h nopeudella raskailla ajoneuvoilla. (Lahti 2003.) Kiihdyttäminen ja jarruttaminen vaikuttaa käyttövoiman melutasoon lähinnä alle 50 km/h vauhteissa. (Eurasto 1995.)

Automelusta poiketen melkein kaikki kaksipyöräisten moottoriurheiluajoneuvojen aiheuttama melu on peräisin moottorista. Siten moottoripyörien melutaso määräytyy suurelta osin moottorin kierrosnopeudesta. Melu säteilee ulos voimakkaimmin pakoputkista. (Lahti 1983.) Ajoneuvon kokonaispaino lisää melutasoa. (Parmanen 1992.) Melutaso kasvaa nopeuden logaritmin suhteen lineaarisesti. (Sysiö 1993.)

#### **2.2.1.1 Moottori ja voimansiirtomelu**

Moottorin ääni koostuu joukosta tonaalisia komponentteja, jotka ovat peräisin moottorin mekaanisesta toiminnasta. Tonaaliset komponentit ovat moottorin pyörimistaajuuden kokonais- tai murtolukukerrannaisia. Joillain moottorityypeillä äänessä on mukana myös

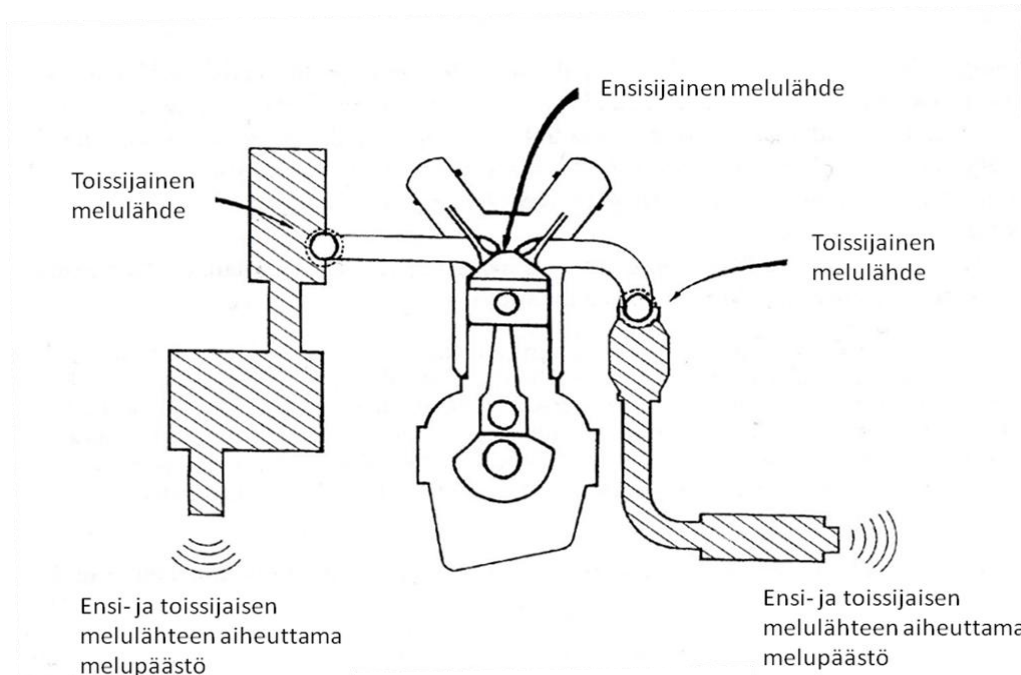
laajakaistainen komponentti, mutta moottoriäänien sävy määräytyy tonaalisten komponenttien suhteiden perusteella. (Mellin 2007.)

Auton moottorimelun alkusyy on polttoaineen palamisräjähdys. Poistoventtiilin auetessa ylipaine pulssi lähtee etenemään pakoputkeen. Se vaimenee tehokkaassa äänenvaimentimessa tuntuvasti, mutta silti pakoääni on auton moottorimelun tärkeimpiä komponentteja. Toinen ääniemission synnyn päämekanismi on moottorin sekä rungon ja korin värähtelevien pintojen säteily. (Lahti 2003.)

Kun tavallinen keskikokoinen henkilöauto kulkee tasaisella 80 km/h nopeudella ja 5-vaihteella, sen 4-sylinterinen bensiinimoottori käy hyvin tyypillisesti noin  $2400 \text{ min}^{-1}$  kierrosnopeudella. Kierrostaajuus on 40 Hz. Kussakin sylinterissä tapahtuu palaminen joka toisella kierroksella ja yhteensä niitä tapahtuu kaksi joka kierroksella. Moottorin palotaajuus on siten 80 Hz. Kun henkilöauto nostaa nopeuden 100 km/h, moottorin melunkin perustaajuus nousee arvoon 100 Hz. (Lahti 2003.)

Ajoneuvon moottorin tuottaman melun voi jakaa imusarjan ja pakosarjan tuottamiin melupäästöihin. Ensisijaiset moottorin melulähteet koostuvat epätasaisesta massavirtauksesta venttiileissä, joka aiheuttaa paineenvaihtelua imu- ja pakosarjassa. Paineenvaihtelu kanavoituu imusarjan suuaukon tai pakoputken kautta ulos ja muodostaa ympäristöön leviävän melupäästön. (Harrison 2004.)

Moottorin toiminnasta aiheutuva toissijainen melu muodostuu virtauksesta imu- ja pakosarjassa. Tämä melu on virtausmelua. Rakennemelu muodostuu edellä mainittujen ensi- ja toissijaisten melujen vaikutuksesta, jotka aiheuttavat ajoneuvon rakenteiden tärinää ja siten melua. On hyvin vaikeaa mittausten perusteella todeta, mikä melu aiheutuu ensi- ja mikä toissijaisesta lähteestä. Imu tai pakosarjan virtausääni on harmonista, ja se sisältää komponentteja sekä matalilta että korkeilta taajuuksilta. Sekä imu- että virtausäänet ovat paljon toistensa kaltaisia ja molemmat ovat aerodynaamista melua. Tämä tekee niiden toisistaan erottamisesta hankalaa. (Harrison 2004.) Kuvassa 1 havainnollistetaan kaavakuvalla ensi- ja toissijaisten melulähteiden sijainnit moottorissa sekä niistä aiheutuvan melupäästön suuntautuminen.



**Kuva 1:** Kaavakuva ensi- ja toissijaisen melulähteiden aiheuttamasta melupäästöstä (Harrison 2004.)

### 2.2.1.2 Rengasmelu ja ajoalustan vaikutus melutasoon

Auton pyörän vieriminen tien pinnalla on ympäristömelun kenties kaikkein tärkein syntytyyppi. Rengasmelun syntymekanismi on mutkikas. Nykyisin useimmat osatekijät ymmärretään ainakin laadullisesti, mutta yksityiskohtaiset tiedot ovat vielä puutteellisia. Tärkeimmät tekijät ovat renkaan pyörimisnopeus, materiaali ja pinnan kuviointi sekä tienpäällysteen pintarakenne. (Lahti 2003.)

Pyörän kehän yksi kierros synnyttää periaatteessa jaksollisen äänen yhden jakson. Renkaat ovat kuitenkin niin tasaisia ja tasapainotettuja, että tämän ilmiön käytännön merkitys on olematon. Merkittävintä on renkaan kuviointi, sen toistuminen ja jakautuma, sekä tien pinnan satunnaisemman paikallisen vaihtelun keskimääräinen koko. (Lahti 2003.)

Tavallinen henkilöauton renkaan halkaisija on noin 50 - 60 cm ja piiri on noin 1,6 m - 1,9 m. Kun auto liikkuu nopeudella 100 km/h (28 m/s), rengas kiertää yhdessä sekunnissa 15 - 17 kierrosta. Pyörimistaajuus on siten 15 - 17 Hz. Renkaan pinnassa on näennäissatunnaista

mutta toistuvaa kuviointia siten, että renkaan koko kehällä on yksittäisiä peruskuvioita noin 40 - 80 kpl. Tämä luku kerrottuna pyörimistaajuudella kertoo montako kuvioniskua tienpintaan tapahtuu yhdessä sekunnissa. (Lahti 2003.)

Tämäntyyppinen laskelma selittää, miksi rengasmelun spektrissä on em. nopeudella yleensä loiva maksimi noin 1 kHz taajuudella. Tienpinnan satunnaisuus ja erilaisten renkaiden kokoelma loiventaa ja leventää spektrin maksimikohtaa. (Lahti 2003.) Rengasmelu syntyy paineen vaihteluista. Paineenvaihtelut aiheutuvat ilman puristuessa renkaan etupuolella renkaan urien ja tienpinnan väliin ja laajetessa renkaan takana. (Björk 1997.)

Rengasmelun aiheutumisen syyksi oletetaan kahta perusmekanismia. Rengasmelu aiheutuu, kun ilma pumppautuu ensin renkaan ja tienpinnan väliin ja pyörimisliikkeen myötä ulos. Tämä muodostaa ns. ilmapumppausäänen. Toinen melua muodostava mekanismi on renkaan tärinä, joka aiheutuu tiekontaktista. Molempiin ääniemission syihin vaikuttavat merkittävästi renkaan rakenne ja rengaskuvio, tienpinnan laatu ja ajoneuvon (renkaan) nopeus. (Harrison 2004.) Eri renkaiden välillä melutasot voivat vaihdella 8 dB. (Sandberg 2000.)

Ilmapumppausmekanismi on osoitettu olevan merkittävä renkaissa, joiden pitkittäisurat ovat syvät. Toisaalta on todettu, että monet sileät renkaat ovat yhtä meluisia kuin kuviolliset. Tämä antaa viitteitä siitä, että tärinä on yhtä merkittävä rengasmelua muodostava tekijä kuin ilmapumppausmekanismi. (Harrison 2004.)

Renkaan kuviopalan iskussa renkaan kuviopala tai muu osa kuten nasta iskeytyy tienpintaan aiheuttaen säteittäisiä värähtelyjä, jotka leviävät myös pinnan suuntaisina värähtelyinä renkaan pinnassa ja vyörakenteessa, leviten renkaan kylkiin. Sama ilmiö tapahtuu myös silloin, kun kontaktivoima vapautuu jättöreunan puolella. Toisena iskuvärähtelynä ovat tienpinnan karheudesta aiheutuvat iskut, joiden mekanismi on sama kuin kuviopalan iskussa, mutta jossa tienpinnan vaihtelu ”vasaroi” renkaan pintaa johtoreunan puolella ja vastaavasti vapauttaa jättöreunan puolella. Iskut ilmenevät tietyllä taajuudella, riippuen kuviopalojen välisestä etäisyydestä tai tien pinnan karheudesta sekä ajoneuvon nopeudesta. Iskun aiheuttaman herätteen amplitudiin liittyy hyvin monimutkaisia muuttujia, kuten kuvion syvyys, leveys, kumin kovuus jne. Renkaan vyörakenteen resonanssit voivat merkittävästi vahvistaa iskusta aiheutuvia herätteitä. (Kokkonen & Lahti 2007.)

Mittaukset renkaan vierestä ja kauempaa osoittavat, että suurin osa melusta syntyy lähellä renkaan ja ajoalustan kontaktipintaa. Äänen intensiteetti on suurimmillaan renkaan ja ajoalustan kontaktipinnan edessä ja takaosassa. Renkaan takaosasta muodostuva melu sisältää kapeakaistaisia komponentteja. Sen sijaan renkaan sivuosa ei ole merkittävä tekijä melun muodostamisessa. Tonaaliseen rengasmeluun vaikuttaa rengaskuvion säännöllisyys. Tonaalinen rengasmelu riippuu nopeudesta enemmän kuin satunnaistaajuinen rengasmelu, johon suuresti vaikuttaa ajoalustan rakenne. (Harrison 2004.)

Ajoalustan rakenne vaikuttaa syntyvään rengasmelutasoon. Melutaso määräytyy pinnan karheuden, huokoisuuden ja äänen absorbtion perusteella. (Harrison 2004.) Tieliikenteessä hiljaiset päällysteet ovat yleensä n. 2 - 4 dB hiljaisempia kuin tavalliset tiepäällysteet. (Kokkonen & Lahti 2007.)

## **2.3 MELUN LEVIÄMINEN JA VAIMENEMINEN YMPÄRISTÖSSÄ**

Äänilähde säteilee ympärilleen poispäin etenevän ääniaallon, jossa ääniteho leviää yleensä laajemmalle pinnalle, kun etäisyys kasvaa. Äänipaine pienenee vastaavasti. Tämä etäisyyden aiheuttama hajaantumisvaimennus esiintyy aina, maastosta ja muista tekijöistä riippumatta. (Lahti 2003.) Se, minkälaiseksi äänikenttä eri etäisyyksillä äänilähteestä muodostuu, riippuu hajaantumisvaimennuksen lisäksi paitsi äänilähteen ominaisuuksista: äänitehosta ja suuntaavuudesta, myös ympäristön rakenteellisista ominaisuuksista. Äänen lisävaimentumista voivat aiheuttaa ilman absorbtio, kasvillisuuden, maanpinnan tai sääolojen vaikutukset sekä estevaimennus. (Björk 1997.)

### **2.3.1 Hajaantumisvaimennus**

Äänitehon ja -paineen pieneminen etäisyyden funktiona riippuu äänilähteen koosta ja muodosta. Tarkasteluetäisyyteen nähden pienikokoinen melulähde toimii pistelähteen tavoin: sen melu leviää palloaaltona. Pitkä ja kapea lähde näyttäytyy viivalähteenä. Sen melu leviää sylinteriaaltona. (Lahti 2003.) Äärettömän pitkällä viivalähteellä ääniteho jakaantuu lieriön pinnalle. Lieriön pinta-ala on  $2\pi rh$ , missä  $r$  on lieriön säde ja  $h$  lieriön pituus. Tuolloin äänenpainetaso pienenee noin 3 dB etäisyyden kaksinkertaistuessa. Äärettömän suuren

tasolähteen ääniteho pysyy edetessään samankokoisella pinnalla eikä hajaantumisvaimentumista näin ollen tapahdu. Tasolähteen synnyttämää kenttää kutsutaan tasoaltokentäksi. (Rossing ym. 2002.)

### **2.3.2 Absorptiovaimennus**

Kun ääni etenee ilmassa, osa siitä absorboituu. Etenkin suuret taajuudet eli korkeat äänet suodattuvat melusta ilmamolekyylien välisen kitkan ansioista tehokkaimmin. Absorptioon vaikuttavat lämpötila ja suhteellinen kosteus. (Lahti 2003.) Ilman absorptio aiheuttaa siis äänen vaimenemista. Ilman absorptio on seurausta viskoosi- ja lämmönjohtumishäviöistä sekä molekyylien, erityisesti happimolekyylin, sisäisten värähtely- ja pyörimistilojen relaksaatiohäviöstä. Absorptiovaimennuksen suhteellinen merkitys hajaantumisvaimennukseen nähden korostuu etäisyyden kasvaessa, koska absorptiovaimennus on aina vakio tietyllä matkalla, mutta hajaantumisvaimennus tarvitsee tiettyyn lisävaimennukseen geometrisessa sarjassa kasvavan matkaeron, mitä kauempana äänilähteestä ollaan. Etäisyys on yleensä ottaen varsin tehokas keino meluntorjunnassa. (Björk 1997.)

### **2.3.3 Olosuhdetekijöiden vaikutus melun leviämiseen**

Kasvillisuuden ja maastoesteiden vaimennus, kuten myös maa- ja muiden heijastusten vaikutus riippuu siitä, kuinka ääniaallot joutuvat niiden vaikutuksen piiriin. Ilmassa esiintyvät lämpötila- ja tuulennopeusgradientit aiheuttavat äänisäteiden kaareutumista, joka taas voi suuresti vaikuttaa siihen, kuinka ääni joutuu vuorovaikutukseen maaston kanssa. Tätä maasto- ja sääolosuhteiden yhteisvaikutusta äänen vaimenemiseen kutsutaan tässä olosuhdetekijäksi. (Björk 2005.)

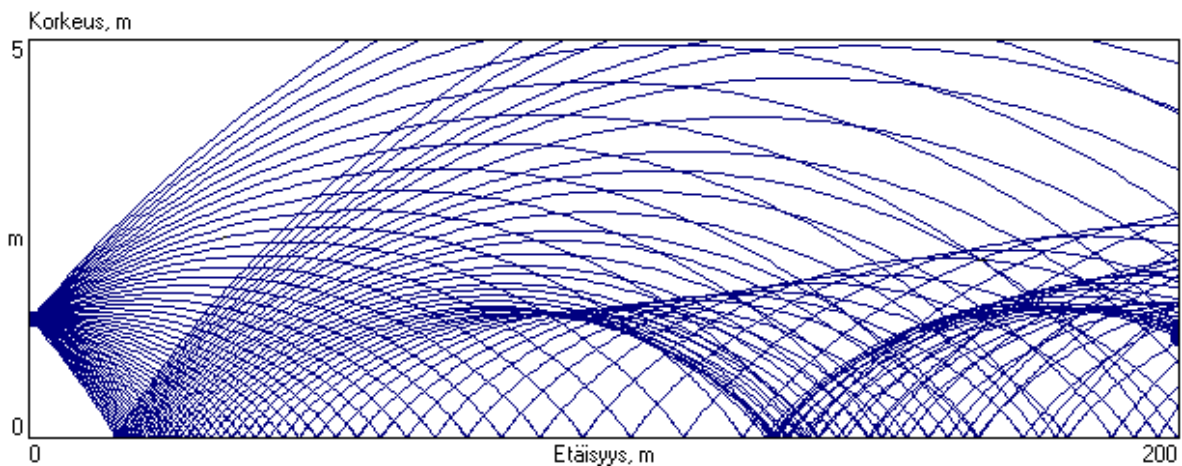
#### **2.3.3.1 Tuuli ja lämpötila**

Ympäristömelun etenemisen kannalta ainoat merkittävät sääilmiöt ovat tuulen nopeuden ja lämpötilan riippuvuudet korkeudesta, ts. tuulennopeus- ja lämpögradientit. Muista



säätökijöistä ilmanpaineen säänmukainen vaihtelu ei olennaisesti vaikuta etenemiseen, eikä kosteus vaikuta muulla tavoin kuin ilman absorbtion kautta. (Lahti 2003.)

Tuulen ja lämpötilan korkeusvaihteluiden ansiosta ääni etenee yleensä kaarevia kulkureittejä pitkin. Loivasti yläviistoon lähtenyt ääni ylittää esteet ja kaartaa takaisin kohti maanpintaa, kun kaarevuussäde osoittaa alaspäin. Äänisäteiden kaareutumista alaspäin esiintyy, kun ääni etenee myötätuuleen tai ilman lämpötila nousee maanpinnalta ylöspäin. Kuvassa 2 on esitetty tilanne, kun tuuli- ja lämpögradienttien vaikutuksesta äänisäteet taipuvat kohti maanpintaa. Olosuhde on äänen etenemisen kannalta suotuisa. Kuultava äänikuva nousee tällöin hieman horisontin yläpuolelle. (Lahti 2003.)



**Kuva 2:** Äänisäteitä, kun äänennopeuden korkeusgradientin aiheuttaa joko 5 m/s myötätuuli 10 m korkeudessa tai 4 °C lämpötilan kasvu korkeusvälillä 2 - 10 m (Lahti, 2001.).

Äänisäteiden kaareutuminen ylöspäin tapahtuu, kun ääni etenee vastatuuleen tai ilman lämpötila laskee maanpinnalta ylöspäin siirryttäessä. Tällöin voi paikassa, josta on melulähteeseen suora näköyhteys, esiintyä äänivarjo. Varjo ei ole täydellinen, vaan osa äänestä pääsee taipumisen eli diffraktion ansiosta varjoalueelle. (Lahti 2003.)

Äänen nopeus riippuu lämpötilasta ja on verrannollinen absoluuttisen lämpötilan neliöjuureen. Näin lämpötilan muutos korkeuden suhteen aiheuttaa äänen nopeuden muutoksen, johon etenevä ääniaalto reagoi. Tuulen suunta ja nopeus vaikuttavat äänen etenemiseen siten, että äänen kokonaisnopeus saadaan laskemalla yhteen tuulen nopeus ja äänen nopeus tyynessä ilmassa. Tuulen nopeus kasvaa yleensä maanpinnalta ylöspäin siirryttäessä. Siten tuulen nopeudella ja myös äänen nopeudella on korkeusgradientti.

Myötätuulessa äänennopeus kasvaa ylöspäin siirryttäessä ja vastatuulessa pienenee. (Lahti 2003.)

### 2.3.3.2 Maanpinnan heijastus ja vaimennustekijät

Avoimessa, heijastamattomassa tilassa, melulähteen äänenpainetaso mittauspisteessä määräytyy äänitehotason, äänen suuntaavuuden, melulähteen ja mittauspisteen välisestä etäisyydestä sekä hajaantumis- että maavaimennuksesta. (Harrison 2004.) Jos taas matkalla esiintyy heijastuksia, kulkureittejä on useita ja siirtotie koostuu niiden yhteisvaikutuksesta. (Lahti 2003.)

Joissain tapauksissa melulähteestä kantautuvaa säteilyä ei ole riittävää kuvata yksinkertaisesti vain pallo- tai sylinteriaaltona. Esim. maanpinnalla oleva melulähde säteilee puolipallona. (Harrison 2004.) Äänilähteen ja kuulijan ollessa lähellä maanpintaa, interferoivat suoraan tuleva ääniaalto ja maanpinnasta heijastuva ääniaalto keskenään. Tämän seurauksena äänenpainetaso voi joko vahvistua enintään 6 dB, jos suoraan tuleva ääniaalto ja heijastunut ääniaalto ovat täsmälleen samanvaiheisia tai vaimentua lähes kokonaan, jos ääniaallot ovat täsmälleen vastakkaisvaiheisia. Vaihe-ero riippuu interferoivien ääniaaltojen kulkeman matkan erosta, äänen aallonpituudesta ja maanpinnan heijastusominaisuuksista. (Björk 1997.)

Kun ääniaalto osuu pintaan, osa äänestä heijastuu ja osa absorboituu. Jos pinta on suuri äänen aallonpituuteen nähden, heijastuminen tapahtuu peilisyymmetrisesti, kuten valon heijastuminen peilistä. Täysi heijastuminen tapahtuu akustisesti kovasta pinnasta. Jos pinta on akustisesti pehmeä, heijastus on osittainen. Äänen kannalta esim. asfaltti on kova ja sileä pinta, kun taas pehmeät maanpinnat, kuten ruoho, pelto ovat myös akustisesti pehmeitä. Jos pinta on hyvin pehmeää, ääni voi absorboitua pintaan lähes täysin, jolloin heijastusta ei juuri tapahdu. (Lahti 2003.)

Pehmeästä maasta ääniaalto heijastuu vastakkaisvaiheisena ja kovasta maasta samanvaiheisena. (Björk 1997.) Jos ääni etenee lähes pinnan suuntaisesti, ei absorptiota juuri tapahdu. (Lahti 2003.) Matalilla taajuuksilla pehmeä maanpinta käyttäytyy kuin akustisesti kova pinta. (Björk 1997.)

Maan huokoisuuden ohella, äänilähteen ja kuulijan korkeudet maanpinnasta ovat ratkaisevan tärkeitä tietoja, mikäli halutaan torjua jonkin äänilähteen aiheuttamaa melua. Muutaman metrin muutos voi merkitä monen desibelin muutosta maavaimennuksessa. Maavaimennusta esiintyy pääasiassa 300 Hz - 1 kHz taajuuksilla. Periaatteessa heijastus maanpinnasta nostaa äänenpainetasoa 3 dB, kun suoran ja heijastuneen äänen interferoinnista johtuva vaimennus ja vahvistus tapahtuvat satunnaisesti. Hyvin lähellä maanpintaa etenevä ääniaalto vaimenee myös maan absorbtion vaikutuksesta. (Björk 1997.)

Björk (2005) on tutkimuksissaan todennut, että maavaimennuksella on vaikutusta taajuuksilla 160 - 500 Hz (maavaimennuskuoppa), kun maa-aines oli nurmea, joka on akustisesti pehmeää. Maavaimennuksen vaikutus nurmella on suurempaa alle 500 metrin etäisyyksillä kuin sitä kauempana. Hyvin matalilla taajuuksilla nurmen olosuhdetekijä on alaspäin kaareutuvien äänisäteiden tapauksessa positiivinen eli ääntä vahvistava sitä enemmän, mitä kauempana mitataan. Asfaltilla maavaimennusta ei esiinny, vaan olosuhdetekijä on positiivinen kaikilla taajuuksilla ja sitä suurempi, mitä kauempana mitataan. Matalilla taajuuksilla lähes kaikenlainen maan pinta on akustisesti kovaa ja aallonpituuteen nähden tasaista. (Björk 2005.)

Tyypillisessä suomalaisessa tuoreessa kangasmetsässä, jossa on huomattava sammalien ja varpujen kattama kenttäkerros, maavaimennuskuopan maksimi asettuu noin 63 - 125 Hz:n taajuudelle, kun se keskieuropalaisissa metsissä ja ISO 9613-2 -standardin mukaan on 200 - 500 Hz:n välillä. Tästä syystä esimerkiksi liikennemelun vaimeneminen voi jäädä vähäisemmäksi suomalaisessa metsässä kuin keskieuropalaisessa metsässä. Samoin lehvästön aiheuttama vaimeneminen suomalaisessa kuusivaltaisessa sekametsässä on jonkin verran vähäisempää kuin ISO 9613-2 -standardin mukaisessa tiheässä lehvästöissä. Tämä selittyy sillä, että metsän tiheys pohjoisilla leveysasteilla ei ole välttämättä sitä luokkaa kuin Keski- Euroopassa. (Björk ym. 2009.)

### **2.3.3.3 Kasvillisuuden vaikutus**

Kasvillisuuden ääntä vaimentava vaikutus perustuu pääosin kasvinosien ääntä heijastaviin ja sirottaviin ominaisuuksiin. Kasvillisuus vaikuttaa äänen vaimennukseen lähinnä niillä aallonpituuksilla, jotka ovat kasvinosien suuruusluokkaa tai niitä pienempiä. Kasvinosiin

absorboituvan äänenenergian määrä on suhteellisen vähäinen. (Björk 1995.) Myös puunrunkojen absorptio on vähäistä, joten niistä johtuvan vaimennuksen aiheuttavat äänen sironta, heijastuminen ja diffraktio. (Eurasto 2003.)

Kasvillisuusvyöhykkeiden rajapinnoissa tapahtuu myös väliaineen akustisen ominaisimpedanssin muutoksista aiheutuvia heijastuksia, jotka vaimentavat ääntä sen edessä kasvillisuuden sisään ja sieltä pois. Siten mahdollisimman tiivis ja vyöhykkeinen kasvillisuus on paras meluste. (Björk 1995.) Pohjakasvillisuuden ja puuston vaikutus yhdistyy maanpinnan vaikutukseen, joten näitä pitäisi tarkastella yhtenä kokonaisuutena. (Eurasto, 2003.)

## **2.4 MOOTTORIURHEILUMELUN ARVIOINTI**

### **2.4.1 Moottoriurheilumelu ympäristöhaittana**

Ympäristömelulla tarkoitetaan kaikkea ihmisen asuin- ja elinympäristössä esiintyvää melua, työhön liittyvä melu pois luettuna. (Pesonen 2005.) Moottoriurheiluradat aiheuttavat lähes poikkeuksetta ympäristössään meluhaittaa. Melutaso 50 metrin etäisyydellä voi ylittää jopa 90 dB(A). Ajoneuvot ovat vakiomalleihin verrattuna meluisampia ja niitä käytetään suuremmilla kierrosnopeuksilla. Moottoriurheilun harrastaja ja kilpailujen katsoja voi altistua kuulolle vaaralliselle melulle. Ekvivalenttitasot ovat pahimmillaan 100 - 105 ja enimmäistasot 115 dB(A). (Björk 1997.)

Jyväskylän yliopiston ylläpitämän liikuntapaikkatilaston mukaan Suomessa on erilaisia moottoriurheiluun tarkoitettuja pysyviä alueita noin 120 kappaletta. Suorituspaikat sijaitsevat käytännössä ympäri Suomea.

Meluhaittojen kannalta yksi merkittävä moottorirata on Hämeenlinnan Ahveniston moottorirata, jonka melualueella asuu noin 1 000 asukasta. Ratojen sijainnin ja niissä harrastettavien lajien perusteella voidaan arvioida, että muiden ratojen läheisyydessä melulle altistuu enimmillään joitakin kymmeniä asukkaita, kun altistumismelutason rajana käytetään 55 dB:n ylittävää melutasoa. Melun luonteen takia on kuitenkin todennäköistä, että

huomattavasti suurempi joukko asukkaita kokee melun häiritsevänä. (Liikonen, ym. 2005.) Valtakunnallisesti on taas arvioitu, että noin 2000 ihmistä Suomessa altistuisi moottoriurheilumelulle ( $L_{Aeq} > 55$  dB). Tätä arvioita voidaan pitää kuitenkin vain suuntaa-antavana. (Ympäristöministeriö 2004.)

Vaikutustutkimuksien mukaan ajallisesti vaihtelevan ympäristömelun häiritsevyyteen vaikuttavat eniten meluisten tapahtumien tai jaksojen voimakkuus, kesto, lukumäärä ja vuorokauden aika. (Lahti 2003.) Moottoriurheilukilpailujen melu koetaan varsin häiritsevänä, koska ne järjestetään usein viikonloppuisin. (Tiihinen ym. 1997.) Moottoriurheilumelun immissiotasoon vaikuttavat paljolti samat tekijät kuin tieliikennemeluun, ts. ajoneuvojen lukumäärä, melupäästö sekä ajopaikan sijainti ja ympäröivä maasto. (Ympäristöministeriö 1993.)

Moottoriurheiluratojen melu voi kuulua satojen metrien päähän. Melua vähän vaimentavissa olosuhteissa melun kaareutumissäteet ovat alle kilometrin pituisia. (Björk 1997.) Monien äänilähteiden melu saattaa kuulua ainakin ajoittain yllättävän kauas. (Pesonen 2004.) Moottoriurheiluradan toiminnasta aiheutuvan melualueen laajuuteen vaikuttavat merkittävästi siellä harrastettavat lajit ja ajoneuvojen määrät sekä kilpailujen tai harjoitusten kesto. Lisäksi melun leviämiseen vaikuttavat mahdolliset meluesteet, muut rakennelmat sekä maaston muodot. Karkeasti voidaan arvioida, että moottoriratojen aiheuttama 55 dB melualue ulottuu kilpailujen ja harjoitusten aikana lajista riippuen 400 - 1500 metrin etäisyydelle radasta. (Liikonen, ym. 2005.)

Moottoriurheilun meluallistuksen seuranta asettaa tiettyjä haasteita, sillä esimerkiksi vanhat melualue tiedot eivät välttämättä ole vertailukelpoisia uusien kanssa. Useiden kilpa-autojen ja -moottoripyörien melupäästöjä on vuosi vuodelta tiukennettu ja suurten kilpatapahtumien määriä on rajoitettu. Moottoriurheilu kehittyy jatkuvasti, minkä seurauksena jotkut lajit poistuvat ja uusia kilpailu- ja harrastemuotoja tulee tilalle. Lajien kehityksen myötä on lajisäännöissä kiinnitetty huomiota melupäästöihin. Suuntauksena on ollut, että kilpa-autojen ja -moottoripyörien melupäästörajoja on tiukennettu. Esimerkiksi kansainvälinen moottoripyöräurheilujärjestö FIM pyrkii alentamaan kilpamoottoripyörien enimmäismelutasoja noin 3 dB(A) vuoteen 2013 mennessä.

### **2.4.2 Moottoriurheilumelulle altistuminen**

Melulle altistuminen edellyttää altistujan oleskelua, yleensä asumista, melun esiintymisalueella. Moottoriurheilumelu voidaan luokitella vapaa-ajanmeluksi. Muita vapaa-ajan ympäristömelulähteitä ovat esimerkiksi ampumaradat ja ulkoilmakonsertit. (Liikonen, ym. 2005)

Moottoriurheiluratojen toiminnasta aiheutuva melu painottuu tiettyihin aikajaksoihin, tyypillisesti kesiin ja päiväsaikaan. Siten moottoriurheilumelu poikkeaa esimerkiksi vilkkaiden pääteiden varsilla esiintyvistä, lähes ympärivuorokautisesta meluimmissiosta. (Ympäristöministeriö 2004.)

Moottoriurheiluratojen melualueittain keskimääräistä laajuutta on vaikea arvioida, koska erilaisten moottoriratojen melut vaihtelevat hyvin tapauskohtaisesti ja leviäminen asutukseen riippuu monista teknisistä ratkaisuksista, radalla käytettävistä ajoneuvoista sekä ympäröivän maaston muodoista. Monissa moottoriratoja koskevissa meluselvityksissä on laskennallisesti arvioitu melun leviäminen tai mitattu melua yksittäisissä kohteissa, mutta melulle altistuvien määrää ei ole useimmiten arvioitu. (Liikonen ym. 2005.)

Moottoriurheilumelulle altistumista arvioidaan tavallisesti niissä tilanteissa, kun toiminnasta on jo todettu aiheutuvan haittaa lähialueen asukkaille. Lisäksi moottoriurheiluratojen meluselvityksiä on tehty lähinnä ympäristölupahakemuksia varten. (Liikonen ym. 2005.)

### **2.4.3 Ympäristönsuojelulaki ja -asetus**

Ympäristönsuojelulalla (86/2000) ja -asetuksella (169/2000) säädetään muun muassa ulkona sijaitsevan moottoriurheiluradan ympäristöluvasta. Moottoriurheilurata voidaan luokitella ympäristönsuojelunlain 3 §:ssä määriteltyyn ihmisen aiheuttamaan toimintaan, joka melupäästön vuoksi aiheuttaa ympäristön pilaantumista.

Moottoriurheiluratoja suunniteltaessa tulee ottaa huomioon ympäristönsuojelunlain 6 §, jonka mukaan toiminta on sijoitettava siten, ettei toiminnasta aiheudu ympäristön pilaantumista tai vaaraa ja että pilaantumista voidaan ehkäistä. Lisäksi on otettava huomioon alueen ja sen

ympäristön nykyinen ja tuleva, oikeusvaikutteisessa kaavassa osoitettu käyttötarkoitus ja aluetta koskevat kaavamääräykset.

Ympäristönsuojelulain 28 §:ssä todetaan, että ympäristön pilaantumisen vaaraa aiheuttavaan toimintaan on oltava lupa (ympäristölupa). Luvanvaraisista toiminnoista säädetään tarkemmin ympäristönsuojeluasetuksessa. Ulkona sijaitseva moottoriurheilurata on toimintaa, jolle vaaditaan asetuksen 1.1 §:n kohdan 12 d mukaan ympäristölupa. Asetuksen 7 §:n mukaan lupaharkinnan suorittaa kunnan ympäristönsuojeluviranomainen. Mikäli moottoriurheiluradan vaikutus ulottuu useamman kunnan alueelle, on lupaviranomaisena aluehallintovirasto.

#### 2.4.4 Valtioneuvoston päätös melutason ohjearvoista

Valtioneuvoston päätöksessä (993/1992) on annettu ohjearvot ulkomelulle (Taulukko 2). Päätös ei koske ampuma- ja moottoriurheiluratojen aiheuttamaa melua.

**Taulukko 2:** Valtioneuvoston päätöksen 993/1992 ohjearvot ulkomelulle

Alue	$L_{Aeq}$ , päivällä klo 7 - 22	$L_{Aeq}$ , yöllä klo 22 - 7	$L_{Aeq}$ , yöllä klo 22 - 7, uudet alueet
Asumiseen käytettävä alue, virkistysalue taajamissa ja taajamien välittömässä läheisyydessä, hoitolaitokset, loma-asumiseen käytettävät alueet taajamissa	55 dB	50 dB	45 dB
Oppilaitokset	55 dB	-	-
Loma-asumisalue, leirintäalue, taajamien ulkopuolella oleva virkistysalue ja luonnonsuojelualue	45 dB	40 dB	-
Melun ollessa luonteeltaan iskumaista tai kapeakaistaista mittaus- tai laskentatulokseen lisätään 5 dB ennen vertaamista taulukon ohjearvoihin.			

### **2.4.5 Meluntorjunnan valtakunnalliset linjaukset ja toimintaohjelma**

Vuonna 2006 valtioneuvosto on tehnyt periaatepäätöksen meluntorjunnasta, tavoitteena melulle altistumisen vähentäminen monella ihmisen elinympäristön osa-alueella. Periaatepäätös on ympäristöministeriön vuonna 2002 asettaman työryhmän valmisteleva raportti, jossa linjataan meluntorjunnalle oleelliset toimenpiteet Suomessa. Periaatepäätöksen tavoitteena on melutasojen aleneminen ja melulle altistumisen vähentäminen niin, että vuonna 2020 päiväajan yli 55 desibelin melualueilla asuvien ihmisten määrä on vähintään 20 prosenttia pienempi kuin vuonna 2003. Periaatepäätöksessä korostetaan melun vaikutusten ennaltaehkäisyä ja olemassa olevien haittojen vähentämistä. Tavoitteena on, että meluntorjunta otetaan huomioon läpäisevästi kaikkea melua aiheuttavaa toimintaa suunniteltaessa ja toteutettaessa.

Meluntorjunnan valtakunnallisten linjauksien yhtenä päämääränä on, että moottoriurheiluratojen sekä muiden kiinteiden vapaa-ajan toimintojen aiheuttamia meluhaittoja vähennetään niin, että pysyvää asutusta tai loma-asutusta ei altistu VNp 993/92:n ohjearvoja ylittävillä melutasoilla. Moottoriurheilumelulle altistuvien määrän arvioidaan pienenevän 2000-luvun alun määristä, koska moottoriurheiluratojen melupäästöihin puututaan ympäristönsuojelulain lupa- ja valvontamenettelyillä.

Periaatepäätöksessä todetaan, että meluhaittojen ehkäisemisessä keskeisessä asemassa ovat suunnittelussa ja lupapäätöksissä sovellettavat ohjearvot. Nykyisten meluohjearvojen soveltamista on tarpeen edelleen kehittää siten, että melun haittoja arvioidaan nykyistä monipuolisemmin. Ohjearvoja on tarpeen myös täydentää. Kiireellisimpinä pidetään enimmäismelutasoa ja moottoriurheilumelua koskevien ohjearvojen laatimista. Tavoitteena oli, että moottoriurheilumelulle laaditut ohjearvot olisivat käytössä vuoteen 2006 mennessä. (Ympäristöministeriö 2004.) Toistaiseksi Suomessa ei kuitenkaan ole otettu käyttöön moottoriurheilumelun ohjearvoja.

### **2.4.6 Ympäristömelun mittaaminen**

Mittauksilla saatu tulos kuvaa tietyllä paikalla tietyissä olosuhteissa vallinnutta melutilannetta. Mittaustulosten riippuvuus paikasta, melulähteen toiminnasta ja



sääolosuhteista aiheuttaa sen, että mittausten on oltava ajalliselta kestoaltaan laajat, jotta tulokset olisivat edustavia. (Tiihinen ym. 1997.) Jos melua mitataan tavallisena seurantamittauksena, tuloksena on väistämättä kokonaismelu. Mittauksissa on siten ongelmana miten osamelut saadaan erotettua kokonaismelusta. (Lahti 2003.)

Melun arviointi mittaamalla on järkevää, kun melulähteen ominaisuuksia ei tunneta. Käytännössä jos melupäästöä ei tunneta, mm. melun leviämistä kuvaavien laskentamallien käyttö ei ole mahdollista ilman melupäästömittauksia. Mikäli melulähteen melupäästö on suuria vaihteluita, melun pitkäkestoinen mittaaminen häiriintyvässä kohteessa on järkevää. Lisäksi jos tuloksia halutaan vain muutamasta pisteestä, on mittaus hyvä vaihtoehto. (Tiihinen, ym. 1997.)

Tulosten edustavuus ja luotettavuus edellyttää yleensä mittauksia useina eri ajankohtina ja erilaisissa sääoloissa. (Airola 2008.) Melumittauksien luotettavuus kuvaa sitä, millä tilastomatematisella riskillä mittaustulos tai tulossarjasta laskettu suure poikkeaa siitä tuloksesta, jonka katsotaan edustavan oikeaa arvoa. Mittauksien edustavuus puolestaan kertoo siitä, kuinka hyvin mittaukseen sisältyvät näytteet kuvaavat tai vastaavat todellista altistavaa melua ja sen vaihtelua. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003.)

Jotta mittaustulos olisi mahdollisimman edustava ja luotettava, tulee ennen mittauksia täsmentää mittauksen tarkoitus ja sen perusteella suunniteltava tarkoituksenmukaiset suorittamistavat, -ajankohdat ja kestot. Tarkoituksesta riippuen mittaustulosten edustavuus ja luotettavuus saattavat edellyttää mittauksia useina eri ajankohtina, esimerkiksi erilaisia meluja tuottavien toimintojen aikana. Taustameluun tulee kiinnittää riittävästi huomiota, jotta se ei aiheuttaisi virhettä mittaustulokseen. Muun kuin määritettävän melun äänitason tulee mittausaikana olla 10 dB määritettävää melua pienempi. Kun saatua mittaustulosta on tarkoitus verrata valtioneuvoston päätöksen (993/92) mukaisiin ohjeisiin, mittaukset tehdään sääoloissa, joissa äänen etenemisessä kohteeseen äänen vaimeneminen on vähäistä. (Ympäristöministeriö 1995.)

Mittauksilla määritetään yleensä ekvivalenttitaso ( $L_{eq}$ ) ja/tai maksimitasoja ( $L_{max}$ ). (Björk, 1997.) Ympäristömelun kuvailusuureista tärkeimpiä ovat melulähteen tai lähdekokonaisuuden melupäästö ja melun kohteena olevan paikan melutaso ei immisiotaso. Melupäästö kertoo, kuinka suuren akustisen tehon äänilähde säteilee melua tiettyyn, määriteltyyn suuntaan.

Melutaso on altistuvassa kohteessa tai kuuntelupisteessä esiintyvä melun äänitaso. (Lahti 2003.)

#### **2.4.6.1 Moottoriurheilumelun mittaaminen**

Kilpa-ajoneuvoa ja kilpa-ajotilannetta voidaan pitää pisteäänilähteenä. (Laivoranta 2008). Moottoriurheilumelu tulisi mitata varsinaisen harjoitus- tai kilpa-ajon aikana. Lisäksi on huomioitava ajoneuvon nopeus mittauksen aikapainotusta käytettäessä. Esimerkiksi road racing-ajoneuvoille Fast-aikapainotus ei ole välttämättä tarpeeksi nopea. Jos ajoneuvo ajaa esimerkiksi 250 km/h nopeudella (68 m/s), se liikkuu 7 metriä yhden aikavakion (125 ms) aikana. Tällöin 10 metrin mittausetäisyydellä ei saada todellista maksimia mitattua. Todenmukaisten tuloksien saamiseksi mittarin aikavakion tulee olla lyhyempi, eli alle 125 ms tai mittausetäisyyttä tulee kasvattaa. (Lahti 1983.)

Mittaustulosten edustavuuden kannalta tärkeitä mittauspaiikkoja ja -tilanteita ovat etenkin radan nopeat kohdat, alhaisesta ajonopeudesta tapahtuva kiihdytys sekä kilpailun lähtö. Kiihdyttävän ajon mittaaminen on mahdollista kurviajossa, kun ajoneuvo joutuu ajamaan kurvin hitaalla vauhdilla ja kiihdyttää kurvin jälkeen suoraosuudelle. Road racing-ajossa suurimmat melupäästötasot muodostuvat kilpa-ajossa kuin harjoitusajossa. (Lahti 1983.)

Melupäästöt mitataan usein kansainvälisen lajiliiton (Fédération Internationale de Motocyclisme, International Motorcycling Federation, FIM) ohjeiden mukaisesti pakoputken läheltä, moottorin käydessä tietyllä kierrosluvulla. (Granneman ym. 2005.) Katsastusmittaukset eivät anna todellista kuvaa ajoneuvojen melupäästöstä, koska siinä mitataan paikallaan olevan pyörän melupäästö. (Lahti 1983.) Paikallaan olevan ajoneuvon melupäästömittaus korreloi huonosti todellisen ajotilanteen kanssa, koska moottori ei kuormitu samalla tavalla kuin kilpa-ajossa. (Miljøstyrelsen 2003.)

Yksinkertaistettuna ohiajavan moottoriurheiluajoneuvon melupäästö voidaan mitata, kun tiedossa on ajoneuvon ja mittauslaitteen välinen etäisyys, ajoalustan laatu kuten asfaltti, sora, multa, hiekka jne. Mittauksen edustavuutta lisää, kun päästö mitataan kilpailuolosuhteissa. (Wikström 2007.)

Ajoalustan vaikutuksen huomioon ottavassa mittausmetodissa voidaan käyttää mitattua maksimiäänitasoa kaavan 1 mukaisesti:

$$L_{WA} = L_{pA, \max F} + 20 \log a + \Delta L_{gm} \quad (1).$$

Kaavassa  $L_{WA}$  on laskettu melupäästö,  $L_{pA, \max F}$  on mitattu FAST-painotettu maksimimelutaso,  $a$  on lyhin etäisyys ohiajavan ajoneuvon ja mittauspisteen välillä ja  $\Delta L_{gm}$  on ns. maaperäkorjaus. (Wikström 2007.) Maaperäkorjauksen kertoimet on esitetty taulukossa 3.

**Taulukko 3:** Maaperäkorjaukset eri rata-alustoille (Wikström 2007.)

Maaperäkorjaus (dB)	Multa	Sora	Asfaltti	
Laatu	Pehmeä	Pehmeä	Pehmeä	Kova
$\Delta L_{gm}$	10,7	12,8	9,4	6,7

Taulukon 3 arvot perustuvat 4 - 10 metrin mittausetäisyyteen ja mittauskorkeuteen, jossa mittari on noin 1,5 - 1,8 metrin korkeudella maanpinnasta. (Wikström 2007.)

Mitattaessa moottoriurheiluradan aiheuttamaa immissiota melulle altistuvassa kohteessa, tulisi ottaa huomioon ajoneuvojen jakautuminen radalla. Heti lähdön jälkeen lähes kaikki ajoneuvot ovat lähellä toisiaan muodostaen käytännössä yhden suuren melulähteen. Mikäli halutaan määrittää keskimääräisempi melutaso, mittaukset tulisi suorittaa sitten kun ajoneuvot ovat levittäytyneet tasaisesti radalla kisatilanteen edetessä. Ajoneuvojen ollessa tasaisesti levittäytyneenä lyhyet mittausjaksot ovat riittäviä antamaan edustavan kuvan melutilanteesta. (Granneman ym. 2005.) Mikäli halutaan määrittää enimmäismelutaso, edustava tilanne on kilpailun lähtö, koska tällöin ajoneuvot ovat yhdessä rykelmässä ja kiihdyttävät samanaikaisesti.

#### 2.4.7 Moottoriurheilumelun leviämisen laskennallinen mallintaminen

Laskentamallit ovat tärkeimpiä meluntorjunnan apuvälineitä. Tietokoneohjelmaksi automatisoituina niillä voidaan selvittää meluvyöhykkeiden raja ja esim. tietylle immissiotasolle altistuvien kohteiden lukumääriä. Laskentamallien käytön ydinmenettelyyn

kuuluu melulähteiden päästötietojen hankkiminen mittaamalla tai muulla tavoin. Ne syötetään mallin lähtötiedoiksi. Siirtoteiden vasteet muodostetaan laskentamallilla jokaisesta lähteestä jokaiseen tarkastelupisteeseen. Tarkastelupisteen kokonaismelu lasketaan eri melulähteiden osamelujen summana. (Lahti 2003.)

Melun leviämismallintamisen käyttö on mielekästä, kun melulähdettä ei ole vielä olemassa, halutaan arvioida tulevaisuuden melutilannetta tai halutaan vertailla erilaisia melutasoon vaikuttavia tekijöitä. (Tiihinen ym. 1997.) Esimerkiksi, jos motocrossradalle haetaan ympäristölupaa, voidaan laskentamallilla arvioida melulle altistuvissa kohteissa esiintyvistä melutasoista.

Laskennallisella mallintamisella saadaan yleispätevä tulos, mutta laskelmat edellyttävät monenlaisia tietoja melulähteestä ja reaalisen tilanteen yksinkertaistuksia. (Björk 1997.) Erityyppisten melulähteiden ominaispiirteistä johtuen tärkeimmille melulähdetyypeille on omat laskentamallinsa. Moottoriurheiluratomelun mallissa käytetään immission kuvailusuurena pelkästään enimmäistason  $L_{AFmax}$ . (Tiihinen ym. 1997.) Kuntien melutilanteen seuranta koskevassa ohjeessa on esitetty samoin enimmäistason  $L_{AFmax}$  käyttämistä. (Ympäristöministeriö 1990.)

Toisaalta maksimiäänitaso ei ole täsmällinen kuvaamaan esimerkiksi road racing -pyörien vaihtelevaa melua, koska se ei kerro mitään melutapahtuman kestosta tai melutapahtumien määrästä. Melupäästö voidaan määrittellä melulähteen aiheuttaman äänen tehotasona. Melupäästöä tutkiessa käytännöllisiä muuttujia olisivat paitsi äänitehotaso ( $L_{WA}$ ) myös äänialtistustaso ( $L_{AE}$ ) sekä koko mittausjakson keskiäänitaso ( $L_{Aeq}$ ). Tarkka ja luotettava laskentamalli vaatii lähtöarvoiksi todelliset toimintaa kuvaavat emissiotasot. (Lahti 1983.) Jotta laskentamallilla voidaan realistisesti ennustaa melutaso, melupäästöjen tulee vastata todellisessa ajotilanteessa muodostuvaa melua. (Miljøstyrelsen 2003.)

Laskentamallien yksi tärkeä etu mittauksiin verrattuna on, että meluntorjuntatoimien vaikutusta voidaan kokeilla ennen rakentamista. (Lahti 2003.) Melun laskennassa tarvittavat tiedot voidaan jakaa melulähteiden tietoihin sekä maastotietoihin. Moottoriurheiluratojen osalta tarvittavia tietoja ovat ajojen ja ajoneuvojen tiedot (tyypit ja samanaikaisesti radalla ajavien ajoneuvojen lukumäärät), eri ajoneuvotyyppien melupäästötiedot, rata-alueen ja sen

ympäristön tiedot (korkeuskäyrät), rakennusten ja mahdollisten melusteiden tiedot sekä ajojen ajankohta ja kesto. (Eurasto 2007.)

## 2.5 MELUPÄÄSTÖTIEDOT

Meluselvityksiin tarvittavina päästötietoina voidaan usein käyttää yhteisesti hyväksytyjä ominaispäästöjä. (Airola 2008.) Ympäristömelun lähteiden päästöjä koskevien tietojen määrä ja tarkkuus vaihtelevat tuntuvasti. Autojen melupäästöt tunnetaan hyvinkin tarkasti. Myös Suomessa liikennöivien lentokoneiden ja junien päästötiedot ovat kattavia. Muiden melulähdetyyppien päästötiedot ovat huomattavasti hajanaisempia. (Lahti 2003.) Moottoriurheilumelun osalta lähtöarvojen selvittämiseksi on yleensä suoritettava melumittauksia eri moottoriurheilulajeille tai ajoneuvotyypeille lähellä rataa sijaitsevilla tarkastelupisteillä. (Eurasto 2007.)

Ruotsissa toimiva ympäristönsuojeluvirasto (Naturvårdverket) on antanut moottoriurheilumelun leviämisen laskentaohjeessaan referenssimelutasotietoja muutamille moottoriurheiluajoneuvoille (Taulukko 4). Referenssimelutasot on normeerattu 10 metrin etäisyydelle jättäen maaheijastus huomioimatta (Naturvårdverket, 1983.).

**Taulukko 4:** Naturvårdverketin vuoden 1983 referenssimelutasot moottoriurheiluajoneuvoille

Moottoriurheilulaji	Luokka	Referenssimelutaso, 10 m, dB(A)
Karting	F-mini 85 m3	87
	Muut	93
Motocross	250 cm <sup>3</sup> (2-tahti)	96
	500 cm <sup>3</sup> (2-tahti)	98
Speedway	500 cm <sup>3</sup>	104
Rallycross	Ilman turboa	114
	Turbollinen	100
Jokamiesluokka		110

Taulukon 4 tietoja on täydennetty vuonna 2007. Täydennysmittaukset on toteuttanut ÅF-Ingemansson AB, joka määritteli melutasoja sekä rallycross- että motocross-ajoneuvoille.

Täydennysmittauksissa on määritetty ajoneuvon melupäästö ( $L_{WA}$ ) sekä 10 metrille normeeratut melutasot. Molempien moottoriurheilulajien mittaukset on tehty kilpailujen aikana. Kilpailut sisälsivät harjoitus-, aika- sekä kilpailuajoja. (Wikström 2007.)

Rallycrossin melupäästöt mitattiin yhdestä mittauspisteestä, joka oli lähtösuoran varrella, noin 30 metriä ennen ensimmäistä kurvia. Mittausetäisyys ajouran keskikohtaan oli 15 metriä. Samoin motocrossin melupäästö mitattiin yhdestä mittauspisteestä, joka sijaitsi lähtösuoran loppupäässä. Mittausetäisyys ajouran keskikohtaan oli 10 metriä. Edustava mittaustulos on saatu 4 -tahtisille, 450 cm<sup>3</sup> motocross-ajoneuvoille. (Wikström 2007.)

Taulukossa 5 esitetään täydennysmittausten perusteella määritetyt melupäästöt ja referenssimelutasot. Melupäästöt ovat keskiarvoja kullekin lajiluokalle. Melupäästötasot on laskettu aiemmin esitetyllä kaavalla 1. (Wikström 2007.)

**Taulukko 5:** Täydennysmittauksista saadut melupäästöt sekä 10 metrille normeeratut referenssimelutasot.

Moottoriurheilulaji	Luokka	Melupäästö (LWA, dB)	Referenssimelutaso, 10 m, dB(A)
Rallycross	Luokka 6, juniorit (autot 1400 - 2150 cc)	125	94
	Luokka 4, Super Kansallinen (autot maksimi 2150 cc)	128	97
	Luokka 2, Super Kansallinen (autot maksimi 2400 cc)	129	98
	Luokka 1, Super Kansallinen	128	97
Motocross	450 cc, 4-tahtinen	132	101

Tanskassa toimiva ympäristönsuojeluvirasto (Miljøstyrelsen) on yhteistyössä Ingemansson Technology AB:n kanssa laatinut moottoriurheilumelulle mittaus- ja seurantajärjestelmää.

Siihen liittyen toteutettiin melupäästömittauksia, joissa selvitettiin kartingin, motocrossin sekä speedwayn melupäästöjä kilpailuoloissa. Mittaukset on toteutettu ohiajomittauksina alle 10 metrin etäisyydeltä ajoradasta ja mitattavana suurena on ollut ohiajon  $L_{eq}$ . Mittauksissa on pyritty siihen, että mitattu ajomatka olisi mahdollisimman pitkä, mieluiten noin kymmenen kertaa pidempi kuin mittausetäisyys. Mittaukset on toteutettu kesällä 1999. Taulukossa 6 esitetään saadut melupäästöt kolme eri moottoriurheilulajille. Melupäästöt on laskettu ohiajojen keskiarvoista. (Miljøstyrelsen 2003.)

**Taulukko 6:** Ingemansson Technology AB:n suorittamien melupäästömittauksien tuloksia.

Moottoriurheilu	Ohiajojen lkm.	Nopeus ka. (m/s)	Melupäästö (LWA, dB)
Karting, One POP I-klass	10	30	127,1
Motocross, 250cc-class	10	21	125,5
Speedway, kolme erilaista	4	24	133,1
äänenvaimenninta, 500cc	4	24	133,5
	4	24	137,6

Ympäristömittaustekniikkaan erikoistunut yritys Peutz by (Granneman ym. 2005.) on Hollannissa tutkinut motocross-ajoneuvokohtaisia melupäästöjä kolmella eri motocross-radalla. Melupäästömittaukset on tehty ajoneuvojen ohiajosta ajoradan välittömässä läheisyydessä. Tutkimuksessa on ollut useita kilpailuluokkia ja mittaukset on tehty ratojen äänekkäimmissä kohdissa kuten kurvien ulostulossa, jossa ajoneuvolla kiihdytetään voimakkaasti, tai nopealla suoralla. Lisäksi mittauksia tehtiin etäämmällä radasta. Kauempana tehdyt mittaukset tehtiin etäisyydeltä, joka oli 1,5 kertaa suurempi kuin radan halkaisija. Siten rataa voidaan tarkastella yksittäisenä pistelähteenä. (Granneman ym. 2005.)

Grannemanin ym. tuloksissa osoitetaan, että puoliammattilaiskuljettajat (super class-luokka) aiheuttavat suuremman melupäästön kuin amatöörikuljettajat. Lisäksi mitausten perusteella todetaan, että kauempana radasta saatujen mitaustulosten perusteella lasketut melupäästötasot olivat noin 8 dB matalampia kuin läheltä ajouraa saadut mitaustulokset. Tämän perusteella esitetään arvio, että motocross-ajossa vain 15 % tapahtuisi täydellä kiihdytyksellä koko kilpailun aikana. Mitausten perusteella esitetään, että yhdestä motocross-ajoneuvosta aiheutuva melupäästö voisi keskimääräisesti olla noin  $L_{WA}$  120 dB. Taulukossa 7 esitetään Granneman ym. mitaamat melupäästötulokset.

**Taulukko 7:** Grannemanin ym. mittaamat melupäästöt usealle eri motocross-kilpailuluokalle.

Kilpailuluokka	Melupäästö ( $L_{WA}$ , dB), ohiajomittaus					Melupäästö ( $L_{WA}$ , dB), etäisyydeltä 1,5 * radan halkaisija		
	Rata A		Rata B	Rata C		Rata A	Rata B	Rata C
	Piste 1	Piste 2		Piste 1	Piste 2			
50 cm <sup>3</sup> 2t	118,1	117,1				110,6		
65 cm <sup>3</sup> 2t	118,5	118,8		118,2	121,7	113,1		117,1
85 cm <sup>3</sup> 2t	124,0	126,2		124,4	126,3	117,5		117,8
250 cm <sup>3</sup> 2t	125,3	124,0	125,2	132,9	127,9	120,7	118,5	120,1
450 cm <sup>3</sup> 4t	127,0	127,9	127,6	133,7	132,5			
125 cm <sup>3</sup> 2t	125,7	125,9	127,1	133,1	130,9	120,5	119,3	118,9
250 cm <sup>3</sup> 4t	125,2	133,6	125,9	135,9	130,1			
Juniorit 65 + 85 cm <sup>3</sup> 2t			121,0				115,2	
Juniorit 85 + 125 cm <sup>3</sup> 2t			126,4				120,9	
40+500 cm <sup>3</sup> 2t			125,1				119,9	
40+625 cm <sup>3</sup> 4t			127,5					
Superclass 2t			127,5				122,3	
Superclass 4t			130,3					
Suzuki 125 cm <sup>3</sup> 2t				125,4	125,9			117,9
Suzuki 250 cm <sup>3</sup> 4t				131,6	130,9			



Kuopion yliopiston teettämissä Heinjoen moottoriratojen melumittauksissa Björk (2001) on tutkimuksissaan mitannut jokamiesluokan autojen sekä motocross-ajoneuvojen melupäästöjä. Autojen melupäästöt mitattiin 7 metrin korkeudesta ja 55 metrin etäisyydeltä ajolinjasta. Moottoripyörien melupäästöt mitattiin noin 8 metrin korkeudesta, lyhimmän etäisyyden ajouraan ollessa 53 metriä. Melupäästöt mitattiin ajoneuvojen ohiajosta ja analysoitiin kultakin ajojaksolta. Keskiarvon laskennassa huomioitiin eri osa-ajojaksojen etäisyysmittauspisteestä ja niissä ajamiseen kulunut aika. Taulukossa 8 esitetään Björkin tuloksia eri ajoneuvoille.

**Taulukko 8:** Björkin Heinjoella suorittamien melupäästömittauksien tuloksia.

Moottoriurheilu	Ajoneuvo (merkki)	Melupäästö (LWA, dB)
Jokamiesluokka, auto	Volvo	120
	Ford Escort	112
	Sunbeam	118
	Fiat 133	121
	Opel Kadett	118
	Escort	118
	Suzuki	109
Motocross	Honda cr 125	122
	KTM	118
	Honda	121

Lahti (1983) on tutkimuksissaan määrittänyt kolmen eri road racing-kilpailuluokan melun päästötasoja Ruotsin Statens Naturvårdverketin käyttämää moottoriurheilumelun laskennallisen mallin toimivuuden arvioimiseksi. Lahti on mitannut Imatralla kilpailutilanteessa muodostuvia melupäästöjä ohiajomittauksin. Emissiomittauspisteen etäisyys radan keskikohtaan oli 12 metriä. Taulukossa 9 esitetään Lahden tuloksia eri lajiluokille.

**Taulukko 9:** Lahden (1983) Imatralla suorittamien melupäästömittausten tuloksia.

Moottoriurheilu	Luokka (cm <sup>3</sup> )	Melupäästö (LWA, dB)
Road Racing	125	138
	250	139
	500	138

Promethor Oy:n Kankare (2003) on AKK-Motorsportille tehdyssään selvityksessään mitannut useiden eri moottoriurheilulajien ajoneuvoluokkien melupäästöjä. Mittaukset on tehty viiden eri paikkakunnan moottoriurheiluradoilla vuoden 2001 aikana. Melupäästöt on mitattu ajoneuvojen ohiajosta, ajoratojen välittömässä läheisyydessä. Mittauksissa radalta valittiin kohta, jossa mitattavien ajoneuvojen melupäästö oli suurimmillaan. Käytännössä tällainen kohta oli yleensä suoralla lähellä kohtaa, jossa ajonopeus oli maksimissaan, kuitenkin moottorin ollessa vielä kuormitettuna. Mittausetäisyydeksi valittiin radan profiilin mukaisesti 10 - 30 metriä ohiajolinjasta. Mittauksissa oletettiin, että ajoneuvon ääni suuntautuu tasaisesti kaikkiin suuntiin. Lisäksi oletettiin, että äänilähteen ja havaintopisteen välinen maanpinta on akustisesti kovaa, eli asfalttia tai vastaavaa. Taulukossa 10 esitetään Kankareen melupäästömittausten tuloksia.

**Taulukko 10:** Promethor Oy Kankareen melupäästömittaukset.

Moottoriurheilu	Kilpailuluokka	Melupäästö (LWA, dB)
Auto	Sport 2000	127
	Super Saloon	126
	Formula 3	136
	Formula Ford	129
	Jokamiesluokka	129
Kuorma-auto		125
Karting	Raket junior	121
	Raket	123
	Yamaha	125
	ICA-Junior	125

Insinööritoimisto Kari Pesonen Oy on laatinut Savolainen moottorikeskus -nimisen moottoriurheiluradan ympäristömeluselvityksen. Kari Pesonen (1988) on meluselvityksessä laskennallisesti selvittänyt melun leviämistä ympäristöön ja käyttänyt päästötietona 10 metrin etäisyydelle vakioitua referenssimelutasoa. Pesonen on laskennassaan olettanut, että merkittävimmät äänen etenemistä vaimentavat tekijät ovat hajaantumisvaimennus sekä ilman absorptiovaimennus. Lisäksi Pesonen toteaa, että maasto on akustisesti pehmeää, joten maanpinnan vaimennus otetaan myös huomioon. Mikäli maanpinta olisi akustisesti kovaa (asfaltti) melutasot olisivat 2 - 4 dB(A) suurempia. Pesonen on käyttänyt 500 cm<sup>3</sup> motocross-ajoneuvolle referenssimelutasoa  $L_{10m}$  98,0 dB(A).

## 2.6 MELUN EROTTUMINEN TAUSTAMELUSTA

Ihminen erottaa tarkkaan kuunnellessaan tyypillisesti noin 5 - 10 dB(A) taustamelua hiljaisempia ääniä. Erottavuus riippuu peittävän ja peitetyn äänen spektristä ja spektrien ajallisesta vaihtelusta. Peittovaikutus riippuu ainakin jossain määrin myös peittävän ja peitetyn äänen tulosuuntaerosta eli siitä, miten äänien lähteet sijaitsevat ja mahdollisesti liikkuvat toisiinsa nähden. (Pesonen 2004.)

Äänivirtojen neurobiologiselle prosessoinnille on tunnusomaista se, että aivot pyrkivät erottamaan äänivirrat toisistaan siten, että ne eivät vaikuta toistensa ominaisuuksiin. Se, kuinka hyvin kuuloaisti ja aivot pystyvät erottamaan ääniä, riippuu äänten ajallisista ja spektriominaisuuksista. Äänen kykyä tai ominaisuutta vaikeuttaa toisen äänen erottamista omaksi äänivirrakseen kutsutaan peitto- eli maskeerausvaikutukseksi. Esimerkiksi hyvissä kuunteluoloissa samanaikaisesti kuuluva hiljainen liikenteen melu ei muuta linnun laulun äänekkyyttä, eikä äänen väriä, mutta riittävän voimakas liikennemelu tai tuulikohina voi peittää linnun laulun niin täydellisesti, että emme sitä erota äänimaisemasta. (Pesonen 2004.)

Kuuloaistin toiminnan kannalta tarkasteltuna yksittäisen melutapahtuman havaittavuus riippuu siitä, miten paljon havaittavan äänen voimakkuus eroaa taustamelusta sillä kriittisellä kaistalla, jolla kulloinenkin havaitsemisherkkyys on suurin. (Pesonen 2004.) Kuuloaisti pystyy erottamaan laajakaistaisesta kohinasta ääneksen, jonka taso on 4 - 6 dB alhaisempi kuin kohinan terssipainetaso kyseisellä keskitaajuudella. (Pesonen 2005.) Havaittavuus

riippuu myös äänen ajallisen vaihtelun ominaisuuksista, esimerkiksi kestosta, ja siitä, montako kertaa ääni ylittää havaittavuuskynnyksen tietyn ajan sisällä. Havaittavuuskynnykseksi kutsutaan yleensä sitä melutapahtuman voimakkuutta, jolla kuulija havaitsee (erottaa) ko. kuunteluoloissa signaalin 50 %:n todennäköisyydellä. (Pesonen 2004.)

Kuuloaisti pystyy erottamaan ääneksen, joka ei välttämättä lisää äänen kokonaisäänekkyyttä. Äänes voi kuitenkin lisätä melun kiusallisuutta ja häiritsevyyttä, mahdollisesti myös meluisuutta. Kiusallisuuden, häiritsevyyden ja meluisuuden kasvu saattaa johtua ainakin osittain siitä, että kuulija kohdistaa tehostetun tarkkaavaisuuden tiedostamattaan tai tietoisesti ko. äänekseen. Toisaalta on muistettava, että samanaikaisesti esiintyvä melu voi peittää ääneksen. Mitä voimakkaampaa peittävä melu on, sitä voimakkaamman täytyy ääneksenkin olla, jotta se erottuisi. (Pesonen 2005.) Signaali-kohinasuhteeltaan hyviksi kuunteluoloiksi katsotaan yleensä olot, joissa taustamelu on vähintään 10 dB kuultavaksi tarkoitettua ääntä hiljaisempaa. (Pesonen 2004.)

Nykyisissä ohjearvoissa lähtökohtana olevat  $L_{Aeq}$ -tyyppiset tasot ja enimmäistasot ( $L_{AFmax}$  ja  $L_{AImax}$ ) ovat huonoja peittovaikutuksen indikaattoreita. Esimerkiksi, jos tiedetään, että hiljaiselle alueella tuulikohinan ja puiden kahinan  $L_{Aeq,07-22h}$ -taso on 40 dB(A) tai maksimitaso päivän aikana 50 dB(A), niin näiden tietojen perusteella ei voida sanoa, mikä olisi se tieliikennemelun  $L_{Aeq,07-22h}$ -taso tai  $L_{AFmax}$ -taso, joka kuuluisi alueella – tai ei kuuluisi – kyseisen päivän aikana. (Pesonen 2004.)

Melun kantautumiseen etäälle lähteestä siten, että melu on kuultavissa, vaikuttaa äänilähteen ääniteho (ja sen suuntaavuus) eli emissio vastaanottopisteen suuntaan ja tehon ajallinen ja mahdollinen spektraalinen vaihtelu. Lisäksi kantautumiseen vaikuttavat etenemisvaimentuminen ja sen vaihtelu ajallisesti eri taajuuksilla sekä muiden lähteiden – hiljaisista alueista puhuttaessa luonnonäänien – peittovaikutus ja sen ajallinen vaihtelu. (Pesonen 2004.)

## 2.7 HILJAISUUDEN KOKEMINEN

Melualueiden kasvaessa hiljaiset luonnonympäristöt ja hiljaiset alueet myös rakennetuilla alueilla vähenevät entisestään. Oletettavasti mahdollisuus nauttia hiljaisuudesta ja luonnonäänistä edelleen vähenee. (Ympäristöministeriö 2004.)

Kaikille ihmisen elinympäristön äänimaisemille (ääniympäristöille) on tyypillistä, että niissä kuuluu ominaisuuksiltaan, kuten voimakkuudeltaan, kestoaltaan ja tulosuunniltaan erilaisia ääniä. Arvioidessamme jonkun alueen hiljaisuutta joudutaan hakemaan vastausta kysymykseen: miten alueella vierailijan kokema hiljaisuuden voimakkuus tai aste riippuu näistä erilaisista äänistä ja niiden ominaisuuksista. (Pesonen 2004) Äänten tulkinta vaikuttaa siihen kuinka häiritsevinä ne koetaan. Samaan äänen suhtautuminen voi muuttua kokemusten tai tiedon myötä. (Hietala 2006.)

Äänimaiseman hiljaisuutta huonontavaa ääntä kutsutaan monesti - luonnonäänien vastakohtana - ihmisen tai ihmisyhteisön toimien tuottamaksi meluksi. Käsite "hiljainen alue" voidaan ymmärtääkin alueeksi tai tilaksi, jonne kuuluva melun voimakkuus on niin vähäinen ja muut ominaisuudet sellaisia, että kuulija luokittelee ääniympäristön hiljaiseksi tai luonnonhiljaiseksi. Kyse on kuitenkin suhteellisesta hiljaisuudesta, ei absoluuttisesta. (Pesonen 2004.)

On syytä myös painottaa, että hiljaisuus ei ole meluisuuden tai meluisan vastakohta. Melututkimuksista tiedetään, että itse tuotettu ja oman perheen melu, esimerkiksi oman moottorisahan tai omien lapsien leikkien melu, on paljon hyväksyttävämpää kuin naapureiden tuottama vastaava melu. Hiljaisilla alueilla vierailijan pelkkä oma liikkuminen voi tuottaa ääntä tai melua, joka peittää luonnonääniä. On todennäköistä, että itse tuotettu melu, jopa liikkuminen moottorikelkalla, ei huononna itse koettua alueen hiljaisuuden astetta. (Pesonen 2004.)

Melun hiljaisuutta huonontava vaikutuksen on joissakin tutkimuksissa todettu riippuvan paremmin siitä, kuinka suuren osan (vierailu-) ajasta ihmisen toiminnan melua kuullaan kuin yksittäisten melutapahtumien melun voimakkuudesta. Myös vierailun syy, esimerkiksi alueen hiljaisuudelle ennalta asetettujen odotusten voimakkuus, voi selittää kiusallisuuden yksilöllistä vaihtelua enemmän kuin melun voimakkuus. (Pesonen, 2004.)

## 2.8 MELUN KAPEAKAISTAISUUS

Melun spektrin kapeakaistaisuus lisää melun häiritsevyyttä. Melu katsotaan kapeakaistaiseksi, jos siinä on selvästi kuuluvia soivia ääniä tai painottamaton terssianalyysi osoittaa, että ainakin yhden kaistan taso on vähintään 5 dB suurempi kuin kyseisten kaistan ylä- ja alapuolella olevien terssipainetasojen keskiarvo. Kapeakaistaisuus voidaan todeta myös kapeakaistataajuusanalyysillä. Äänksen tason tulee ylittää vastaavalla kriittisellä taajuuskaistalla esiintyvä muu äänitaso, jotta se olisi siinä määrin häiritsevää, että kapeakaistakorjaus tulee tehdä. Ylityksen tulee olla vähintään 4 dB alle 500 Hz taajuuksilla ja korkeammilla taajuuksilla asteittain vähemmän siten, että 20 kHz taajuudella ylitykseksi riittää 0,5 dB. (Björk 1997.)

Kapeakaistaisuus ja äänestäisyys ovat äänen ominaisuuksia, jotka voivat lisätä melun erottuvuutta, äänkkyyttä, meluisuutta, kiusallisuutta, häiritsevyyttä tai epämiellyttävyyttä verrattuna saman äänitason omaavaan ei-kapeakaistaiseen meluun. Tämä eron huomioon ottamiseksi mittaustulokseen, esimerkiksi  $L_{Aeq}$ -tasoon, tehdään korjaus. Melu saatetaan myös todeta em. objektiivisten määritelmien nojalla kapeakaistaiseksi, vaikka se ei sitä psykoakustisesti olekaan tai päinvastoin. (Pesonen 2005.)

Kapeakaistaisen melun erityisen häiritsevyyden arviointiin käytetään kapeakaistaisuuskorjausta. Jos melussa on äkillisiä spektrivaihteluita eli muusta spektristä erottuvia huippuja, keskiäänitasoon lisätään kapeakaistaisen melun ”rangaistus” ennen vertaamista ohjearvoon. (Lahti 2003.) Valtioneuvoston päätöksessä 993/1992 melutason ohjearvoista todetaan, että jos melu on luonteeltaan iskumaista tai kapeakaistaista, mittaus- tai laskentatulokseen lisätään 5 dB ennen sen vertaamista päätöksen ohjearvoihin.

Sosiaali- ja terveysministeriön vuonna 2003 antamassa asumisterveysohjeessa annetaan ohjeet kapeakaistaisuuskorjauksen tekemiselle melulle, joka on havaittavissa asunnoissa. Kapeakaistaisuuden ja äänestäisyyden aiheuttama meluisuuden, äänkkyyden ja häiritsevyyden kasvun on todettu riippuvan siitä, kuinka selvästi kapeakaistaiset komponentit erottuvat muusta melusta ja kuinka voimakasta muu samanaikainen melu on. Mitä selvemmin ääni on ulisevaa, sireenimäistä tai soivaa ja mitä hiljaisempaa muu melu on, sitä suuremman tulisi korjauksen olla. Jos kapeakaistaisuus erottuu heikosti, on korjaus 3 dB(A). Jos se on selvästi kuultavissa, on korjaus 6 dB(A). Korjaus tehdään vain sen ajan melulle, jona

kapeakaistaisuutta esiintyy. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003.) Tarvittavan korjauksen suuruus riippuu äänen ominaisuuksien lisäksi mittaustavasta. (Pesonen 2005.)

Signaalin kaistaleveyden ollessa kriittistä kaistaa kapeampi ja kun peittävä taustamelua ei ole, riippuvat signaalin detektoitavuus (havaittavuus) ja äänekkyyys vain signaalin kokonaisenergiasta, ei kaistaleveydestä. Jos kapeakaistaisen komponentin taajuus (äänen korkeus) vaihtelee ajallisesti, sen äänekkyyys on suurempi kuin saman äänitason omaavan vakiotajuuden äänneksen äänekkyyys. (Pesonen 2005.)

Kapeakaistapiikin tai -piikkien voimakkuus ja/tai muun melun voimakkuus voi vaihdella hetkellisesti. Matala- ja keskitaajuiset kapeakaistaiset komponentit voivat aiheuttaa ääneen karheutta. Karheus voi lisätä äänen kiusallisuutta (epämiellyttävyyttä) enemmän kuin pelkkä ”samansuuruinen” kapeakaistaisuus. Useamman kapeakaistaisen komponentin yhteisvaikutuksen aiheuttaman karheuden voimakkuus riippuu komponenttien voimakkuuden lisäksi niiden keskinäisistä vaihe-eroista. Melussa voi olla useita kapeakaistaisia komponentteja. Näyttää siltä, että kaksi ja useampi samanaikainen komponentti lisää äänekkyyttä, meluisuutta ja kiusallisuutta vähemmän kuin yksi komponentti. (Pesonen 2005.)

Kirjallisuudessa esitetyt kapeakaistaisuuden mittaamenetelmät perustuvat yleensä sitä aiheuttavan tai aiheuttavien äänikomponenttien äänekkyyden erotettavuuteen. Määritysmenetelmä on yleensä seuraava:

1. Äänen spektrin mitataan. Spektrin erottelutarkkuus on nykyisin vähintään noin 4 - 5 %:a vastaavan kriittisen kaistan leveydestä.
2. Haetaan ne komponentit, joiden voimakkuus on vähintään 6 - 7 dB naapurikomponenttien voimakkuutta suurempi.
3. Selvitetään, mitkä komponentit peittyvät naapurikaistojen vuoksi, mitkä eivät. Otetaan jatko-prosessointiin ne, jotka eivät peity.
4. Määritetään kunkin jäljelle jääneen komponentin suhteellinen voimakkuus.

5. Painotetaan kutakin em. komponenttia siten, että otetaan huomioon kuulon herkkyys ko. taajuusalueella.

6. Normalisoidaan komponentit signaalin ja ko. kriittisen kaistan ei-äänesmäisen äänen voimakkuuteen. (Pesonen, 2005)



### 3 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET

Moottoriurheilumelun melupäästöjä ja sen laadullisia tekijöitä tutkittiin, koska moottoriurheilumelun päästöjen arviointiin ei ole olemassa vakiintunutta mittaustavotetta ja ohjeistusta. Moottoriurheiluradat sijaitsevat tavallisesti taajamien ulkopuolella, missä muu taustamelu on vähäistä. Siten moottoriurheiluradoilta kantautuva melu erottuu selkeämmin muusta äänimaisemasta. Lisäksi melu saattaa sisältää kapeakaistaisia komponentteja.

Ympäristöministeriöllä on tavoitteena saada moottoriurheilulle käyttöön ohjeavot, jotka helpottaisivat moottoriurheilusta ympäristöön kohdistuvan meluhaitan arviointia. Lisäksi mm. Suomen Moottoriliitto ry:llä on tavoite saada kanavoitua tietoa lajiharrastajille moottoriurheilumelusta. Tavoitteena on saada kerättyä sellaista päästömittaustietoa, joka auttaa kaikkia osapuolia arvioimaan moottoriurheilusta aiheutuvan meluhaitan määrää ja laatua. Lisäksi melupäästömittaustuloksia olisi tavoitteellista jatkossa hyödyntää melun laskennallisen mallintamisen lähtötietoina.

Tässä työssä tutkittiin motocross-ajosta syntyvää melua. Motocross valittiin tutkimuskohteeksi, koska Suomessa järjestetään kilpailukautena melko paljon motocross-kisoja, joten tutkimusaineistoa erilaisista ajotapahtumista oli riittävästi saatavilla. Tämän työn tavoitteena oli edustavasti mitata motocross-ajosta syntyviä melupäästöjä ja tutkia niiden suuruuteen vaikuttavia tekijöitä tilastollisilla analyysimenetelmillä. Mittaustulosten perusteella tutkittiin, millainen on motocross-melun syntyvä taajuusjakauma eli spektri. Lisäksi tutkittiin motocross-melun kapeakaistaisuutta, koska kapeakaistaisuus lisää melun häiritsevyyttä.

## **4 AINEISTO JA MENETELMÄT**

### **4.1 TUTKIMUSAINEISTO**

Motocross-ajon melupäästöä mitattiin neljällä moottoriurheiluradalla. Mittaukset toteutettiin kesällä 2009, radoilla järjestettyinä kisaviikonloppuina. Melupäästömittaukset tehtiin Mikkelissä Haukilammen moottoriurheiluradalla 7.6.2009, Karkkilan moottoriurheiluradalla 28.6.2009, Vantaan Vauhtikeskuksessa 25.7.2009 ja Hyvinkään moottoriurheilukeskuksessa 15.8.2009. Mittaukset kohdennettiin yksittäisiin ajoneuvoihin, jotka ohittivat mittausta paikan siten, että niiden melupäästö oli selkeästi hallitseva muuhun meluun nähden.

Mittaukset tehtiin kisaviikonloppuina, jolloin oli mahdollista mitata todellista kilpailutilanneajon melupäästöä, jonka oletettiin poikkeavan muuna aikana ajettavasta harjoitteluajon melupäästöä. Mittauksissa tarkasteltiin eri kilpailuluokkien aiheuttamia melupäästöjä eri ajotilanteissa. Moottoriurheilumelun erottumista ympäristön taustamelusta sekä kapeakaistaisuutta tutkittiin äänitteistä, jotka oli tallennettu Vantaan Vauhtikeskuksen lähimaastossa 26.7.2009.

#### **4.1.1 Motocross-radat**

Suomen Moottoriliitto määrittelee lajisäännöissään motocrossin suljetulla kilpailualueella ajettavaksi moottoriurheilulajiksi. Motocrossia ajetaan luonnonmukaisella alustalla, johon kuuluvat hyppyrit, urat, ylä- ja alamäet. Radan materiaali on hiekkaa tai savea ja radan pituus vaihtelee puolestatoista kahteen kilometriä. Radalla saavutettava, yksittäisen kilpailun, keskituntinopeus saa olla enintään 55 km/h.

Tutkimuksessa olleista radoista Mikkelissä ja Karkkilassa kilpailut ajettiin täyspitkällä radalla. Vantaalla ja Hyvinkäällä ajettavat kisatapahtumat olivat supercross-sarjaa, joka on yksi motocrossin kilpailumuoto. Ratana käytetään normaalia motocrossrataa, joka on lyhennetty normaalimittaisesta radasta. Siten rata kierroksen kesto on noin 50 - 60 sekuntia. Kaikki tarkastelussa olleet radat sisälsivät sellaisia ajotilanteita, joissa ajoneuvon kuljettajilla oli mahdollista kiihdyttää maksiminopeuksiin.

### **4.1.2 Ajotoiminta**

Motocross-radoilla ajotoiminta jakautuu kilpailutapahtumakokonaisuuksiin sekä kilpailujen ulkopuolisiin ajoharjoitteluihin. Tässä tutkielmassa on tarkasteltu kilpailutapahtumien eri vaiheissa syntyvää melupäästöä. Kilpatapahtumat jakautuvat harjoitus- ja aika-ajoihin sekä kilpa-ajoon. Tavallisesti harjoitus- ja aika-ajot sijoittuvat kilpailupäivinä aamupäivään ja kilpa-ajo iltapäivään.

Suomen Moottoriliiton kilpailusääntöjen mukaan harjoittelemine on kielletty yhtä tuntia ennen kilpailun alkua, ellei kilpailun johtaja toisin määrää. Voidakseen osallistua kilpailuun on kaikkien ajajien ajettava vähintään 3 rata kierrosta harjoituksissa ja/tai karsinta- tai aika-ajossa. Normaaliharjoitusten aikana lähtöharjoittelu on kielletty. Tyypillisesti lähtöharjoittelulle järjestetään noin viiden minuutin pituinen harjoittelujakso, joka on erillään varsinaisista harjoituksista ja aika-ajosta. Harjoitus- ja aika-ajoissa ajoneuvoja on radalla vaihteleva määrä ja pääsääntöisesti ne ovat levittäytyneet tasaisesti radan eri osiin, jotta kuljettajalla on mahdollista keskittyä omaan ajamiseen ja siten saavuttaa mahdollisimman nopea kierrosaika.

Kilpa-ajossa ajoneuvoja on yhtäaikaaisesti radalla noin 30. Kilpa-ajo koostuu yhteislähdöstä sekä kilpailujärjestelmän mukaisesti määrätystä ajoaikamäärästä, joka yleensä vaihtelee 15 minuutista 25 minuuttiin. Ajoajan täytyttyä kilpailussa ajetaan yleensä vielä kaksi täyttä rata kierrosta, jotka määräytyvät kilpailua johtavan kuljettajan perusteella.

### **4.1.3 Ajoneuvoluokat**

Tutkimuksessa mitattuja ajoneuvoluokkia oli yhteensä kuusi kappaletta, jotka jakautuivat sekä juniori- että senioriluokkiin. Taulukossa 11 esitetään mittauksissa olleet ajoneuvoluokat ja niiden oleelliset lajikohtaiset luokitusperusteet.

**Taulukko 11:** Eri lajiluokkien kuljettajien ikä- ja moottoritulavuuserot.

Lajiluokka	Ikäluokka	Moottoritulavuus (cm <sup>3</sup> ) eri tahtiluokilla	
		2-tahti	4-tahti
Supercross	Avoim	enintään 500	enintään 650
MX 1	≥ 16 vuotta	125 – 500	250 – 650
MX B	≥ 19 vuotta	125 – 500	250 – 650
MX J (junior)	14 - 18 vuotta	enintään 125	enintään 250
MX C/A	12 - 16 vuotta	alle 85	alle 150
MX C/B	12 - 16 vuotta	alle 85	alle 150

Mittauksissa ei voitu määrittää yksittäisen ajoneuvon moottoritulavuutta, koska mittaustapahtuman aikana sitä ei voi päätellä kuulohavainnon perusteella. Siten mitatut ajoneuvot eroteltiin vain tahti- sekä lajiluokan mukaan. Tahtiluokan pystyi päättelemään kuulohavainnon perusteella, koska niiden välillä oli huomattava ero. 2-tahtisen ajoneuvon tuottama ääni kuulostaa korkeampitaajuiselta, 4-tahtisen ääni on huomattavasti möreämpi ja matalataajuisempi. Lajiluokan jäljittäminen oli mahdollista, koska eri lajiluokat eivät kilpailleet keskenään.

#### 4.2 MELUPÄÄSTÖN MITTAUSMENETELMÄ

Motocross-ajosta muodostuvaa melupäästöä tarkasteltiin mittaamalla yhden ajoneuvon tuottama melupäästö kerrallaan. Valtaosa melupäästöistä mitattiin ajoneuvojen ohiajosta. Lisäksi tutkittiin loittonevan ajoneuvon melupäästöä, jotta voitiin arvioida melun mahdollisen suuntaavuuden vaikutusta melupäästöön. Pieni osa mittauksista kohdistettiin lähestyviin ajoneuvoihin.

Melupäästömittaukset tehtiin eri kohdista motocross-rataa. Käytännössä motocross-rata jaettiin mittaussektoreihin, jotka sisälsivät kahdesta kolmeen mittauspistettä. Mittauskohteiksi valittiin pääsääntöisesti sellaisia kohtia, joissa ajoneuvoilla ajettiin voimakkaasti kiihdyttäen. Loittonevien ajoneuvojen melupäästömittaukset toteutettiin lähinnä kaarreajosta. Mittaustuloksena saadusta ajoneuvokohtaisesta äänitasosta laskettiin ajoneuvokohtainen

melupäästö- eli äänitehotaso olettamalla ajoneuvo puolipallosuuntaavaksi pistelähteeksi. Saadut mittaustulokset analysoitiin tilastollisesti SPSS-ohjelmalla.

#### 4.2.1 Mittauslaitteisto

Mittaukset suoritettiin tarkkuusluokan I vaatimukset täyttävällä, Norsonic 118 - äänitasoanalysointilaitteella. Analysointilaitteisto oli ohjelmoitu mittaamaan keskiäänitasoa A-painotettuna sekä lineaarisesti terssispektrinä 100 millisekunnin aikajaksoina taajuusalueella 6,3 - 20 000 Hz. Kalibroinnissa käytettiin Nor1251 tarkkuusluokan I mukaista kalibraattoria (114,0 dB, 1000 Hz). Analysointilaitteisto kalibroitettiin ennen ja jälkeen varsinaisia melumittauksia. Analysointilaitteen mikrofonit suojattiin tuulisuojalla mittauksen aikana.

#### 4.2.2 Mittausteoriaa

Kun yksittäinen, pistemäinen äänilähde (ajoneuvo) ohittaa mittauspisteen liikkuen suoraa linjaa tasaisella nopeudella, enimmäistason muuntaminen tehotasoksi perustuu oletukseen, että maksimimelu on peräisin tasaisesta, stabiilista melulähteestä ja saavutetaan, kun sen etäisyys mittauspisteeseen on pienimmillään eli kun lähde on mittauspisteen kohdalla. Tällöin voidaan käyttää tavallista äänenpaineen ja -tehon välistä yhteyttä vapaassa kentässä heijastavan pinnan yläpuolella. (Lahti 1995.)

$$L_{WA} = L_{A_{max}} + 10 \lg 2\pi r^2 \quad (2).$$

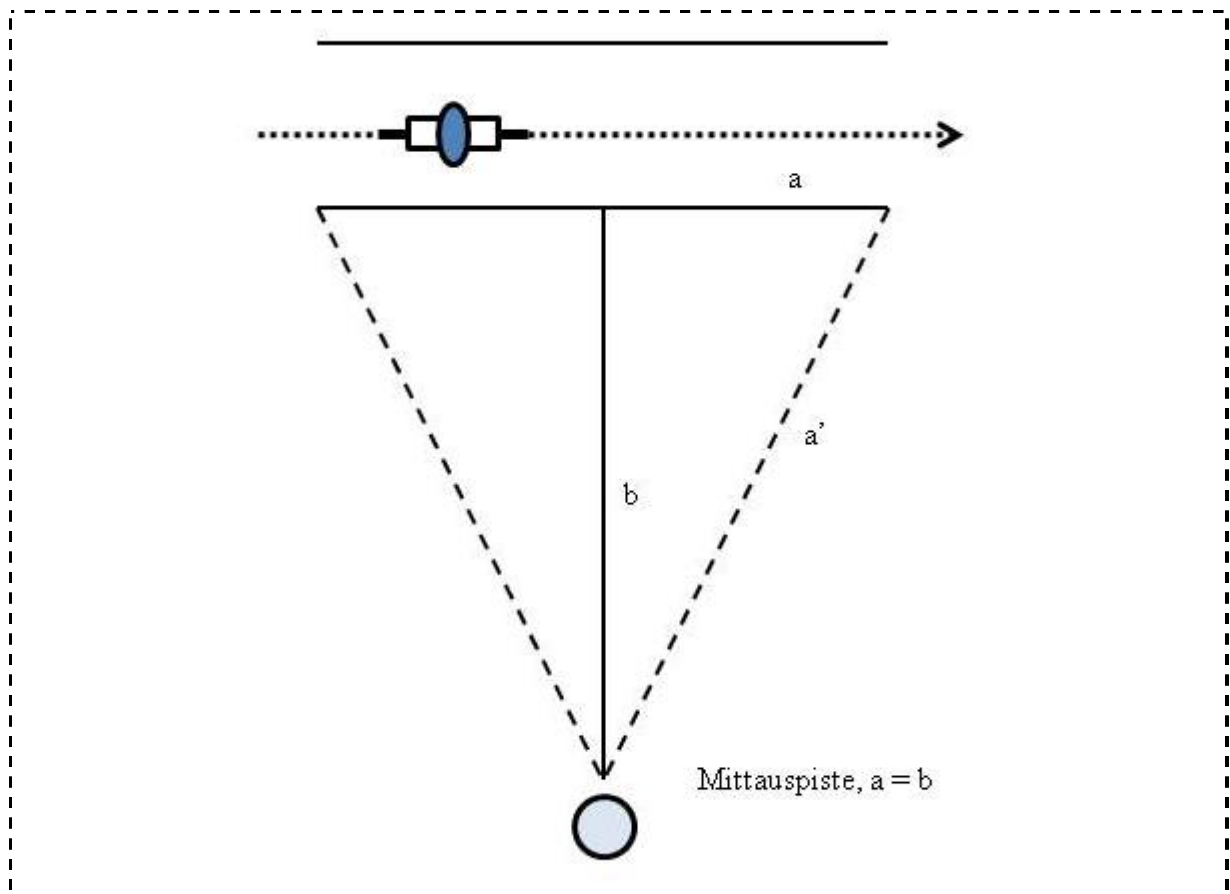
Melupäästön johtaminen ohiajon maksimiäänitasosta kaavalla 2 voi olla virheellistä satunnaisista interferenssi-ilmiöistä johtuen. Tästä syystä mittauksen luotettavuutta voidaan lisätä vastaavalla kaavalla, jossa maksimimelutaso korvataan keskiäänitasolla, edellyttäen, että etäisyys  $r$  on mittauksen aikana muuttunut riittävän vähän.

$$L_{WA} = L_{A_{eq}} + 10 \lg 2\pi r^2 \quad (3).$$

Kaavoissa 2 ja 3  $L_{WA}$  on laskettu melupäästö,  $L_{Amax}$  on mitattu maksimimelutaso,  $L_{Aeq}$  on mitattu keskimääräinen melutaso,  $r$  on minimietäisyys ohiajavan ajoneuvon ja mittauspisteen välillä.

Äänitehotaso on etäisyydestä riippumaton suure, joka kuvaa lähteen melupäästöä. Mitatut äänitasot muunnettiin kaavalla 3 tehotasoiksi. Tasasuuntaaville pistelähteille pätee, että tehotason dB-lukuarvo ilmaisee samalla äänenpainetaso yhden neliömetrin pallopinnalla, jonka säde on 0,282 metriä.

Mittaukset pyrittiin tekemään ajomatkalta  $a$ , joka oli yhtä pitkä kuin pienin mittausetäisyys  $b$  (kuva 3).



**Kuva 3:** Melupäästömittauksen periaate esitettynä ylhäältäpäin kuvattuna.

Melupäästömittausten kohdistaminen yhteen ajoneuvoon mahdollistaa, että muun ajotoiminnan vaikutus mitattavaan melupäästöön jää vähäiseksi. Mikäli mitattavan melun äänitaso on vähintään 10 dB suurempi kuin taustamelun, on taustamelun vaikutus

kokonaisäänitasoon alle yksi desibeli. Energiaperiaatteen mukainen yhteenlasku on esitetty kaavassa 4. (Björk 1997.)

$$L_{kok} = 10 * \lg \sum 10^{L_i/10} \quad (4).$$

Kaavassa 4  $L_{kok}$  on laskettu kokonaisäänitaso,  $L_i$  on äänen osäänitaso.

Jotta mittauksilla tuotettaisiin edustavia melupäästötietoja, tulee ajoneuvon mittausjakson aikana kulkeman matkan olla enintään yhtä pitkä kuin mittauspisteen etäisyys mitattuna ajomatkan puolivälistä. Tällöin maksimimittausvirhe on kaavan 5 mukainen.

$$20 * \lg \left( \frac{b}{a'} \right) < 1dB \quad (5).$$

Kaavassa 5  $b$  on minimi mittausetäisyys ja  $a'$  lähtö- tai loppupisteen etäisyys mittauspisteestä (kts. kuva 4.).

Pistelähteiden hajaantumisvaimennuksen oletetaan pääsääntöisesti noudattavan ”6 dB per matkan kaksinkertaistumisen” -sääntöä. Äänienergia hajaantuu etäisyyden  $r$  kasvaessa pallopinnalle, jonka pinta-ala on  $4\pi r^2$ . Tämän seurauksena äänenpainetaso vastaavasti pienenee suhteessa etäisyyden toiseen potenssiin. Pistemäisen äänilähteen aiheuttaman äänitason vaimeneminen ( $dL$ ) siirryttäessä etäisyydeltä  $r_1$  etäisyydelle  $r_2$  voidaan laskea kahden eri intensiteettitason ( $I_1$  ja  $I_2$ ) suhteena kaavalla 6.

$$dL = 10 * \log \left( \frac{I_1}{I_2} \right) = 10 * \log \left( \left( \frac{4\pi r_2}{4\pi r_1} \right)^2 \right) = 20 * \lg \left( \frac{r_2}{r_1} \right) \quad (6).$$

### 4.2.3 Melupäästömittaukset

Motocross-ajon melupäästöä mitattiin siten, että jokaiselta radalta valittiin 3 - 5 mittaussektoria. Melupäästö mitattiin yksittäisistä ajoneuvoista siten, että mittausetäisyyttä

vaihdeltiin ajouran keskikohtaan nähden 10 - 36 metrin välillä. Jokaisen mittaussektorin ajotapahtumia mitattiin vähintään kahdelta eri etäisyydeltä siten, että saman mittaussektorin mittauspisteiden väliseksi etäisyydeksi pyrittiin saamaan noin kymmenen metriä.

Osa mittaussektoreista valittiin siten, että mittaus kohdistettiin loittonevaan ajoneuvoon. Tällöin voitiin arvioida ajoneuvojen suuntaavuuden vaikutusta melupäästön. Loittonevien ajoneuvojen mittaussektorit jouduttiin pääsääntöisesti sijoittamaan ajoradan kurvikohtiin, joissa ajoneuvojen nopeudet eivät olleet yhtä suuria kuin kohtisuoran ohiajon mittaustilanteissa. Siten myös kurviajon mittausjaksojen ajalliset kestot olivat pidempiä kuin ohiajomittauksessa. Loittonevien ajoneuvojen mittauksessa oletettiin, että mittausvirhe noudattaisi kaavaa 5, kun minimi mittausetäisyys ja ajomatka ovat samat.

Ajoneuvon lähestyessä mittauspistettä käynnistettiin äänitasoanalysointilaite (Nor118). Mittausjakso päätettiin, kun ajoneuvo oli ohittanut mittauspisteen. Mikäli ajoneuvo ohitti mittauspisteen siten, että muita ajoneuvoja ei ollut sen välittömässä läheisyydessä vaikuttamassa mittaustulokseen, voitiin mittausjakso tallentaa analysointilaitteen muistiin. Analysointilaitetta pidettiin kahdella eri korkeudella siten, että mikrofoni oli noin 1,0 ja 2,5 metrin korkeudella maanpinnasta. Eri mittauskorkeuksien tarkoituksena oli minimoida maavaimennuksen vaikutusta mittaustuloksiin. Mikrofonit suunnattiin kohtisuoraan ajouraa kohti.

Yksittäisessä mittauspisteessä mitattiin viidestä kymmeneen mittausjaksoa. Siten yksittäisestä mittaussektorista saatiin vähintään kymmenen mittausjaksoa. Eri mittausetäisyyksiltä saatujen mittaustulosten avulla voitiin arvioida muun muassa etäisyyden vaikutusta laskettuihin melupäästötuloksiin. Kussakin mittaussektorissa tarkasteltiin vain mittaushetkellä ajovuorossa ollutta kilpailuluokkaa eli yksittäiset mittaussektorit edustavat tietyn kilpailuluokan ajoneuvotyyppjä. Osa mittaussektoreista hyödynnettiin kahteen kertaan siten, että tarkasteluun tuli kaksi eri kilpailuluokkaa.

Lähempänä ajouraa olleet mittauspisteet sijaitsivat pääsääntöisesti samassa korkeustasossa kuin ajoura. Osa kauempaa ajourasta valituista mittauspisteistä voitiin sijoittaa esimerkiksi ratareunusvallin tai vastaavan korokkeen päälle.



#### 4.2.4 Mittaustulosten laskennallinen käsittely

Mittaustulokset siirrettiin äänitasoanalysaattorista Excel-tiedostoiksi tulosten analysointia varten. Melupäästötulokset laskettiin Excel-taulukkolaskentaohjelmalla.

Ajoneuvoikohtaiset melupäästötasot ( $L_{WA,eq}$ ) ja enimmäismelupäästötaso ( $L_{WA,max}$ ) laskettiin analysaattorista saaduista A-painotettujen keski- ja enimmäisäänitasojen mittausarvoista kaavoilla 3 ja 2. Jokaisesta mittausjaksosta määritettiin ensiksi erikseen aikajakso, joka vastasi ajoneuvon kulkemaa mittauasetäisyyden pituista matkaa ja jolta ekvivalenttiääni- sekä maksimiäänitaso määrättiin. Aikajakson kesto arvioitiin ajoneuvon keskinopeuden (km/h) perusteella. Radan suoraosuuksien keskinopeus arvioitiin noin 15 - 25 km/h nopeammaksi kuin kurviajon.

Taajuuskohtaiset melupäästöt laskettiin melutasosta taajuusalueella 10 - 20000 Hz. Taajuuskohtaisen tarkastelun melupäästöjaksot valittiin sellaisista mittausjaksoista, jotka kestivät enintään viisi sekuntia. Pidempi kestoiset mittausjaksot olisivat olleet tarkasteluun virhealttiimpia.

Taajuuskohtaiset melupäästöt ( $L_{AWfeq}$ ) laskettiin äänitasoanalysaattorista saaduista taajuuspainottomista äänitasoista  $L_{feq}$  kaavalla 3 A-taajuuspainottamalla ne ennen laskentaa. Taajuuskohtaisista melupäästöistä laskettiin myös kokonaismelupäästö ( $L_{WA, eq}$ ) energiaperiaatteen mukaisesti kaavalla 4.

Taajuuskohtaisilla melupäästötiedoilla vertailtiin 2- ja 4-tahtisten motocross-ajoneuvojen taajuusjakaumia. 2-tahtisia ajoneuvoja oli eniten MX C/A-luokassa, joka on juniiori-ikäisten kilpailuluokka. Muut vertailussa olleet lajiluokat olivat MX J sekä supercross.

### 4.3 TILASTOLLINEN ANALYYSI

Melupäästöjen tilastollisessa analyysissä tarkasteltiin kerätyn mittausaineiston jakaumaa sekä eri muuttujien vaikutusta melupäästötasoon. Tilastollinen analyysi tehtiin SPSS 14.0 for Windows-tilastoanalyysiohjelmalla. Analyysiin valittiin yhteensä neljä kappaletta jatkuvia

muuttujia sekä 9 epäjatkovaa muuttujaa. Jatkuvin muuttujina olivat kaavoilla 2 ja 3 lasketut melupäästöt sekä mittausjakson ajallinen kesto. Mittauskorkeutta voitaisiin käsitellä jatkuvana muuttujana, mutta tässä tutkielmassa mittaukset on toteutettu kahdelta eri korkeudelta (1,5 ja 2,5 m), joten tilastollisessa käsittelyssä mittauskorkeus on valittu epäjatkuvaksi muuttujaksi. Taulukossa 12 on esitetty tilastoanalyysissä tarkastellut epäjatkovat muuttujat arvoineen.

**Taulukko 12:** Tilastoanalyysissä olevat epäjatkovat muuttujat arvoineen.

Muuttujan nimi	Muuttujan arvo					
	Mittauspaikka	Suora	Kurvi 90°	Kurvi 180°	Loiva kurvi	
Ohiajokulma	Kohtisuora	Loittoneva	Lähestyvä			
Ajotilanne	Kilpa-ajoa	Harjoitus/aika-ajoa				
Mittauskorkeus (m)	1,5	2,5				
Mittautaso	Radan tasossa	Radan yläpuolella (reunusvallin tms. päällä)				
Tahtiluokka	2-tahti	4-tahti				
Kilpailuluokka	MX J (junior)	MX B	MX 1	MX C/B	MX C/A	Supercross
Ikäluokka	Juniori	Seniори				
Ajankohta	Aamupäivä	Iltapäivä				
Rata	Mikkeli	Karkkila	Vantaa	Hyvinkää		

#### 4.3.1 SPSS -analyysi

SPSS -analyysissä tarkasteltiin muuttujien tunnuslukuja. Epäjatkovat sekä jatkuvat muuttujat käsiteltiin eri analyysimenetelmillä. Epäjatkovat muuttujat analysoitiin *Frequencies* ja jatkuvat muuttujat *Descriptives* -toiminnolla.

Jatkuvien muuttujien eli melupäästösuureiden ( $L_{WAeq}$  ja  $L_{WAm\max}$ ) ja mittausetäisyyden ( $r$ ) jakaumien kuvauksissa tarkasteltiin tunnuslukujen lisäksi jakaumien normaalisuutta. Parametriset menetelmät edellyttävät muuttujien olevan normaalisti jakautuneita. Jakaumia visualisoitiin *Explore* -toiminnolla, joka laskee mm. jakauman normaalisuuden kuvailusuureita. Jakauman vinous- ja huipukkuusarvot eivät saisi olla yli kaksi kertaa niin suuria kuin keskihajonta. *Normal Q-Q Plot*in arvojen pitäisi olla suurin piirtein samalla suoralla.

Korrelaatiolla mitattiin jatkuvien muuttujien välistä yhteyttä. Korrelaation arvo vaihtelee -1 ja +1 välillä. Mitä lähempänä kahden muuttujan välinen korrelaatio on arvoja +1 tai -1, sitä vahvempi yhteys muuttujilla on toisiinsa. Käytännössä korrelaatiota tulkitaan siten, että mitä lähempänä korrelaatio on arvoa +1, sitä harvemmin muuttujien välinen yhteys johtuu sattumasta. Korrelaatio määritettiin Pearsonin korrelaatiokertoimena, ja sen arvoa tarkasteltiin *Correlate* ja *Bivariate* -toiminnoilla.

*t*-testi on tilastollinen testi kahden ryhmän keskiarvojen yhtäsuuruudelle. *t*-testi-toiminto antaa erikseen tiedot Levenen testistä, jonka perusteella arvioidaan vertailussa olevien ryhmien varianssit. Mikäli Levenen testin antama arvo pienempi kuin 0,05 ovat ryhmien varianssit erisuuret. Tällöin merkitsevyys luetaan riviltä 'ei oletettu samanarvoista varianssia', muuten riviltä 'oletettu samanarvoinen varianssi'.

Keskiarvojen ero on merkitsevä, mikäli 2-häntäisen *t*-testin antama arvo kahden muuttujaryhmän merkitsevyydelle on alle 0,05. *t*-testit tehtiin toisistaan riippumattomien muuttujien toimintokomennolla (*Independent samples t-test*) ja niillä selvitettiin eri ajotilanteiden, mittaustopojen ja -paikkojen merkitystä laskettuun melupäästötasoon. Taulukossa 13 on lueteltu *t*-testit.

**Taulukko 13:** Ryhmittelymuuttujat melupäästötasojen *t*-testeissä.

Ryhmittelymuuttuja	Arvot	
Ajotilanne	Kilpa-ajoa	Harjoitus/aika-ajoa
Mittaustaso	Radan tasossa	Radan yläpuolella (reunusvallin tms. päällä)
Mittauskorkeus	1,5 m	2,5 m
Ohiajokulma	Kotisuora	Loittoneva
Tahtiluokka	2-tahti	4-tahti
Ikäluokka	Juniori	Seniori

Tarkasteltaessa useamman kuin kahden ryhmittelymuuttujan vaikutusta jatkuvan muuttujan vaihteluun, käytetään yksisuuntaista varianssianalyysiä Anova. Varianssianalyysillä tutkitaan sekä havaintoarvojen vaihtelua ryhmien sisällä että ryhmäkeskiarvojen vaihtelua koko tutkittavassa joukossa. Anova -testit tehtiin *Univariate*-komennolla. Riippuvana muuttujana oli melupäästö ( $L_{WAeq}$ ), jota tarkasteltiin sekä kilpailuluokkien että ratojen ryhmittelevillä muuttujilla. Varianssianalyysin tuloksilla on tilastollista merkitsevyyttä, mikäli testitulos ryhmien välisille keskiarvoille on alle 0,05. Lisäksi voidaan tarkastella ryhmien eri muuttujien välisiä eroja. Erot ovat tilastollisesti merkitseviä, mikäli testitulos on alle 0,05.

#### 4.3.2 Tulosten vertaaminen muihin mittaustuloksiin

Mittauksista ja tilastollisesta analyysistä saatujen tulosten oikeellisuutta arvioitiin vertaamalla niitä muihin moottoriturheiloradoilla tehtyihin mittauksiin ja selvityksiin. Vastaavalla mittaustulokilla on Kuopion yliopisto selvittänyt Kuopion Heinjoen moottoriturheiluradan melupäästöjä (Björk 2001.). VTT:n (1987) tutkimuksessa on selvitetty road racing-moottoripyörien melupäästön mittausta. Lisäksi Tanskan ja Ruotsin ympäristönsuojeluvirastot ovat antaneet toimeksiantoja selvittää moottoriturheiluratojen melupäästöjä. Mittaukset on toteuttanut Ingemansson Technology AB, joka on mitannut ajoneuvojen melupäästöjä niiden ohiajosta (Naturvårdverket, 1983.; Miljøstyrelsen 2003.; Wikström 2007.). Hollantilaisessa tutkimuksessa on niin ikään selvitetty ohiajomittauksilla motocross-ajosta syntyviä melupäästöjä. Päästöjä on mitattu kilpailutilanteessa, useasta eri ajoneuvosta (Granneman ym. 2005.).

#### **4.4 KAPEAKAISTAISUUDEN MITTAUSMENETELMÄ**

Ympäristöön kohdistuvaa motocross-ajosta aiheutuvan melun kapeakaistaisuutta tarkasteltiin analysoimalla kilpailutilanteen aikana äänitettyä melua. Äänitykset tehtiin sunnuntaina 26.7.2009 Vantaan Vauhtikeskuksen lähimaastossa kahdesta eri äänityspisteessä. Äänitysten aikana Vauhtikeskuksen motocross-radalla oli käynnissä MX B ja MX V -luokkien kilpajoa.

##### **4.4.1 Mittauslaitteisto**

Äänitykset tehtiin Fostex FR-2 kenttätallentimella, johon oli liitetty AKG C 480 B/CK 62 -mittamikrofoni. Äänen näytteenottotaajuutena oli 44,1 kHz ja ääninäytteen koko 16 bittiä. Mikrofonit oli kiinnitettyinä mikrofonitelineeseen ja mikrofonit asetettiin noin 4 metrin korkeuteen ja suunnattiin kohti motocross-rataa. Mikrofonissa käytettiin tuulisuojaa. Ääninäytteet tallennettiin kenttätallentimen muistikortille. Melujaksot analysoitiin Audacity 1.2.6 -ohjelman taajuusanalysointisovelluksella.

##### **4.4.2 Mittauspisteet**

Motocross-melun äänitykset tehtiin kahdesta mittauspisteestä noin 400 ja 700 metrin päässä radan oletetusta keskipisteestä. Kuvassa 4 esitetään Vantaan Vauhtikeskuksen sekä kahden mittauspisteen sijainnit. Ensimmäisestä mittauspisteestä äänitettiin kilpailutapahtuman melua noin tunnin mittainen jakso ja toisesta mittauspisteestä noin puolen tunnin jakso.

Kuva poistettu sähköisestä versiosta. Alkuperäinen kuva kansitetussa painoksessa Itä-Suomen yliopiston, Kuopion kampuksen kirjastossa.

**Kuva 4:** Karttakuva, jossa näkyvät motocross-radan sekä mittauspisteiden sijainnit. Mittauspisteet on numeroitu äänitysjärjestyksessä ja motocross-rata on ympyröity katkoviihaympyrällä.

#### 4.4.3 Sääolot

Äänitysten aikaiset säätiedot saatiin Ilmatieteen laitoksen Helsinki-Vantaa lentoaseman säähavaintoasemalta, jolta kirjattiin tiedot lämpötilasta, tuulen suunnasta ja nopeudesta, ilmanpaineesta sekä kosteudesta. Säähavainnot tallennettiin kolmelta eri ajankohdalta melumittauspäivänä. (Taulukko 14).

**Taulukko 14:** Sää Helsinki-Vantaan lentoaseman havaintoasemalla 26.7.2009.

Klo	Lämpötila (°C)	Tuulen nopeus (m/s)	Tuulen suunta	Ilman suht. kosteus (%)	Ilmanpaine (hPa)	Pilvisyys
11.20	18,2	5	etelätuulta	79	1008,4	Melkein selkeää
13.10	20,2	5	lounaistuulta	68	1008,6	Melkein pilvistä
15.20	21,4	5	etelätuulta	66	1008,8	Selkeää

#### 4.4.4 Äänitteiden analysointi

Äänitetyistä meluimissioista tutkittiin motocross-ajossa syntyvän melun häiritsevyyttä lisäävää kapeakaistaisuutta. Kapeakaistaisuuden määrittämisessä noudatettiin ISO/CD 1996-2 standardiehdotusta (ISO Committee draft 2001). Standardiehdotuksen perusteella määritettiin häiritsevyyskorjausarvo  $K_T$  desibeleinä.

Äänitteistä valittiin satunnaisesti sellaisia kohtia, joissa oli kuultavissa yksittäisen ajoneuvon tuottamaa melua. Kustakin kohdasta valittiin 500 ms pituinen jakso, jonka spektri analysoitiin Hanning -aikaikkunalla 3 Hz:n taajuuskaistoissa. Monessa analyysijaksossa oli kriittistä kaistaa kohden useita kapeakaistaisuuspiikkejä. Näissä tapauksissa eri piikeille saadut korjaustermit laskettiin yhteen.

Ensimmäisen mittauspisteen äänitteistä analysoitiin yhteensä 23 jaksoa ja toisen 7 jaksoa. Toisen mittauspisteen äänitystä häiritsi pitkään lähtölupaa odottaneen lentokoneen moottorien jyllinä, joten vain motocrossin aiheuttamaa melua ei saatu äänitettyä yhtä pitkään kuin ensimmäisestä mittauspisteestä. Pääosa analysoiduista melujaksoista oli kuulonvaraisen arvioinnin perusteella 4-tahtisen ajoneuvon aiheuttamia.

## 5 TULOKSET

### 5.1 MELUPÄÄSTÖJEN MITTAUSTULOKSET KOOSTETTUNA

Melupäästöhavaintoja  $L_{WA, eq}$  ja  $L_{WA, max}$  kertyi molempia yhteensä 229 kappaletta. Melupäästön  $L_{WA, eq}$  koko aineiston aritmeettinen keskiarvo oli 122,5 dB ja  $L_{WA, max}$  oli 123,1 dB. Melupäästöjen tilastolliset tunnusluvut esitetään taulukoissa 15 ja 16.

**Taulukko 15:** Melupäästöjen ( $L_{WA, eq}$ ) tunnusluvut.

Melupäästö ( $L_{WA, eq}$ )	Havaintojen lukumäärä		229 kpl	
			Tunnusluvun arvo	Keskivirhe
	Keskiarvo		122,5 dB	0,31 dB
	95 % luottamusväli keskiarvolle	Alempi raja	121,9 dB	
		Ylempi raja	123,1 dB	
	Mediaani		123,2 dB	
	Varianssi		22,4 dB	
	Keskihajonta		4,7 dB	
	Minimiarvo		107,2 dB	
	Maksimiarvo		132,6 dB	
	Vaihteluväli		25,4 dB	
	Vinous		-0,477 dB	0,161 dB
	Huipukkuus		-0,073 dB	0,320 dB



**Taulukko 16:** Enimmäismelupäästöjen ( $L_{WA, max}$ ) tunnusluvut.

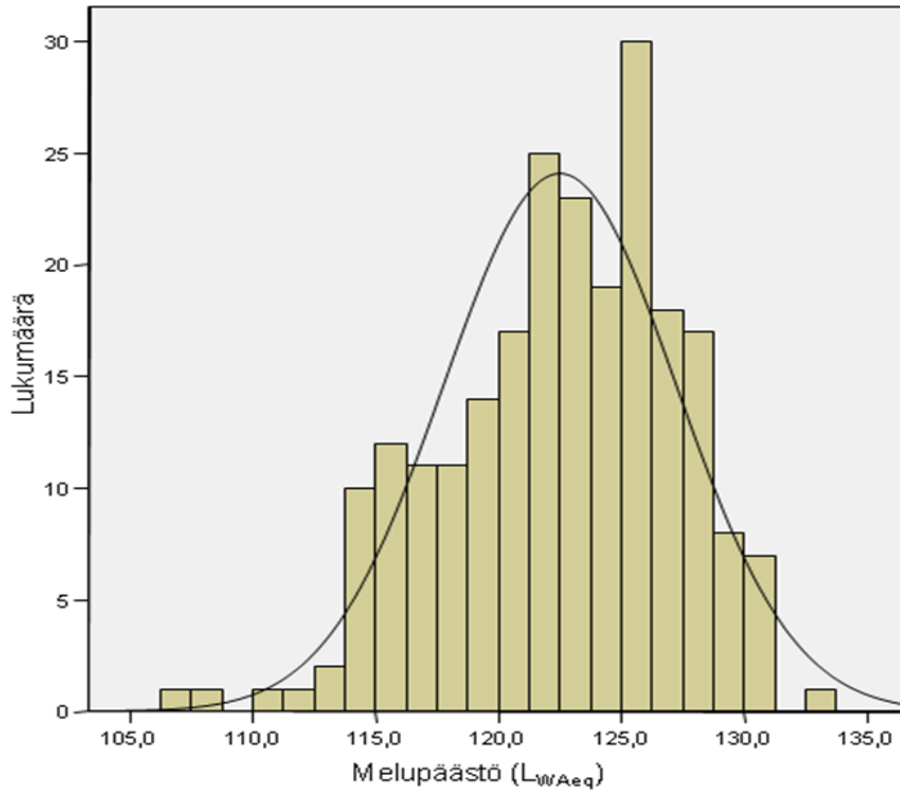
Melupäästö ( $L_{WA, max}$ )	Havaintojen lukumäärä		229 kpl	
			Tunnusluvun arvo	Keskivirhe
	Keskiarvo		123,1 dB	0,31 dB
	95 % luottamusväli keskiarvolle	Alempi raja	122,5 dB	
		Ylempi raja	123,8 dB	
	Mediaani		123,7 dB	
	Varianssi		22,6 dB	
	Keskihajonta		4,8 dB	
	Minimiarvo		107,3 dB	
	Maksimiarvo		133,3 dB	
	Vaihteluväli		26,0 dB	
	Vinous		-0,491 dB	0,161 dB
	Huipukkuus		0,007 dB	0,320 dB

## 5.2 MITTAUSMENETELMÄN LUOTETTAVUUS

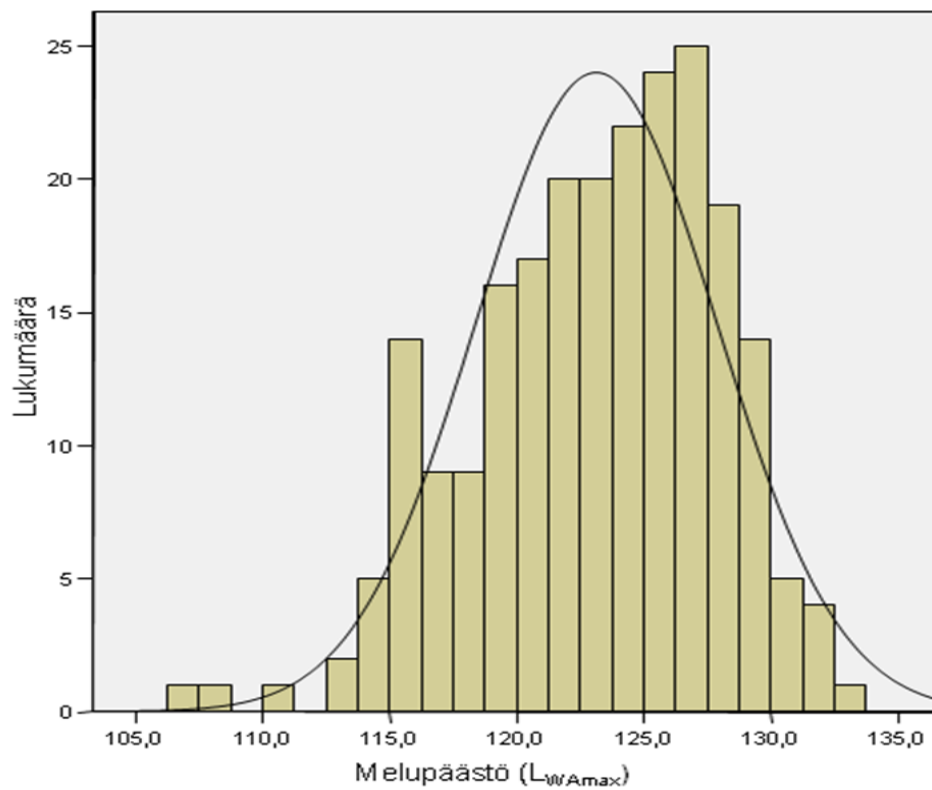
Mittausmenetelmän luotettavuutta voitiin tarkastella tilastollisten testien tuloksilla sekä tunnusluvuilla.

### 5.2.1 Melupäästöjen jakaumat ja normalisuus

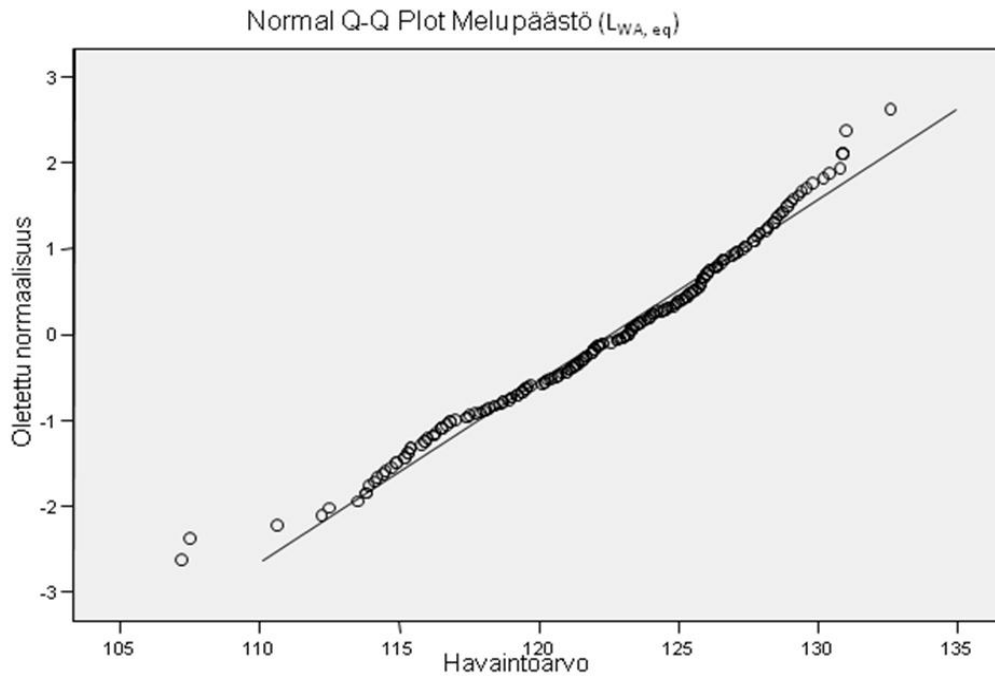
Kuvissa 5 ja 6 esitetään melupäästöjen histogrammit ja vertailu normaalijakaumaan. Kuvissa 7 ja 8 esitetään jakaumien normalisuutta tarkastelevat *Normal Q-Q Plot* -kuvaajat.



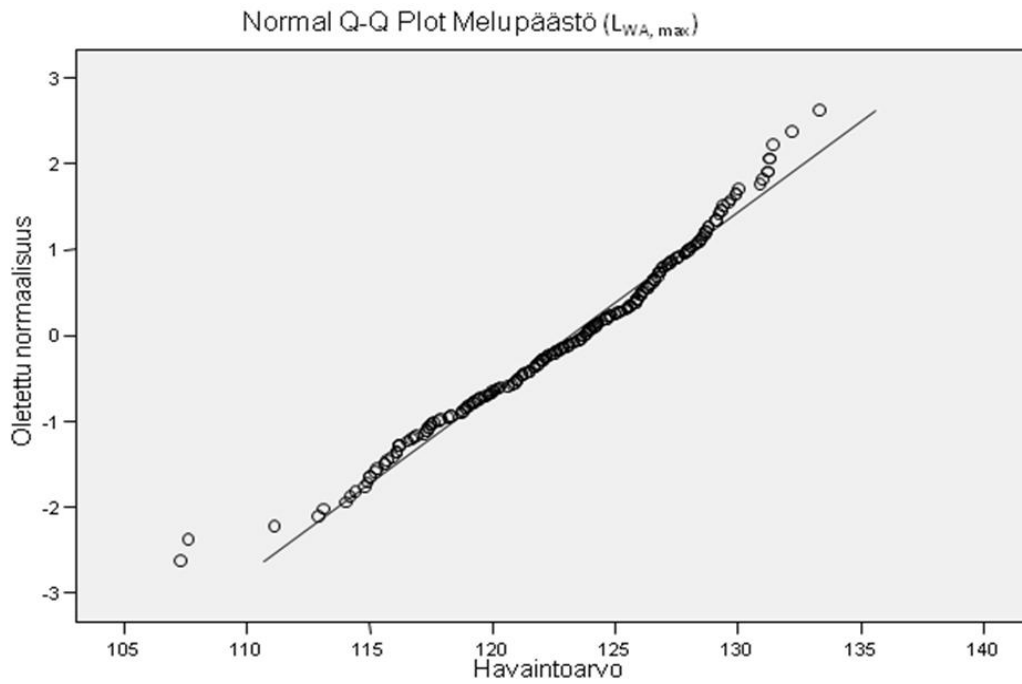
**Kuva 5:** Keskimelupäästöjen ( $L_{WA,eq}$ ) histogrammi, johon on piirretty Gaussin kellokäyrä.



**Kuva 6:** Enimmäismelupäästöjen ( $L_{WA,max}$ ) histogrammi, johon on piirretty Gaussin kellokäyrä.



**Kuva 7:** Keskimelupäästöjen ( $L_{WA, eq}$ ) *Normal Q-Q Plot* -kuvaaja.



**Kuva 8:** Enimmäismelupäästöjen ( $L_{WA, max}$ ) *Normal Q-Q Plot* -kuvaaja.

### 5.2.2 Melupäästötulosten riippuvuus mittausetäisyydestä

Melupäästön mittausmenetelmän luotettavuutta arvioitiin melupäästöjen ja mittausetäisyyksien korrelaatiolla. Taulukossa 17 esitetään korrelaatiokertoimet.

**Taulukko 17:** Melupäästöjen mittausetäisyyksien korrelaatiokertoimet (N = 229).

		Melupäästö ( $L_{WA, eq}$ )	Enimm.melupäästö ( $L_{WA, max}$ )	Mittausetäisyys (m)
Melupäästö ( $L_{WA, eq}$ )	Pearsonin korrelaatio	1	0,992(**)	-0,036
	Merkitsevyys (2-häntäinen)		0,000	0,587
Enimm.melupäästö ( $L_{WA, max}$ )	Pearsonin korrelaatio	0,992(**)	1	-0,028
	Merkitsevyys (2-häntäinen)	0,000		0,675
Mittausetäisyys (m)	Pearsonin korrelaatio	-0,036	-0,028	1
	Merkitsevyys (2-häntäinen)	0,587	0,675	

\*\* Korrelaatio on merkitsevä 0,01 tasolla (2-häntäinen).

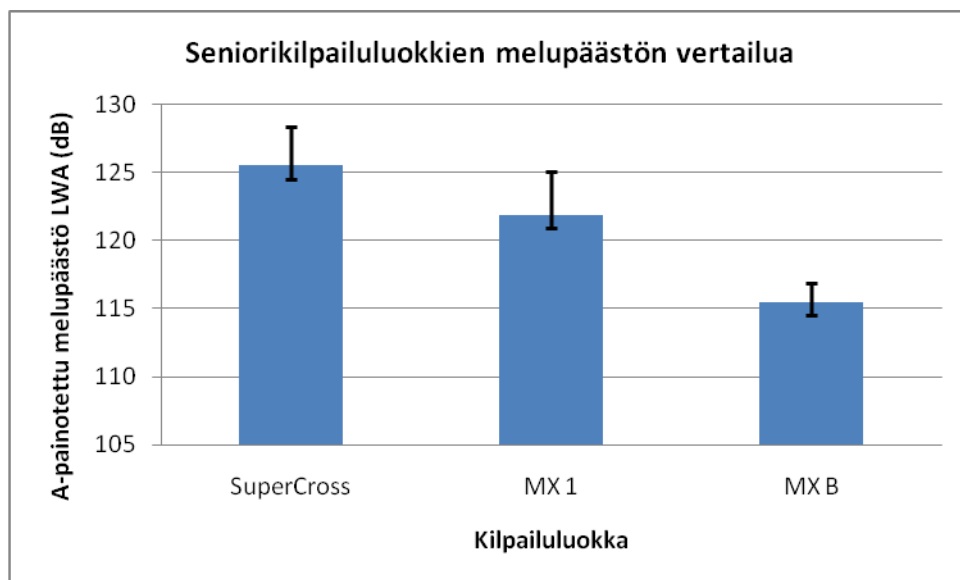
## 5.3 MELUPÄÄSTÖMITTAUKSET MUUTTUIJITTAIN TARKASTELTUNA

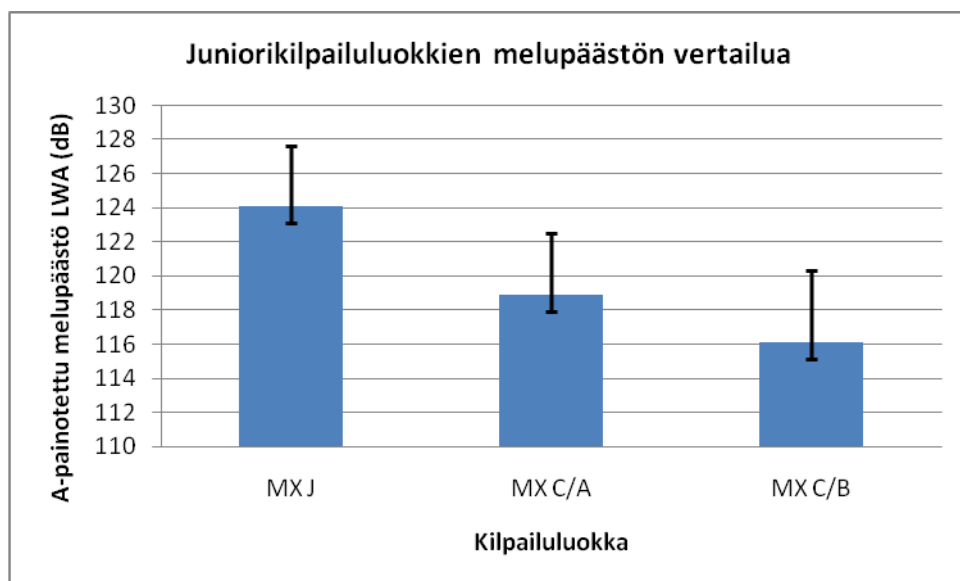
### 5.3.1 Kilpailuluokkien vaikutus melupäästöihin

Kilpailuluokkien melupäästötasot ( $L_{WA, eq}$ ) esitetään taulukossa 18. Taulukossa 19 esitetään kilpailuluokkien melupäästötasojen välisiä vaihteluita. Yksisuuntainen varianssianalyysi on tehty ANOVA (Oneway ja Post Hoc) -menetelmällä. Kuvissa 9 ja 10 esitetään seniori- ja junioriluokkien melupäästötasojen eroja.

**Taulukko 18:** Kilpailuluokkien melupäästötasot ( $L_{WA, eq}$ ).

	N	Keski- arvo (dB)	Keski- hajonta (dB)	Keskiarvon keskivirhe (dB)	95 %		Mini- mi (dB)	Mak- simi (dB)
					luottamusväli keskiarvolle (dB)			
					Alempi raja	Ylempi raja		
MX J	48	124,1	3,51	0,51	123,1	125,1	118,4	132,6
MX B	5	115,5	1,41	0,63	113,7	117,2	113,8	117,4
MX 1	8	121,9	3,14	1,11	119,3	124,5	115,8	125,7
MX C/B	19	116,1	4,21	0,96	114,0	118,1	107,2	121,9
MX C/A	54	118,9	3,57	0,49	117,9	119,9	110,6	126,1
SuperCross	95	125,5	2,82	0,29	124,9	126,1	116,5	131,0
Yhteensä	229	122,5	4,73	0,31	121,9	123,1	107,2	132,6

**Kuva 9:** Seniorikilpailuluokkien ajoneuvojen melupäästöjen keskiarvot ja keskihajonnat.



**Kuva 10:** Juniorikilpailuluokkien ajoneuvojen melupäästöjen keskiarvot ja keskihajonnat.

**Taulukko 19:** Melupäästötasojen yhtäsuuruutta eri kilpailuluokissa testattiin yksisuuntaisella varianssianalyysillä ANOVA (Oneway ja Post Hoc).

(I) Kilpailuluokka	(II) Kilpailuluokka	Keskisarvojen erot (I-II) (dB)	Keskisarvon keskivirhe (dB)	Merkit- sevyys	95 % luottamusväli (dB)	
					Alempi raja	Ylempi raja
MX J	MX B	8,6 (*)	1,54	0,000	4,0	13,2
	MX 1	2,2	1,25	1,000	-1,5	5,9
	MX C/B	8,0 (*)	0,89	0,000	5,4	10,7
	MX C/A	5,2 (*)	0,65	0,000	3,3	7,1
	SuperCross	-1,4	0,58	0,243	-3,1	0,3
MX B	MX J	-8,6 (*)	1,54	0,000	-13,2	-4,0
	MX 1	-6,4 (*)	1,87	0,011	-12,0	-0,9
	MX C/B	-,60	1,65	1,000	-5,5	4,3
	MX C/A	-3,4	1,53	0,398	-8,0	1,1
	SuperCross	-10,0 (*)	1,50	0,000	-14,5	-5,6

MX 1	MX J	-2,2	1,25	1,000	-5,9	1,5
	MX B	6,4 (*)	1,87	0,011	0,9	12,0
	MX C/B	5,8 (*)	1,38	0,001	1,716	9,9
	MX C/A	3,0	1,24	0,253	-0,695	6,7
	SuperCross	-3,6 (*)	1,20	0,047	-7,190	-0,02
MX C/B	MX J	-8,0 (*)	,89	0,000	-10,655	-5,4
	MX B	,60	1,65	1,000	-4,293	5,5
	MX 1	-5,8 (*)	1,38	0,001	-9,919	-1,7
	MX C/A	-2,8 (*)	0,87	0,021	-5,421	-0,2
	SuperCross	-9,4 (*)	0,82	0,000	-11,870	-7,0
MX C/A	MX J	-5,2 (*)	0,65	0,000	-7,122	-3,2
	MX B	3,4	1,53	0,398	-1,126	8,0
	MX 1	-3,0	1,24	0,253	-6,678	0,7
	MX C/B	2,8 (*)	0,87	0,021	0,230	5,4
	SuperCross	-6,6 (*)	0,56	0,000	-8,257	-4,9
SuperCross	MX J	1,4	0,58	0,243	-0,316	3,1
	MX B	10,0 (*)	1,50	0,000	5,557	14,5
	MX 1	3,6 (*)	1,21	0,047	0,025	7,2
	MX C/B	9,4 (*)	0,82	0,000	6,979	11,9
	MX C/A	6,6 (*)	0,56	0,000	4,940	8,3

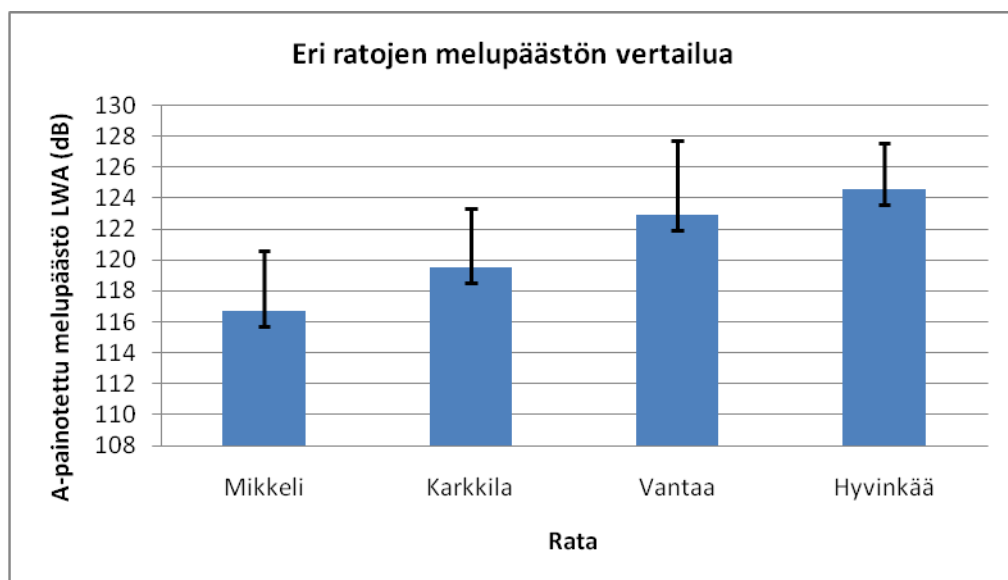
\* Keskiarvojen ero on merkitsevä 0,05 tasolla.

### 5.3.2 Melupäästöjen riippuvuus radasta

Ratojen keskimääräiset melupäästötasot ( $L_{WA, eq}$ ) esitetään taulukossa 20. Taulukossa 21 esitetään vastaavasti ratojen keskimääräisten melupäästötasojen väliset erot. Yksisuuntainen varianssianalyysi on tehty ANOVA (Oneway ja Post Hoc) -menetelmällä. Kuvassa 11 esitetään ratojen melupäästötasojen eroja.

**Taulukko 20:** Ratojen melupäästötasot ( $L_{WA,eq}$ ).

	N	Keski-arvo (dB)	Keskihajonta (dB)	Keskiarvon keskivirhe (dB)	95 % luottamusväli keskiarvolle (dB)		Minimi (dB)	Maksimi (dB)
					Alempi raja	Ylempi raja		
Mikkeli	30	116,7	3,88	0,71	115,2	118,1	107,2	123,3
Karkkila	21	119,5	3,86	0,84	117,7	121,2	110,6	125,7
Vantaa	81	122,9	4,81	0,53	121,8	124,0	112,5	131,0
Hyvinkää	97	124,6	2,98	0,30	124,0	125,2	118,4	132,6
Yhteensä	229	122,5	4,73	0,31	121,9	123,1	107,2	132,6

**Kuva 11:** Eri radoilla mitattujen ajoneuvojen melupäästöjen keskiarvot ja keskihajonnat.



**Taulukko 21:** Melupäästötasojen yhtäsuuruutta eri radoilla testattiin yksisuuntaisella varianssianalyysillä ANOVA (Oneway ja Post Hoc).

(I) Rata	(II) Rata	Keskiarvojen erot (I-II) (dB)	Keskiarvon keskivirhe (dB)	Merkitsevyys	95 % luottamusväli (dB)	
					Alempi raja	Ylempi raja
Mikkeli	Karkkila	-2,8	1,11	0,079	-5,7	0,2
	Vantaa	-6,2(*)	0,84	0,000	-8,4	-4,0
	Hyvinkää	-8,0(*)	0,82	0,000	-10,1	-5,8
Karkkila	Mikkeli	2,8	1,11	0,079	-0,2	5,7
	Vantaa	-3,4(*)	0,96	0,002	-6,0	-0,9
	Hyvinkää	-5,2(*)	0,94	0,000	-7,7	-2,7
Vantaa	Mikkeli	6,2(*)	0,84	0,000	4,0	8,4
	Karkkila	3,4(*)	0,96	0,002	0,9	6,0
	Hyvinkää	-1,7(*)	0,59	0,020	-3,3	-0,2
Hyvinkää	Mikkeli	8,0(*)	0,82	0,000	5,8	10,1
	Karkkila	5,2(*)	0,94	0,000	2,7	7,7
	Vantaa	1,7(*)	0,59	0,020	0,2	3,3

\* Keskiarvojen ero on merkitsevä 0,05 tasolla.

### 5.3.3 Ajotilanteen vaikutus melupäästöihin

Eri ajotilanteiden melupäästötasot ( $L_{WA, eq}$ ) ja niiden erot esitetään taulukoissa 22 ja 23, joissa on vertailtu harjoitus/aika-ajon sekä kilpa-ajon melupäästötasojen eroja ja niiden riippuvuuden tilastollista merkitsevyyttä. Taulukoissa 24 ja 25 esitetään vastaavat tulokset eri ikäluokkien välisille melupäästöasoeroille. Tilastoanalyysit tehtiin *t*-testillä, joka on tilastollinen testi kahden ryhmän keskiarvojen yhtäsuuruudelle.

**Taulukko 22:** Harjoitus/aika-ajon sekä kilpa-ajon melupäästötasot.

	Ajotilanne	N	Keskiarvo (dB)	Keskihajonta (dB)	Keskiarvon keskivirhe (dB)
Melupäästö ( $L_{WA, eq}$ )	Kilpa-ajoa	102	121,2	5,0	0,50
	Harjoitus/aika-ajoa	127	123,6	4,3	0,38

**Taulukko 23:** Harjoitus/aika-ajon sekä kilpa-ajon melupäästöjen yhtäsuuruuden tilastollinen testaus (*t*-testi).

		Levenen testi	<i>t</i> -testi keskiarvojen yhtäsuuruus				
			Merkitse- vyys	Merkitse- vyys (2- häntäinen)	Keski- hajonta (dB)	Keski- arvon keskivirhe (dB)	95 % luottamusväli (dB)
Melupäästö ( $L_{WA, eq}$ )	Oletettu samanarvoinen varianssi	0,033	0,000	-2,3	0,61	-3,6	-1,1
	Ei oletettu samanarvoista varianssia		0,000	-2,3	0,62	-3,6	-1,1

**Taulukko 24:** Ikäluokkien melupäästötasot.

	Ikäluokka	N	Keskiarvo (dB)	Keskihajonta (dB)	Keskiarvon keskivirhe (dB)
Melupäästö ( $L_{WA, eq}$ )	Juniori	121	120,5	4,7	0,43
	Seniori	108	124,8	3,6	0,34

**Taulukko 25:** Ikäluokkien melupäästöjen yhtäsuuruuden tilastollinen testaus ( $t$ -testi).

		Levenen testi	$t$ -testi keskiarvojen kaltaisuuksille				
			Merkitse- vyys	Merkitse- vyys (2- häntäinen)	Keski- hajonta (dB)	Keski- arvon keskivirhe (dB)	95 % luottamusväli (dB)
Melupäästö ( $L_{WA, eq}$ )	Oletettu samanarvoinen variassi	0,004	0,000	-4,3	0,56	-5,4	-3,1
	Ei oletettu samanarvoista variassia		0,000	-4,3	0,55	-5,3	-3,2

### 5.3.4 Mittausgeometrian vaikutus melupäästöön

Mittausgeometriaan liittyvien muuttujien vaikutusta melupäästötasoihin ( $L_{WA, eq}$ ) tarkastellaan taulukoissa 26 - 31. Taulukoissa 26 ja 27 on vertailtu kahdella eri mittauskorkeudella saatuja melupäästötasoja sekä testattu mittauskorkeuksien vaikutusta tilastollisesti. Taulukoissa 28 ja 29 esitetään vastaavanlaisen tarkastelun tulokset kahdelle eri mittauskorkeudelle ja taulukoissa 30 ja 31 eri ohiajokulmille kohtisuora sekä loittoneva. Tilastoanalyysit tehtiin  $t$ -testillä, joka on tilastollinen testi kahden ryhmän keskiarvojen yhtäsuuruudelle.

**Taulukko 26:** Mittauskorkeuksien melupäästötasot.

	Mittauskorkeus (m)	N	Keskiarvo (dB)	Keskihajonta (dB)	Keskiarvon keskivirhe (dB)
Melupäästö ( $L_{WA, eq}$ )	1,5	113	122,8	4,9	0,46
	2,5	116	122,2	4,5	0,42

**Taulukko 27:** Mittauskorkeuksien 1,5 m ja 2,5 m melupäästöjen yhtäsuuruuden tilastollinen testaus (*t*-testi).

		Levenen testi	<i>t</i> -testi keskiarvojen kaltaisuuksille				
			Merkitse- vyys	Merkitse- vyys (2- häntäinen) (dB)	Keski- hajonta (dB)	Keski- arvon keskivirhe (dB)	95 % luottamusväli (dB)
Melupäästö ( $L_{WA, eq}$ )	Oletettu samanarvoinen variassi	0,577	0,367	0,57	0,63	-0,7	1,8
	Ei oletettu samanarvoista variassia		0,367	0,57	0,63	-0,7	1,8

**Taulukko 28:** Mittaustasojen melupäästötasot.

	Mittaustaso	N	Keskiarvo (dB)	Keskihajonta (dB)	Keskiarvon keskivirhe (dB)
Melupäästö ( $L_{WA, eq}$ )	Radan tasossa	115	122,4	4,5	0,42
	Radan yläpuolella	114	122,6	5,0	0,47

**Taulukko 29:** Mittaustasojen, eli melupäästö mitattu radan tasossa tai yläpuolella, melupäästöjen yhtäsuuruuden tilastollinen testaus (*t*-testi).

		Levenen testi	<i>t</i> -testi keskiarvojen kaltaisuuksille				
			Merkitse- vyys	Merkitse- vyys (2- häntäinen)	Keski- hajonta (dB)	Keski- arvon keskivirhe (dB)	95 % luottamusväli (dB)
						Alempi	Ylempi
Melupäästö ( $L_{WA, eq}$ )	Oletettu samanarvoinen varianssi	0,551	0,711	-0,23	0,63	-1,5	1,0
	Ei oletettu samanarvoista varianssia		0,711	-0,23	0,63	-1,5	1,0

**Taulukko 30:** Ohiajokulmien melupäästötasot.

	Mittaustapa	N	Keskiarvo (dB)	Keskihajonta (dB)	Keskiarvon keskivirhe (dB)
Melupäästö ( $L_{WA, eq}$ )	Kohtisuora	139	123,4	4,2	0,35
	Loittoneva	82	121,3	5,5	0,60

**Taulukko 31:** Ohiajokulmien, eli melupäästö mitattu kohtisuoraan ajaneesta tai loitonneesta ajoneuvosta, melupäästöjen yhtäsuuruuden tilastollinen testaus (*t*-testi).

		Levenen testi	<i>t</i> -testi keskiarvojen kaltaisuuksille				
			Merkitse- vyys	Merkitse- vyys (2- hätäinen)	Keski- hajonta (dB)	Keski- arvon keskivirhe (dB)	95 % luottamusväli (dB)
Melupäästö ( $L_{WA, eq}$ )	Oletettu samanarvoinen varianssi	0,008	0,001	2,1	0,65	0,8	3,4
	Ei oletettu samanarvoista varianssia		0,003	2,1	0,70	0,7	3,5

### 5.3.5 Tahtiluokkien melupäästöt

Tahtiluokkien jakautuminen juniori- ja seniorikuljettajien kesken esitetään ristiintaulukoinnilla taulukossa 32.

**Taulukko 32:** Tahtiluokkien jakautuminen ikäluokittain.

		Ikäluokka		Yhteensä (kpl)
		Juniori	Seniori	
Tahtiluokka	2-tahti	37	4	41
	4-tahti	46	91	137
Yhteensä (kpl)		83	95	178

Tahtiluokkiin liittyvien muuttujien vaikutusta melupäästötasoihin ( $L_{WA, eq}$ ) tarkastellaan taulukoissa 33 ja 34, joissa on vertailtu 2- ja 4-tahtisten ajoneuvojen melupäästötasoja ja niiden riippuvuuden tilastollista merkitsevyyttä. Tilastoanalyysit tehtiin  $t$ -testillä, joka on tilastollinen testi kahden ryhmän keskiarvojen yhtäsuuruudelle.

**Taulukko 33:** Tahtiluokkien melupäästötasot.

	Tahtiluokka	N	Keskiarvo	Keskihajonta	Keskiarvon keskivirhe
Melupäästö ( $L_{WA, eq}$ )	2-tahti	41	120,0	4,2	0,65
	4-tahti	137	125,0	3,2	0,27

**Taulukko 34:** Tahtiluokkien, eli 2- tai 4 tahtisten ajoneuvojen melupäästöjen yhtäsuuruuden tilastollinen testaus (*t*-testi).

		Levenen testi	<i>t</i> -testi keskiarvojen kaltaisuuksille				
			Merkitsevyys	Merkitsevyys (2-häntäinen)	Keskijajonta	Keskisarvon keskivirhe	95 % luottamusväli
						Alempi	Ylempi
Melupäästö ( $L_{WA, eq}$ )	Oletettu samanarvoinen varianssi	0,008	0,000	-4,9	0,61	-6,1	-3,7
	Ei oletettu samanarvoista varianssia		0,000	-4,9	0,71	-6,3	-3,5

### 5.3.5.1 Tahtiluokkien melupäästöjen taajuusjakaumat

Taulukossa 35 esitetään vertailussa olleiden kilpailuluokkien ajoneuvojen lukumäärät sekä energiaperiaatteella lasketut keskimääräiset melupäästötasot ( $L_{WA, eq}$ ). Tahtiluokkien taajuusjakaumien vertailu esitetään kuvissa 12 - 14.

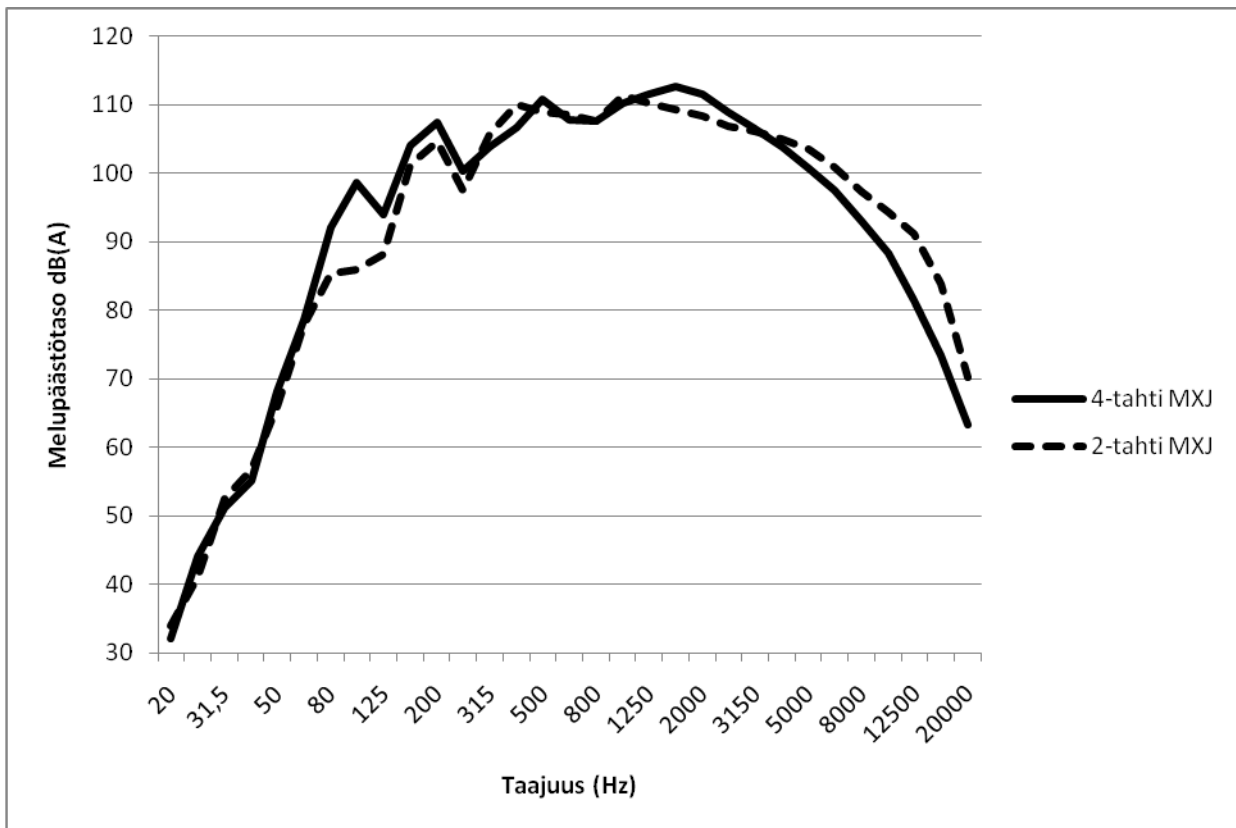
**Taulukko 35:** Taajuusvertailussa olleiden kilpailuluokkien ajoneuvomäärät ja keskimääräiset kokonaismelupäästöt ( $L_{WA, eq}$ ).

Kilpailuluokka	MX C/A		MX J		SuperCross	
	4-tahti	2-tahti	4-tahti	2-tahti	4-tahti	2-tahti
Ajoneuvojen lukumäärä (kpl)	6	10	1	1	2	1
Melupäästö ( $L_{WA, eq}$ )	118,3 (dB)	116,2 (dB)	120,6 (dB)	119,8 (dB)	124,9 (dB)	124,6 (dB)

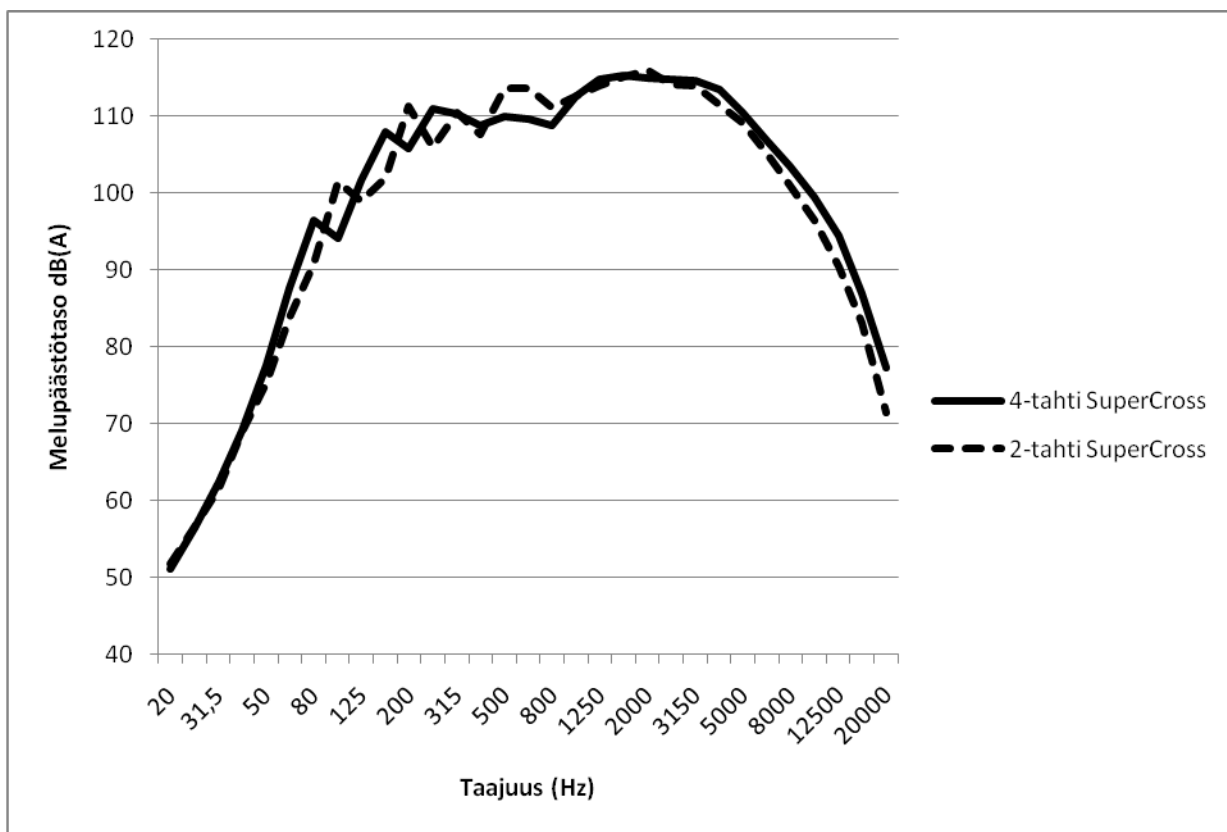




**Kuva 12:** Kilpailuluokka MX C/A:n tahtiluokkien taajuuskohtaiset keskimääräiset melupäästöt.



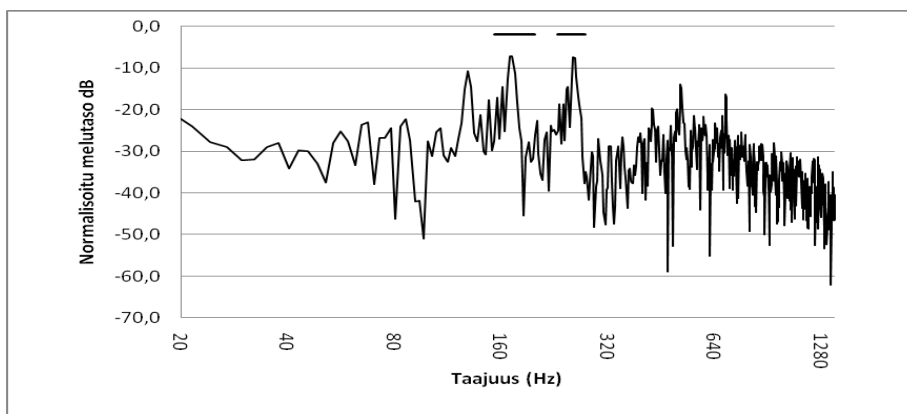
**Kuva 13:** Kilpailuluokka MX J:n tahtiluokkien taajuuskohtaiset melupäästöt.



**Kuva 14:** Kilpailuluokka SuperCrossin tautiluokkien taajuuskohtaiset melupäästöt.

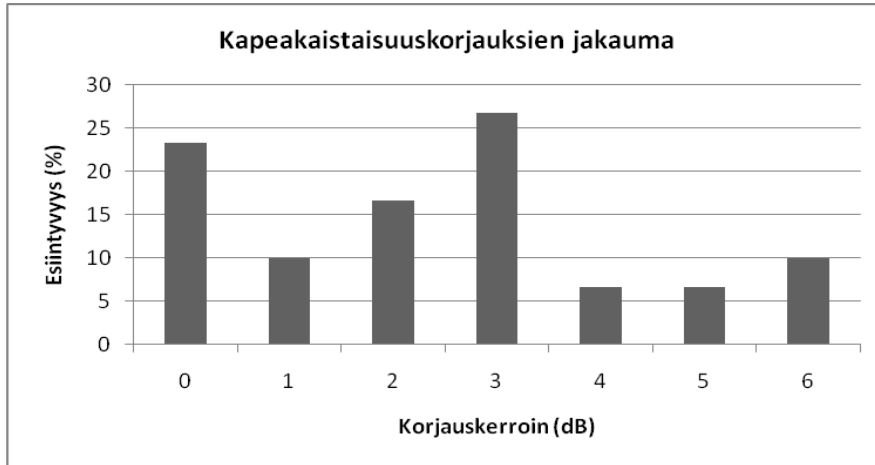
#### 5.4 MELUN KAPEAKAISTAISUUS

Esimerkki kapeakaistaisuudesta esitetään kuvassa 15. Nelitahtisen ajoneuvon melun kriittiset äänekset ovat 172 ja 256 hertsin taajuuksilla. Taustamelun ja yksittäisen piikin korkeuden erotus on 7,3 dB. ISO/CD 1996-2-standardin mukaan kuvassa 15 esitetyn MX V-luokan ajoneuvon melun kapeakaistaisuus aiheuttaa 6 dB korjauksen emissiotasoon.



**Kuva 15:** 4-tahtisen MX V-luokan ajoneuvon kapeakaista-analyysi.

Analysoiduissa melujaksoissa kapeakaistaisuutta oli pääsääntöisesti 150 ja 300 hertsin alueella. Standardin ISO/CD 1996-2 mukaista kapeakaistaisuuskorjattavaa melua oli 77 %:ssa analysoiduissa äänitysjaksoissa. Kaikkien analyysijaksojen korjaustermien keskiarvoksi saatiin 2,4 dB. Niiden analyysijaksojen kapeakaistaisuuskorjausarvojen keskiarvoksi, joissa oli kapeakaistakomponentteja, saatiin 3,2 dB. Kuvassa 16 esitetään kapeakaistaisuuskorjauksien jakauma.



**Kuva 16:** Kapeakaistaisuus korjausarvojen jakauma motocross-ajoneuvoilla.

## 6 TULOSTEN TARKASTELU

### 6.1 MITTAUSMENETELMÄN LUOTETTAVUUS JA TULOSTEN EDUSTAVUUS

Tutkimuksessa saatujen melupäästöjen tunnuslukuja voidaan vertailla keskiäänen ( $L_{WA, eq}$ ) sekä maksimin ( $L_{WA, max}$ ) melupäästötasoina. Havaintoja oli molemmissa aineistoissa yhteensä 229 kappaletta. Melupäästön  $L_{WA, eq}$  koko aineiston havaintojen keskiarvo on 122,5 dB ja maksimin  $L_{WA, max}$  123,1 dB. Voidaan todeta, että melupäästöjen keskiarvot kuvaavat sitä yksittäisen ajoneuvon melupäästötasoa, joka keskimääräisesti aiheutuu motocross-kilpailutapahtuma-ajosta, johon sisältyy harjoitus- ja aika-ajot sekä kilpailut.

Tarkasteltaessa koko aineiston ( $L_{WA, eq}$ ) keskimelupäästötasoja voidaan todeta, että niiden keskiarvo on vain 0,6 dB pienempi kuin ( $L_{WA, max}$ ) enimmäismelupäästötasojen. Siten voidaan olettaa, että pelkkä ( $L_{WA, eq}$ ) keskimelupäästötasojen tilastollinen tarkastelu antaa riittävän luotettavan kuvan mitatuista melupäästöistä. Lisäksi tarkastellessa  $L_{WA, eq}$  melupäästötasoja mahdollisten interferenssihiikkien vaikutus vähenee.

Sekä keski- ( $L_{WA, eq}$ ) että enimmäismelupäästöhavaintojen ( $L_{WA, max}$ ) jakaumat noudattavat melko hyvin Gaussin kellokäyrää. Lisäksi havainnot asettuvat melko hyvin normaalisuoralle. Normaalisuoraa tarkastellessa voidaan todeta, että enimmäismelupäästöjen ( $L_{WA, max}$ ) suurissa havaintoarvoissa on hieman enemmän hajontaa kuin keskimelupäästöjen ( $L_{WA, eq}$ ) arvoissa. Tämä saattaa johtua edellä mainitusta maksimitasojen interferenssistä.

Tutkimuksessa käytetyn mittausmetodin luotettavuutta on arvioitu tilastollisesti melupäästöjen mittausetäisyyksien korrelaatiolla. Pearsonin korrelaatiokertoimet ovat molemmissa melupäästöaineistoissa lähellä nollaa. Tämä merkitsee, että mitatulla melupäästöllä ja sen mittausetäisyydellä ei ole toisiinsa nähden selkeää yhteyttä. Teoreettisesti määritelty, laboratorio-oloissa mitattava melupäästö tarkoittaa säteilyä äänitehoa ja on äänilähteen oma, sijoituspaikasta ja ympäristöstä riippumaton perusominaisuus. Siten kenttäoloissakaan mitattujen melupäästöjen ei tulisi riippua mittausetäisyydestä. Näin havaittiinkin, ts. melupäästön ja mittausetäisyyden välillä ei nähty korrelaatiota. Melupäästöjen kuvailusuureiden  $L_{WA, eq}$  ja  $L_{WA, max}$  keskinäisestä korrelaatiosta

taas voidaan odotetusti todeta, että niiden välillä on voimakas riippuvuus, joten myös korrelaation perusteella pelkkä keskimelupäästötasojen tilastollinen tarkastelu antaa riittävän luotettavan kuvan mitatuista melupäästöistä

Mittausmetodin luotettavuutta kuvaavat myös mittauskorkeuden ja mittaustasojen mahdolliset vaikutukset melupäästöön. Mittauskorkeutena oli 1,5 tai 2,5 metriä. Mittaustaso oli jaettu radan tasossa ja radan yläpuolella mitattuihin melupäästöihin. Mittauskorkeudella ja mittaustasolla ei tilastollisessa tarkastelussa näyttänyt olevan merkitystä mitattuun melupäästöön. Mitatut melupäästötasot olivat molemmissa tarkasteluissa melko lähellä toisiaan. Mittauskorkeuksien 1,5 ja 2,5 metriä melupäästötasoisissa oli eroa 0,6 dB ja radan tasossa ja yläpuolella mitattujen melupäästöjen tasossa 0,2 dB. Tulosten perusteella voidaan todeta, että mittauskorkeuden ja mittaustason vaihtelu ei heikennä tulosten edustavuutta olennaisesti.

Ohiajokulman vaikutusta melupäästöön tarkasteltiin mittaamalla kohtisuoraan ohiajavan ja loittonevan ajoneuvon melupäästö. Kohtisuorassa ohiajossa melupäästö oli 2,1 dB suurempi kuin loittonevalla ajoneuvolla. Ero oli tilastollisesti merkitsevä. Kohtisuoraan ohiajavan ajoneuvon suurempi melupäästö selittyy mittauspaikan valinnalla. Loittonevat ajoneuvot mitattiin pääsääntöisesti kaarreaajosta, joissa nopeus ja moottorin kierrosluku eivät ole niin suuria kuin kohtisuorassa ohiajossa, jotka mitattiin lähes poikkeuksetta ajoradan suoraosuuksilla.

## **6.2 MOTOCROSS-AJON MELUPÄÄSTÖT**

Tutkimuksessa mitattuja melupäästöjä on tarkasteltu tilastollisesti ja pyritty selvittämään ajotilannetta luonnehtivien muuttuvien vaikutusta motocross-ajosta syntyvän melupäästön suuruuteen. Tilastollisessa tarkastelussa on käytetty keskiäänitasollisia ( $L_{WA,eq}$ ) melupäästöjä.

Motocrossissa on useita eri kilpailuluokkia. Tässä tutkimuksessa vertailtiin kuuden eri kilpailuluokan melupäästöjen eroja. Seniorisarjoiksi voidaan luokitella MX 1, MX B sekä Supercross ja juniorisarjoiksi MX C/A, MX C/B sekä MX J. Ikäluokkien mukainen jaottelu

on mielekästä tehdä, koska seniori-ikäluokassa muodostuva melupäästö on tulosten mukaan 4,3 dB suurempi kuin juniori-ikäluokan (18).

Senioriluokkien tarkastelussa (kuva 9) voidaan todeta, että kolmen kilpailuluokan keskiarvojen erot ovat tilastollisesti merkitseviä. Samoin voidaan todeta junioriluokkien melupäästöjen keskiarvoista. Melupäästöön vaikuttaa siis kilpailuluokan taso ja siten myös kuljettajien ajotaito.

Kaikissa kolmessa kilpailuluokassa ajetaan toistensa kaltaisilla ajoneuvoilla (taulukko 11), mutta siitä huolimatta SuperCross-luokan ajoneuvojen melupäästö on 3,6 dB(A) suurempi kuin luokassa MX 1 ja 10,0 dB(A) luokassa MX B. SuperCrossissa kilpailevat Suomen motocrossin parhaat ajajat, jotka osaavat käyttää suurempia moottoritehoja kuin alempien kilpailuluokkien kuljettajat. Ajotaidon merkitys melupäästöön on selkeästi havaittavissa junioriluokkien myös melupäästöjen vertailussa (kuva 10).

MX C/A ja MX C/B -kilpailuluokissa ajoneuvot ovat toistensa kaltaisia (taulukko 11), kuten myös kuljettajien ikä. Tilastollisen tarkastelun perusteella voidaan nähdä, että MX C/A-luokan melupäästö on 2,8 dB(A) suurempi kuin alemman tason kilpailuluokan MX C/B. Vertailtaessa MX J -luokan melupäästöjä MX C -luokkiin voidaan todeta, että MX J -luokka on ylivoimaisesti äänekkäin junioriluokista. Tämä johtuu ajotaidon lisäksi myös siitä, että kuljettajat ovat vanhempia MX J -luokassa, minkä vuoksi sallitaan suurempien moottorien käyttö kuin MX C -luokissa.

Ajotaidon merkitystä voidaan tarkastella myös eri ratojen melupäästön perusteella. Mikkeliissä ja Karkkilassa mitatut melupäästöt ovat päiviltä jolloin kilpailivat alempien luokkien kuljettajat sekä seniori että junioriluokissa. Vantaan ja Hyvinkään melupäästöt mitattiin niin sanotussa SuperCross-tapahtumassa, jossa kilpailivat huippukuljettajat. Tuloksista nähdään, että Mikkelin ja Karkkilan kilpailuissa mitatut melupäästöt ovat selvästi pienempiä kuin Vantaalla ja Hyvinkäällä mitatut. Eron suuruutta rajoittaa se, että SuperCross-tapahtumassa ajorata on normaalia motocross-rataa lyhyempi ja haastavampi. Siten voidaan olettaa, että normaalilla motocross-radalla huippukuljettajien ajoneuvojen melupäästö saattaisi olla vieläkin suurempi.

Tutkimuksessa selvitettiin myös eri ajotilanteiden (harjoitus-, aika- ja kilpa-ajo) vaikutusta melupäästötasoon. Tuloksista nähdään, että ajotilanteella on merkitystä melupäästötasoon. Tulosten perusteella harjoitus- ja aika-ajossa aiheutuu 2,4 dB suurempi melupäästö kuin kilpa-ajossa.

Harjoitus- ja aika-ajot ajetaan motocrossissa yhtenä kokonaisuutena. Tyypillisesti kuljettaja ajaa ensin muutaman harjoituskierroksen, jonka jälkeen pyrkii ajamaan mahdollisimman nopean aika-ajokierroksen. Kilpa-ajossa ajetaan kisajärjestelmän mukaisesti kilpaa muita kuljettajia vastaan ja lähtö tapahtuu yhteislähtönä.

Harjoitus- ja aika-ajosta aiheutuva kilpa-ajoa suurempi melupäästö voi johtua siitä, että harjoitus- ja aika-ajon ajotilanne sallii kuljettajien ajaa nopeammin. Erityisesti aika-ajossa kuljettaja todennäköisesti pyrkii löytämään sellaisen ajotilanteen, jossa on mahdollista ajaa ratakiekro rauhassa. Tällöin kuljettaja pystyy valitsemaan nopeuden kannalta parhaat ajolinjat, jarrutus- ja kiihdytyskohdat. Kilpa-ajossa kuljettajan on vaikeampi keskittyä ainoastaan omaan ajamiseen, koska on huomioitava nopeasti vaihtuvat tilanteet. Tällöin yksittäisestä ajoneuvosta ei aiheudu niin suurta melupäästöä kuin harjoitus- ja aika-ajossa.

### **6.3 TULOSTEN VERTAILU MUIHIN TUTKIMUKSIIN**

Taulukossa 36 esitetään tässä tutkimuksessa mitattujen eri kilpailuluokkien keskimääräiset melupäästötasot, joita verrataan muissa tutkimuksissa saatuihin motocross-ajon melutasoihin. Taulukossa on vertailtu niiden lajiluokkien melupäästötasoja, joissa ajoneuvon moottorikoko on 2-tahtisilla vähintään 125 cm<sup>3</sup> ja 4-tahtisilla vähintään 250 cm<sup>3</sup>, eli senioriluokkien ajoneuvoja. Tämän tutkimuksen mittaukset sisältävät sekä kohtisuorasta että loittonevasta ajoneuvosta mitatut melupäästötasot. Peutz by Granneman ym. mittauksista on taulukkoon laskettu keskiarvot kunkin lajiluokan/moottorikoon kohdalle, joissa mittaustuloksia on enemmän kuin yksi.

**Taulukko 36:** Motocross-ajosta mitattujen melupäästöjen vertailua muiden tekemien tutkimusten tuloksiin, ajoneuvot 2-tahtiset vähintään 125 cm<sup>3</sup> ja 4-tahtiset vähintään 250 cm<sup>3</sup>.

Tutkimus	Lajiluokka	Moottorikoko cm <sup>3</sup>	Tahtiluokka	Melupäästö (L <sub>WA</sub> , dB)
Tämä tutkimus	MX B	125 – 500	Ei raportoitu	115,5
	MX 1	125 – 500	Ei raportoitu	121,9
	SuperCross	Enintään 500 ja 650	Ei raportoitu	125,5
Naturvårdverket/ Ingemansson AB, Wikström 2007	Ei raportoitu	450	4	132,0
Miljøstyrelsen/ Ingemansson AB, 2003	Ei raportoitu	250		125,5
Peutz by/ Granneman ym. 2005	Ei raportoitu	250	2	ka. 127,1
	Ei raportoitu	450	4	ka. 129,7
	Superclass	Ei raportoitu	2	127,5
	Superclass	Ei raportoitu	4	130,3
Kuopion yliopisto/ Björk, 2001	Honda cr	125	Ei raportoitu	122,0
	KTM	Ei raportoitu	Ei raportoitu	118,0
	Honda	Ei raportoitu	Ei raportoitu	121,0

Taulukon 36 tuloksista voidaan todeta, että tämän tutkimuksen melupäästötasot ovat pääosin pienempiä kuin Naturvårdverket/Ingemansson AB, Miljøstyrelsen/Ingemansson AB ja Peutz by/Granneman ym. mittaamat. Erot voivat johtua siitä, että edellä mainitut melupäästöt on mitattu kohtisuorasta ohiajosta ja sellaisista kohdista rataa, jossa ajoneuvoa ajetaan täydellä kaasulla. Tämän tutkimuksen melupäästötuloksissa on mukana sellaisia mittauksia, joissa ajoneuvoa ei ole ajettu voimakkaasti kiihdyttäen. Tällaisia mittauskohtia ovat olleet muun muassa kaarteissa mitatut melupäästöt.



Kuopion yliopisto/Björkin määrittämät melupäästöt ovat samansuuntaiset tämän tutkimuksen melupäästöjen kanssa. Björkin tutkimuksessa mittaukset tehtiin tietyiltä ajojaksoilta, jotka sisälsivät mm. kaarreajoa, jolloin ajoneuvoilla on haastavaa ajaa kiihdyttäen. Siten Björkin tulokset ovat osin samaa suuruusluokkaa tutkimuksen melupäästöjen kanssa.

On syytä korostaa, että tässä tutkimuksessa tulokset ilmaisevat vain keskimääräisen melupäästön kussakin kilpailuluokassa, koska tuloksia ei ole eritelty moottorikoon mukaan.

Samantapaisia päätelmiä voidaan tehdä taulukosta 37, jossa vertaillaan tutkimuksittain melupäästötasoja niistä kilpailuluokista, jotka muodostuvat junioriajossa käytettävistä ajoneuvoista. Ajoneuvon moottorikokona oli 2-tahtisilla alle 125 cm<sup>3</sup> ja 4-tahtisilla alle 250 cm<sup>3</sup>. Peutz by Granneman ym. mittauksista on taulukkoon laskettu keskiarvot kullekin lajiluokalle/moottorikoolle, jossa mittaustuloksia oli vähintään kaksi.

**Taulukko 37:** Motocross-ajosta mitattujen melupäästöjen vertailua, ajoneuvot 2-tahtiset enintään 125 cm<sup>3</sup> ja 4-tahtiset enintään 250 cm<sup>3</sup>.

Tutkimus	Lajiluokka	Moottorikoko cm <sup>3</sup>	Tahtiluokka	Melupäästö (L <sub>WA</sub> , dB)
Tämä tutkimus	MX C/B	85 – 150	Ei raportoitu	116,1
	MX C/A	85 – 150	Ei raportoitu	118,9
	MX J (junior)	Enintään 125 – 250	Ei raportoitu	124,1
Peutz by Granneman ym. 2005	Ei raportoitu	125	2	ka. 128,5
	Ei raportoitu	250	4	ka. 130,1
	Ei raportoitu	50	2	ka. 117,6
	Ei raportoitu	65	4	ka. 119,3
	Ei raportoitu	85	2	ka. 125,2
	Juniorit	65 + 85	2	121
	Juniorit	85 + 125	2	126,4

Tässä tutkimuksessa koko aineiston havaintojen keskiarvo ( $L_{WA, eq}$ ) oli 122,5 dB. Peutz by Granneman ym. toteavat omien mittaustensa perusteella, että yhdestä motocross -ajoneuvosta aiheutuva melupäästö voisi keskimääräisesti olla noin  $L_{WA}$  120 dB. Arvio perustuu siihen, että motocross-ajossa vain 15 % tapahtuisi täydellä kiihdytyksellä koko kilpailun aikana.

Tämän tutkimuksen keskiarvollinen melupäästö motocross-ajolle on siten 2,5 dB suurempi kuin hollantilaisen tutkimuspäätelmän. Ero voi johtua siitä, että tässä tutkimuksessa lukumäärällisesti enemmän melupäästömittauksia on Vantaan ja Hyvinkään kilpailuista, joiden todettiin olevan äänekkäämpiä kuin Mikkelin ja Karkkilan kilpailut. Melupäästötaaso saattaisi olla alhaisempi, mikäli mittaustuloksia olisi tasainen määrä eritasoisista kilpailuista.

## **6.4 TAHTILUOKKIEN MELUPÄÄSTÖT JA TAAJUUSJAKAUMAT**

Motocross-ajoneuvoista aiheutuva ääni voidaan jakaa 2- ja 4-tahtisten ajoneuvon aiheuttamiin. Tahtiluokkien äänten laadut eroavat selkeästi. 2-tahtinen ajoneuvo tuottaa terävän ja kireän kuuloisuuden, kun 4-tahtisen ääni on möreä ja karhea. Suhteellisesti eniten 2-tahtisia käytetään junioriluokissa, joissa miltei puolet kuljettajista ajaa 2-tahtisilla. Senioriluokissa 2-tahtisia käytetään hyvin harvoin.

2-tahtisten runsaus junioriluokissa selittyy osaksi sillä, että näissä luokissa ajoneuvon paino vaikuttaa eniten ajonopeuteen. 2-tahtiset ajoneuvot ovat kevyempiä kuin 4-tahtiset. Massaeroa ei voi kompensoida 4-tahtisen hyväksi kasvattamalla moottoritehoa, koska ajoneuvon tehoja on junioriluokissa rajattu. Samaa hyötyä ei saa senioriluokissa, minkä selittää niiden vähäisen käytön vanhemmissa ikäluokissa.

Tahtiluokkien taajuusvertailussa nähdään selvästi, että kokonaismelupäästötaasojen vertailussa (taulukko 33) 4-tahtisten ajoneuvojen melupäästö on huomattavasti suurempi (keskimäärin 125 dB) kuin 2-tahtisten (keskimäärin 120 dB). Tämä selittyy kuitenkin suurelta osin ikäluokkien suosimien tahtiluokkien perusteella. Aiemmin on todettu, että senioriluokkien melupäästö on 4,3 dB junioriluokkia suurempi ja että seniorikuljettajat käyttivät lähinnä 4-tahtisia pyöriä. Toisin sanoen senioriluokan suurempi tehoiset moottorit aiheuttavat kokonaismelupäästötaasojen vertailussa suuremman melupäästön kuin junioriluokka.

Kahden eri tahtiluokan melupäästön taajuusjakaumaa on tarkasteltu kolmessa eri kilpailuluokassa. Eniten tarkastelussa on MX C/A -luokan ajoneuvoja. Lisäksi on vertailtu MX J sekä SuperCross-kilpailuluokan melupäästöjen taajuusjakaumaa.

MX C/A-luokan taajuusjakauman vertailussa voidaan selkeästi havaita, että 4-tahtinen ajoneuvo aiheuttaa 80 - 125 Hz:n välillä suuremman melupiikin kuin 2-tahtinen. Yhtäpitävä havainto voidaan tehdä MX J-luokan 2- ja 4-tahtisten ajoneuvojen vertailussa. Toinen taajuuspiikki MX C/A-luokan ajoneuvoissa erottuu 200 Hz:n kohdalla. Tämä piikki on terävämpi 2-tahtisilla ja loivempi 4-tahtisilla ajoneuvoilla. MX J-luokassa 4-tahtisilla ajoneuvoilla korostuu taajuuspiikki 100 Hz:n kohdalla.

SuperCross-luokassa ei mittauksen perusteella havaita samantapaisia tahtiluokkien välisiä selkeitä taajuuskohtaisia eroja kuin edellä mainituissa kahdessa muussa kilpailuluokassa. Mittauksen perusteella 4-tahtiset ajoneuvot keskimäärin muodostavat SuperCross-luokassa melupiikit taajuuksille 80, 160 ja 250 Hz. 2-tahtisen ajoneuvon melupiikit sijaitsevat taajuuskaistoilla 100 ja 200 Hz. Lisäksi 2-tahtinen ajoneuvo aiheuttaa leveämmän huipun taajuusalueelle 500 - 800 Hz, jossa melupäästö on 4-tahtisia ajoneuvoja keskimäärin suurempi.

MX C/A ja MX J-kilpailuluokkien taajuusvertailussa havaittu 200 Hz:n saattaa piikki selittyä moottorikierrosnopeuksista. Pääosa mittauksista on toteutettu sellaisissa kohdissa ajorataa, jossa ajoneuvot kiihdyttävät täydellä kaasulla. Tällöin voidaan olettaa, että moottorikierrosnopeudet ovat noin 12000 rpm, joka on yleensä motocross-pyörän moottorin maksimikierrosnopeus. Siten kierrostaajuudeksi saadaan lasketuksi noin 200 Hz (Lahti 2003), joka oli mittaustuloksista havaittavissa. Monet taajuuspiikit (80, 125 ja 200 Hz) havaittiin sellaisella taajuusalueella, jolla myös moottorin tyypilliset kierrostaajuudet esiintyvät. Siten voidaan arvella, että taajuustarkastelussa havaitut piikit aiheutuvat yhtäältä moottorin tahtiluokasta (4-tahtiset) sekä tyypillisistä kierrosnopeuksista.

Tässäkin tutkimuksessa tehtiin se havainto, että 4-tahtiset ajoneuvot muodostavat möreän ja karhean tuntuksen äänen. Tämä selittynee sillä, että moottorin alhainen kierrosnopeus synnyttää paitsi matalataajuista ääntä myös äänen moduloitumista karheutta aiheuttavilla taajuuksilla 10 - 300 Hz (Björk 1997.).

## 6.5 MOTOCROSS-MELUN KAPEAKAISTAISUUS

ISO/CD 1996-2 standardin mukaisesti suoritettua kapeakaistaisuusanalyysin perusteella voidaan todeta, että motocross-ajon melua voidaan pitää pääosin kapeakaistaisena, koska analysoiduissa äänitysjaksoissa miltei 80 %:ssa oli kapeakaistaisuuskorjattavaa ja keskimääräiseksi häiritsevyyskorjaukseksi  $K_T$  saatiin 2,4 dB.

Analyysin perusteella voidaan suositella, että motocross-melun häiritsevyyttä arvioitaessa tulisi mitattua tai laskettua melun keskiäänitasoa korottaa 2,5 dB:llä ennen vertaamista esim. ulkomelun ohjearvoon. Tällöin motocross-ajojen ympäristövaikutuksien tarkastelussa voisi saada melun koetuista haitoista todenmukaisemman kuvan.

Pääosa kapeakaistaisuusanalyysin ääninäytteistä oli 4-tahtisista ajoneuvoista, jonka äänen laatu poikkeaa 2-tahtisesta. Siten olisi tärkeää esim. jatkotutkimuksissa selvittää erikseen kummallekin moottorityypille kapeakaistaisuuden korjauskertoimet. Kapeakaistaisuus heikkenee välimatkan funktiona ja riippuu muusta taustamelusta. Voi tulla kysymykseen käyttää suurempaa tai pienempää häiritsevyyskorjausarvoa, etenkin jos melulta suojattava kohde eri etäisyydellä kuin tässä tutkimuksessa sijainneet mittauspisteet ja/tai jos taustamelua ei mainittavasti esiinny.

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET

Motocross-ajoneuvosta aiheutuva melupäästö ( $L_{WA, eq}$ ) on tämän tutkimuksen mukaan keskimäärin 122,5 dB. Keskiarvo on saatu mittauksista, jotka käsittivät kuusi eri kilpailuluokkaa ja neljä eri motocross-rataa. Yksistään tämän melupäästöarvon käyttämistä melun leviämisen laskennallisessa arvioimisessa voidaan pitää riittämättömänä, jos oletetaan sen antavan ympäristöön kohdistuvasta melusta sellaisen kuvan, joka ei aliarvioisi oletettua immissiotasoa.

Eri kilpailuluokkien ajoneuvojen päästötasot sijoituivat välille 115 - 126 dB ja eri radoilla mitattujen ajoneuvojen päästötasot välille 117 - 125 dB. Tästä seuraa, että jos arvioinnin kohteena olevasta moottoriradasta ei ole käytettävissä tarkempia lähtötietoja, on perusteltua käyttää yhden ajoneuvon melupäästön lähtöarvona keskimääräistä arvoa selvästi suurempaa arvoa esim. 125 dB laskettaessa ratatoiminnasta aiheutuvaa keskiäänitasoa. Näin tehtäessä tulee huomioitua myös se seikka, että ajoneuvojen melupäästön energiakeskiarvo on jonkin verran suurempi kuin em. aritmeettinen keskiarvo. Laskettuun keskiäänitasoon on lisättävä kapeakaistaisuudesta johtuvana häiritsevyysskorjauksena vähintään 2,5 dB.

Laskettaessa ratatoiminnasta aiheutuvaa enimmäisäänitasoa on ajoneuvon enimmäismelupäästönä ( $L_{WA, max}$ ) syytä käyttää enimmäismelupäästötasoa keskiarvoa lisättynä sen keskihajonnalla eli tämän tutkimuksen mukaan 128 dB.

Melupäästötasot on laskettu tässä tutkimuksessa olettaen äänitehon hajaantuneen tasaisesti puoliavaruuteen, mikä oletus on syytä tehdä myös immissiotasojen laskettaessa.

Tutkimuksessa käytetyn melupäästön mittaustavan luotettavuutta tarkasteltiin tilastollisella analyysillä. Sen perusteella voidaan todeta, että tutkimukseen valittu mittaustapa antaa edustavan kuvan motocross-ajosta aiheutuvasta melupäästöstä. Mittaustapaa voidaan siten käyttää motocrossia vastaavien, huippunopeuksiltaan noin 80 km/h, moottoriurheilulajien melupäästöjen selvittämisessä. Nopeampien moottoriurheilulajien, kuten road racingin melupäästön mittaukseen mittaustapaa ei tässä tutkimuksessa testattu, joten metodin soveltuvuutta nopeampiin moottoriurheilulajeihin olisi hyvä selvittää lisää.

Motocross -melusta tehdyt päästömittaukset sekä tulosten tilastollinen tarkastelu osoittavat, että melupäästön suuruuteen vaikuttaa merkittävästi kuljettajan ajotaito. Tilastollisessa tarkastelussa oli havaittavissa, että ajotaito ratkaisee melupäästön suuruuden tilanteissa, joissa eri tason kuljettajilla on käytettävissä samantapaiset ajoneuvot. Siten eri motocross-ratojen melupäästön arvioimisessa on syytä ottaa huomioon radan käyttötarkoitus. Mikäli rata on tarkoitettu vain harrastekäyttöön, voidaan olettaa, että melupäästö ei ole niin suuri kuin kilpaurheiluradan.

2- ja 4-tahtisten ajoneuvojen melupäästöjen taajuusjakaumat eroavat selkeästi. 4-tahtisten taajuusjakaumassa korostuu äänen karheutta aiheuttava taajuusalue. 2-tahtisilla ajoneuvoilla kyseinen taajuusalue on vaimeampi, mutta 2-tahtisten ajoneuvojen melu korostuu keskitaajuusalueella. Tässä tutkimuksessa selvitettiin motocross-melun kapeakaistaisuutta, mutta ei eri tahtiluokkien aiheuttaman äänen erottumista ympäristötaustamelusta. Tästä olisi hyvä saada lisätietoa, jotta melun häiritsevyyttä voisi arvioida tarkemmin.

Kapeakaistaisuuden huomioiminen melun koettuihin vaikutuksiin voidaan toteuttaa korottamalla laskentatulosta noin 2,5 dB:llä. Korotuksen suuruus riippuu kuitenkin moottorityyppien jakaumasta sekä välimatkasta. Motocross-melun leviämisen laskennallisen mallintamisen toteuttamista ei tässä tutkimuksessa käsitelty. Siihen soveltuvista menetelmistä olisi hyvä tuottaa lisäselvityksiä.

## 8 LÄHDELUETTELO

Airola, H.: Meluselvitykset asemakaavoissa ja ympäristölupahakemuksissa - Puutteita ja mahdollisuuksia parannuksiin, Suomen Ympäristö 35, Helsinki 2008.

Björk, E.: Meluntorjunta. Kuopion yliopisto, ympäristötieteiden laitos. Kuopion yliopiston painatuskeskus, 1997, 250 s.

Björk, E.: Raportti Heinjoen moottoriratojen melumittauksista. Kuopion yliopisto 2001.

Björk, E.: Ääntä vahvistavat olosuhdetekijät. Akustiikka päivät 2005 -julkaisu. Kuopio, 26. - 27.9. Akustinen Seura ry.

Björk, E. & Toivonen, T.: Äänen vaimeneminen metsämaastossa. Akustiikka päivät 2009 - julkaisu. Vaasa, 14. - 15.5.2009. Akustinen Seura ry.

Danish Environmental Protection Agency, Ingemansson Technology AB: Motor Racing Vehicles - Measurement Methods, Development of Noise Emission Measurement Methods for Motor Racing Vehicles. Working Report No. 47, 2003. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen.

Eurasto, R.: Road traffic noise in the speed range of 30-50 km/h. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tiedotteita 1720. Espoo 1995.

Eurasto, R.: Ympäristömeludirektiivin vaikutukset melun arviointimenetelmiin. Suomen ympäristö 610, Helsinki 2003.

Eurasto, R.: Meluselvitysten laskennalliset menettelyt - MELUTTA-hankkeen osaraportti 1, ympäristöministeriön raportteja 20/2007. Helsinki 2007.

Granneman, J. & Schermer, F. & Huizer, H. & Jochemsen, N.: Sound power levels of motocross courses. The 2005 Congress and Exposition on Noise Control Engineering. Rio de Janeiro, Brazil 2005.

Harrison, M.: Vehicle Refinement - Controlling Noise and Vibration in Road Vehicles. Cranfield University, United Kingdom, 2004.

Hietala, R.: Luonnonrauhan kokeminen ja äänitasot, Ympäristönsuojelutieteen pro gradu -työ. Bio- ja ympäristötieteiden laitos, Helsingin yliopisto 2006.

Jauhiainen, T. & Vuorinen, H.S. & Heinonen-Guzejev.: Ympäristömelun vaikutukset. Suomen ympäristö 3/2007. Ympäristöministeriö. Helsinki 2007.

Kankare, J.: Moottoriurheiluratojen äänitasoselvitykset ja leviämislaskentamallien soveltaminen ympäristölupien kannalta. Turku 2003.

Kokkonen, J. & Lahti, T.: Rengasmelun emissio ja leviäminen eri tiepäällysteillä. Akustiikka päivät 2007 -julkaisu. Espoo, 27. - 28.9.2007. Akustinen Seura ry.

Laivoranta, O.: Moottoriradan melunseurantajärjestelmä. Teknillinen korkeakoulu, diplomityö. Espoo 2008.

Lahti, T.: Noise from Road Racing motorcycles - Emission measurement and immission prediction. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tiedotteita 704. Espoo 1987.

Lahti, T.: Akustinen mittaustekniikka. Opetusmoniste. Helsinki, Teknillinen korkeakoulu. 1995.

Lahti, T.: Äänen eteneminen ulkona. Akustiikka päivät 2001 -julkaisu. Espoo, 8. - 9.10.2001. Akustinen Seura ry.

Lahti, T.: Ympäristömelun arviointi ja torjunta, ympäristöopas 101. Helsinki 2003.

Liikonen, L., Leppänen, P.: Altistuminen ympäristömelulle Suomessa, tilannekatsaus. Helsinki 2005.

Mellin, V. & Antila, M.: Henkilöauton moottoriäänen muokkausjärjestelmä. Akustiikka päivät 2007 -julkaisu. Espoo 27. - 28.9.2007. Akustinen Seura ry.



Naturvårdverket, Bingman, I.: Buller från motorsportbanor - Beräkningsmodell. Meddelande 8/1983. Tyresö 1984.

Parmanen, J.: Meluisten ajoneuvojen yksilöinti. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tiedotteita 1361. Espoo 1992.

Pesonen, K.: Hiljaiset alueet - Hiljaisuuteen vaikuttavat tekijät ja hiljaisuuden kriteerit. Suomen ympäristö 738. Helsinki 2004.

Pesonen, K.: Ympäristömelun haittojen arvioinnin perusteita, sosiaali- ja terveysministeriön selvityksiä 2005:14. Helsinki 2005.

Rossing, T., Moore, F., Wheeler, P. The science of sound, 3rd edition. Addison Wesley 2002.

Sosiaali- ja terveysministeriö: Asumisterveysohje – Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fyysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003:1. Helsinki 2003.

SPSS Base 14.0 User's Guide, Copyright by SPSS Inc. Printed in the United States of America. 2005.

Sysiö, P.: Kevyitten ajoneuvojen melun yksilöinti. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tiedotteita 1459. Espoo 1993.

Tiihinen, J., Hänninen, O.: Meluntorjunnan perusteet, ympäristöopas 18. Kuopio 1997.

Valtioneuvoston päätös melutason ohjearvoista, 993/1992. Helsinki 1992.

Wikström, P.: Beräkningsmodell för motorsport, Ny källdatakatalog - Ljudmätningar på Rallycross och Motocross 2007. Göteborg 2007.

Ympäristöministeriö: Melutilanteen seurannan järjestäminen kunnissa, ohje 3/1990. Helsinki 1990.

Ympäristöministeriö: Tieliikennemelun laskentamalli, ohje 6/1993. Helsinki 1993.

Ympäristöministeriö: Ympäristömelun mittaaminen, ohje 1/1995. Helsinki 1995.

Ympäristöministeriö: Meluntorjunnan valtakunnalliset linjaukset ja toimintaohjelma. Suomen ympäristö 696/2004.

Ympäristönsuojelulaki 86/2000.

Ympäristönsuojeluasetus 169/2000.

**LIITTEET**

**1 TILASTOANALYYSIN HAVAINTOAINEISTO**

**2 KAPEAKAISTAISUUS-ANALYYSIT**

**3 RATAKARTTAKUVAT**

## 1 TILASTOANALYYSIN HAVAINTOAINEISTO

						1 = suora	1 = ohiajo	1 = kilpa- ajoa	1 = radan tasossa		1 = MXJ	1 = jun.	1 = aamu- päivä	1 = Mikkeli
						2 = kurvi 90°	2 = loittoneva	2 = harjoitus/ aika-ajoa	2 = radan yläpuolella		2 = MXB	2 = sen.	2 = ilta- päivä	2 = Karkkila
						3 = kurvi 180°	3 = lähestyvä				3 = MX1			3 = Vantaa
						4 = loiva kurvi					4 = MXC/B			4 = Hyvinkää
											5 = MXC/A			
											6 = Super- Cross			
Nro	LWA, LAeq dB	LWA, LMax dB	Mittaus- etäisyys (m)	Mittaus- korkeus (m)	Mittaus- jakso (s)	Mittaus- paikka	Mittautapa	Ajotilanne	Mittaus-taso	2/4 - tahti	Luokka	Juriori/ seniori	Ajankohta	Paikka- kunta
1	117,4	116,2	10	2,5	1,4	1	2	1	1		2	2	2	1
2	116,2	116,8	20	1,5	2,9	1	2	1	1		2	2	2	1
3	115,4	116,1	20	2,5	2,9	1	2	1	1		2	2	2	1
4	113,8	114,4	35	1,5	4,0	1	2	1	1		2	2	2	1
5	114,5	115,2	35	2,5	4,0	1	2	1	1		2	2	2	1
6	121,9	122,0	10	1,5	1,0	1	1	1	1		4	1	2	1
7	114,1	115,0	10	2,5	1,0	1	1	1	1		4	1	2	1
8	121,3	121,0	10	2,5	1,0	1	1	1	1		4	1	2	1
9	118,4	119,0	20	1,5	2,1	1	1	1	1		4	1	2	1
10	118,7	119,5	20	2,5	2,1	1	1	1	1		4	1	2	1
11	114,9	115,9	20	2,5	2,1	1	1	1	1		4	1	2	1
12	120,6	121,0	20	2,5	2,1	1	1	1	1		4	1	2	1
13	121,2	121,7	10	1,5	1,0	1	2	1	2		5	1	2	1
14	115,9	117,5	20	2,5	2,1	1	2	1	2		5	1	2	1
15	122,1	122,9	10	1,5	1,4	2	2	1	1		5	1	2	1
16	118,0	118,8	10	1,5	1,4	2	2	1	1		5	1	2	1

17	123,3	123,8	10	2,5	1,4	2	2	1	1		5	1	2	1
18	117,4	118,2	10	2,5	1,4	2	2	1	1		5	1	2	1
19	116,7	118,3	13	2,5	1,0	1	1	1	2		4	1	2	1
20	116,5	117,2	13	2,5	1,0	1	1	1	2		4	1	2	1
21	118,6	119,2	20	1,5	1,6	1	1	1	2		4	1	2	1
22	118,9	119,4	20	1,5	1,6	1	1	1	2		4	1	2	1
23	120,7	121,2	20	2,5	1,6	1	1	1	2		4	1	2	1
24	107,5	107,6	12	1,5	1,7	3	2	1	2		4	1	1	1
25	107,2	107,3	12	1,5	1,7	3	2	1	2		4	1	1	1
26	113,5	114,0	12	2,5	1,7	3	2	1	2		4	1	1	1
27	112,2	112,9	20	1,5	2,9	3	2	1	2		4	1	1	1
28	113,8	115,3	20	2,5	2,9	3	2	1	2		4	1	1	1
29	115,2	115,7	20	2,5	2,9	3	2	1	2		4	1	1	1
30	114,4	115,0	20	2,5	2,9	3	2	1	2		4	1	1	1
31	114,7	114,8	15	1,5	0,9	1	1	2	2		5	1	1	2
32	113,9	113,1	15	2,5	0,9	1	1	2	2		5	1	1	2
33	115,4	115,6	23	1,5	2,1	1	1	2	2		5	1	1	2
34	123,6	124,2	13	2,5	1,3	4	1	2	1		3	2	1	2
35	121,5	121,7	24	2,5	2,5	4	1	2	1		3	2	1	2
36	125,7	126,0	24	2,5	2,5	4	1	2	1		3	2	1	2
37	124,2	124,6	24	2,5	2,5	4	1	2	1		3	2	1	2
38	123,6	123,8	36	1,5	3,2	4	1	2	1		3	2	1	2
39	121,0	121,5	36	1,5	3,2	4	1	2	1		3	2	1	2
40	119,6	121,0	10	2,5	1,2	2	2	1	1		3	2	2	2
41	115,8	116,1	30	2,5	2,7	2	2	1	1		3	2	2	2
42	117,5	117,8	10	2,5	1,2	1	1	1	1		5	1	2	2
43	110,6	111,1	10	2,5	1,2	1	1	1	1		5	1	2	2
44	120,7	121,0	20	2,5	2,4	1	1	1	1		5	1	2	2
45	119,0	120,2	20	2,5	2,4	1	1	1	1		5	1	2	2

46	121,9	121,8	13	1,5	1,2	1	1	1	2		5	1	2	2
47	116,8	117,4	13	2,5	1,2	1	1	1	2		5	1	2	2
48	118,2	118,7	13	2,5	1,2	1	1	1	2		5	1	2	2
49	121,4	122,0	27	1,5	2,8	1	1	1	2		5	1	2	2
50	121,6	122,4	27	1,5	2,5	1	1	1	2		5	1	2	2
51	121,9	122,5	27	1,5	2,8	1	1	1	2		5	1	2	2
52	120,8	121,0	15	1,5	1,5	1	1	2	1	2	5	1	1	3
53	122,8	123,0	15	1,5	1,5	1	1	2	1	4	5	1	1	3
54	121,7	122,0	15	1,5	1,5	1	1	2	1	4	5	1	1	3
55	121,0	121,2	15	2,5	1,5	1	1	2	1	2	5	1	1	3
56	125,0	125,2	30	1,5	3,1	1	1	2	2	2	5	1	1	3
57	126,1	126,4	30	1,5	3,1	1	1	2	2	4	5	1	1	3
58	126,1	126,3	30	1,5	3,1	1	1	2	2	2	5	1	1	3
59	125,9	126,0	30	2,5	3,1	1	1	2	2	4	5	1	1	3
60	125,8	126,0	30	2,5	3,1	1	1	2	2	4	5	1	1	3
61	125,3	125,8	15	1,5	0,9	1	1	1	1	4	6	2	2	3
62	125,1	125,5	15	1,5	0,9	1	1	1	1	4	6	2	2	3
63	127,1	127,2	15	1,5	0,9	1	1	1	1	4	6	2	2	3
64	122,8	123,1	15	1,5	0,9	1	1	1	1	4	6	2	2	3
65	128,4	128,6	15	1,5	0,9	1	1	1	1	4	6	2	2	3
66	123,9	124,6	15	1,5	0,9	1	1	1	1	4	6	2	2	3
67	128,2	128,7	15	2,5	0,9	1	1	1	1	4	6	2	2	3
68	126,3	126,8	15	2,5	0,9	1	1	1	1	4	6	2	2	3
69	126,0	126,1	15	2,5	0,9	1	1	1	1	4	6	2	2	3
70	127,9	128,8	15	2,5	0,9	1	1	1	1	4	6	2	2	3
71	127,7	128,0	30	1,5	1,8	1	1	1	2	4	6	2	2	3
72	127,4	128,2	30	1,5	1,8	1	1	1	2	4	6	2	2	3
73	128,2	129,1	30	1,5	1,8	1	1	1	2	4	6	2	2	3
74	124,9	126,3	30	2,5	1,8	1	1	1	2	4	6	2	2	3

75	123,1	124,2	30	2,5	1,8	1	1	1	2	4	6	2	2	3
76	126,6	126,8	30	2,5	1,8	1	1	1	2	4	6	2	2	3
77	119,0	121,3	15	1,5	2,7	3	2	2	1	2	5	1	1	3
78	114,2	114,9	15	1,5	2,7	3	2	2	1	4	5	1	1	3
79	117,7	118,3	15	1,5	2,7	3	2	2	1	2	5	1	1	3
80	115,3	116,5	15	1,5	2,7	3	2	2	1	2	5	1	1	3
81	115,9	116,2	15	2,5	2,7	3	2	2	1	2	5	1	1	3
82	119,4	119,9	15	2,5	2,7	3	2	2	1	4	5	1	1	3
83	116,5	117,5	15	2,5	2,7	3	2	2	1	2	5	1	1	3
84	114,9	116,1	23	1,5	4,1	3	2	2	2	2	5	1	1	3
85	112,5	114,2	23	1,5	4,1	3	2	2	2	2	5	1	1	3
86	116,3	117,3	23	1,5	4,1	3	2	2	2	2	5	1	1	3
87	116,0	117,3	23	2,5	4,1	3	2	2	2	2	5	1	1	3
88	120,7	121,5	23	2,5	4,1	3	2	2	2	2	5	1	1	3
89	116,2	116,9	23	2,5	4,1	3	2	2	2	2	5	1	1	3
90	117,9	118,9	23	2,5	4,1	3	2	2	2	2	5	1	1	3
91	116,5	117,6	10	1,5	1,8	4	1	2	1	2	6	2	1	3
92	119,5	120,0	10	1,5	1,8	4	1	2	1	4	6	2	1	3
93	125,2	126,8	10	1,5	1,8	4	1	2	1	4	6	2	1	3
94	121,6	122,6	10	1,5	1,8	4	1	2	1	4	6	2	1	3
95	129,8	130,9	10	2,5	1,8	4	1	2	1	4	6	2	1	3
96	120,2	120,9	10	2,5	1,8	4	1	2	1	4	6	2	1	3
97	119,7	120,3	10	2,5	1,8	4	1	2	1	4	6	2	1	3
98	124,1	124,4	10	2,5	1,8	4	1	2	1	4	6	2	1	3
99	123,3	123,6	30	1,5	3,6	4	2	2	2	2	6	2	1	3
100	131,0	132,2	30	1,5	3,6	4	2	2	2	4	6	2	1	3
101	128,9	129,3	30	1,5	3,6	4	2	2	2	4	6	2	1	3
102	127,1	128,4	30	1,5	3,6	4	2	2	2	4	6	2	1	3
103	130,2	131,0	30	2,5	3,6	4	2	2	2	4	6	2	1	3

104	125,3	125,9	30	2,5	3,6	4	2	2	2	4	6	2	1	3
105	123,6	124,3	30	2,5	3,6	4	2	2	2	4	6	2	1	3
106	125,0	125,6	30	2,5	3,6	4	2	2	2	4	6	2	1	3
107	129,4	129,6	10	1,5	0,8	1	1	2	1	4	6	2	1	3
108	126,9	126,8	10	1,5	0,8	1	1	2	1	4	6	2	1	3
109	130,9	131,4	10	1,5	0,8	1	1	2	1	4	6	2	1	3
110	130,9	131,2	10	1,5	0,8	1	1	2	1	4	6	2	1	3
111	128,9	129,1	10	2,5	0,8	1	1	2	1	4	6	2	1	3
112	123,2	124,7	10	2,5	0,8	1	1	2	1	4	6	2	1	3
113	127,7	127,8	10	2,5	0,8	1	1	2	1	4	6	2	1	3
114	126,6	126,6	20	1,5	1,4	1	1	2	1	4	6	2	1	3
115	121,2	121,5	20	1,5	1,4	1	1	2	1	4	6	2	1	3
116	123,2	123,7	20	1,5	1,4	1	1	2	1	4	6	2	1	3
117	129,1	129,1	20	1,5	1,4	1	1	2	1	4	6	2	1	3
118	122,6	122,5	20	2,5	1,4	1	1	2	1	4	6	2	1	3
119	128,4	128,4	20	2,5	1,4	1	1	2	1	4	6	2	1	3
120	127,3	127,3	20	2,5	1,4	1	1	2	1	2	6	2	1	3
121	116,5	116,7	15	1,5	1,2	1	1	1	1	2	5	1	2	3
122	115,3	115,6	15	1,5	1,2	1	1	1	1	2	5	1	2	3
123	119,2	119,8	15	2,5	1,2	1	1	1	1	2	5	1	2	3
124	121,9	122,0	15	2,5	1,2	1	1	1	1	4	5	1	2	3
125	121,4	121,7	15	2,5	1,2	1	1	1	1	4	5	1	2	3
126	119,5	119,9	15	2,5	1,2	1	1	1	1	2	5	1	2	3
127	120,2	120,8	30	1,5	2,2	1	1	1	1	4	5	1	2	3
128	115,2	116,2	30	1,5	2,2	1	1	1	1	2	5	1	2	3
129	117	117,4	30	1,5	2,2	1	1	1	1	2	5	1	2	3
130	119,4	119,7	30	1,5	2,2	1	1	1	1	2	5	1	2	3
131	116,8	117,9	30	2,5	2,2	1	1	1	1	2	5	1	2	3
132	118,1	118,9	30	2,5	2,2	1	1	1	1	2	5	1	2	3



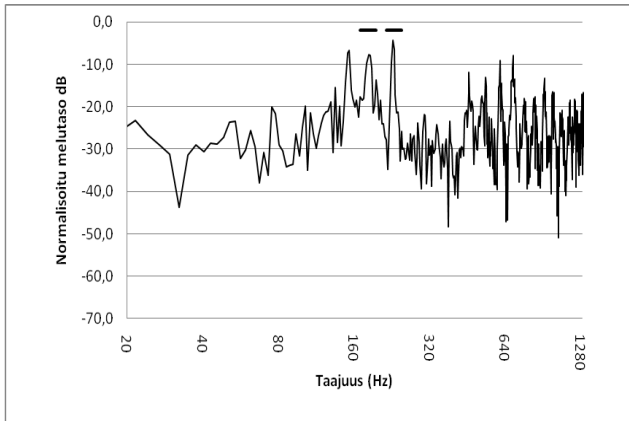
133	126,3	126,6	14	1,5	1,0	1	1	2	2	4	1	1	1	4
134	124,8	125,2	14	1,5	1,0	1	1	2	2	4	1	1	1	4
135	127,7	127,9	14	1,5	1,0	1	1	2	2	4	1	1	1	4
136	127,4	127,6	14	1,5	1,0	1	1	2	2	4	1	1	1	4
137	124,4	124,6	14	2,5	1,0	1	1	2	2	2	1	1	1	4
138	125,5	125,9	14	2,5	1,0	1	1	2	2	2	1	1	1	4
139	123,5	123,5	14	2,5	1,0	1	1	2	2	2	1	1	1	4
140	125,7	125,6	14	2,5	1,0	1	1	2	2	4	1	1	1	4
141	121,1	120,9	12	1,5	1,0	1	1	2	2	4	1	1	1	4
142	122,3	123,1	20	1,5	1,4	1	2	2	2	4	1	1	1	4
143	121,9	122,2	12	1,5	1,0	1	1	2	2	2	1	1	1	4
144	125,9	126,3	20	1,5	1,4	1	2	2	2	2	1	1	1	4
145	122,0	122,3	12	1,5	1,0	1	1	2	2	2	1	1	1	4
146	130,8	131,3	20	1,5	1,4	1	2	2	2	2	1	1	1	4
147	119,4	119,3	12	1,5	1,0	1	1	2	2	4	1	1	1	4
148	123,3	124,8	20	1,5	1,4	1	2	2	2	4	1	1	1	4
149	119,2	119,0	12	2,5	1,0	1	1	2	2	2	1	1	1	4
150	121,3	123,1	20	2,5	1,4	1	2	2	2	2	1	1	1	4
151	126,6	126,6	12	2,5	1,0	1	1	2	2	4	1	1	1	4
152	130,9	131,2	20	2,5	1,4	1	2	2	2	4	1	1	1	4
153	126,3	126,0	12	2,5	1,0	1	1	2	2	4	1	1	1	4
154	130,4	131,3	20	2,5	1,4	1	2	2	2	4	1	1	1	4
155	124,1	123,8	12	2,5	1,0	1	1	2	2	4	1	1	1	4
156	132,6	133,3	20	2,5	1,4	1	2	2	2	4	1	1	1	4
157	120,1	120,6	14	1,5	1,0	1	3	2	2	4	1	1	1	4
158	119,5	120,1	14	1,5	1,0	1	3	2	2	4	1	1	1	4
159	123,0	123,7	14	1,5	1,0	1	3	2	2	2	1	1	1	4
160	118,7	119,2	14	1,5	1,0	1	3	2	2	2	1	1	1	4
161	122,1	124,1	14	2,5	1,0	1	3	2	2	4	1	1	1	4

162	120,3	120,2	14	2,5	1,0	1	3	2	2	4	1	1	1	4
163	121,7	121,8	14	2,5	1,0	1	3	2	2	2	1	1	1	4
164	118,4	118,8	14	2,5	1,0	1	3	2	2	4	1	1	1	4
165	126,6	126,8	11	1,5	0,7	1	1	2	1	4	6	2	1	4
166	123,3	123,5	11	1,5	0,7	1	1	2	1	4	6	2	1	4
167	129,3	129,7	11	1,5	0,7	1	1	2	1	4	6	2	1	4
168	128,4	128,5	11	1,5	0,7	1	1	2	1	4	6	2	1	4
169	126,6	126,9	11	2,5	0,7	1	1	2	1	4	6	2	1	4
170	128,7	128,7	11	2,5	0,7	1	1	2	1	4	6	2	1	4
171	125,8	125,9	11	2,5	0,7	1	1	2	1	4	6	2	1	4
172	123,2	123,3	11	2,5	0,7	1	1	2	1	4	6	2	1	4
173	129,0	129,4	17	1,5	1,2	1	1	2	2	4	6	2	1	4
174	125,4	125,4	17	1,5	1,2	1	1	2	2	4	6	2	1	4
175	125,6	125,8	17	1,5	1,2	1	1	2	2	4	6	2	1	4
176	125,4	126,1	17	1,5	1,2	1	1	2	2	4	6	2	1	4
177	125,3	125,5	17	1,5	1,2	1	1	2	2	4	6	2	1	4
178	129,6	130,0	17	2,5	1,2	1	1	2	2	4	6	2	1	4
179	128,5	129,2	17	2,5	1,2	1	1	2	2	4	6	2	1	4
180	125,3	125,5	17	2,5	1,2	1	1	2	2	4	6	2	1	4
181	125,7	125,8	17	2,5	1,2	1	1	2	2	4	6	2	1	4
182	124,0	124,6	12	1,5	1,7	3	2	2	1	4	6	2	1	4
183	121,6	121,9	12	1,5	1,7	3	2	2	1	4	6	2	1	4
184	121,7	122,8	12	1,5	1,7	3	2	2	1	4	6	2	1	4
185	125,8	126,1	12	1,5	1,7	3	2	2	1	4	6	2	1	4
186	122,0	123,3	12	2,5	1,7	3	2	2	1	4	6	2	1	4
187	123,5	123,9	12	2,5	1,7	3	2	2	1	4	6	2	1	4
188	123,3	123,6	12	2,5	1,7	3	2	2	1	4	6	2	1	4
189	123,8	124,1	12	2,5	1,7	3	2	2	1	4	6	2	1	4
190	122,9	124,2	25	1,5	3,0	3	2	2	2	4	6	2	1	4

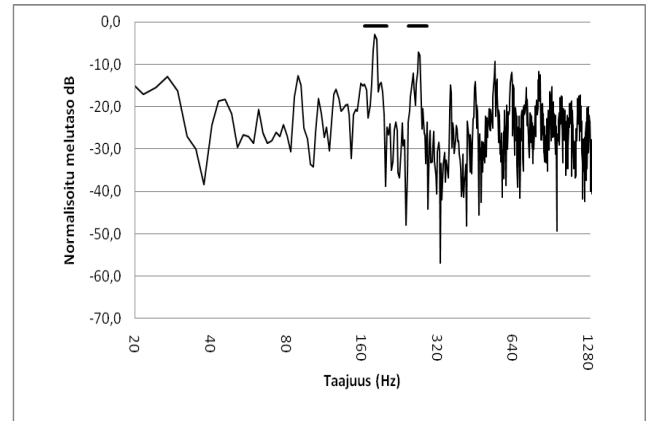
191	124,0	125,0	25	1,5	3,0	3	2	2	2	4	6	2	1	4
192	124,7	126,5	25	1,5	3,0	3	2	2	2	4	6	2	1	4
193	122,3	123,9	25	1,5	3,0	3	2	2	2	4	6	2	1	4
194	123,9	125,1	25	2,5	3,0	3	2	2	2	4	6	2	1	4
195	123,2	123,9	25	2,5	3,0	3	2	2	2	4	6	2	1	4
196	123,9	124,3	25	2,5	3,0	3	2	2	2	4	6	2	1	4
197	122,8	123,6	25	2,5	3,0	3	2	2	2	2	6	2	1	4
198	127,0	128,5	10	1,5	1,4	2	1	1	1	4	1	1	2	4
199	125,8	127,2	10	1,5	1,4	2	1	1	1	4	1	1	2	4
200	124,5	126,7	10	1,5	1,4	2	1	1	1	4	1	1	2	4
201	125,9	127,8	10	1,5	1,4	2	1	1	1	4	1	1	2	4
202	122,0	122,2	10	2,5	1,4	2	1	1	1	4	1	1	2	4
203	123,5	125,8	10	2,5	1,4	2	1	1	1	4	1	1	2	4
204	126,4	127,1	10	2,5	1,4	2	1	1	1	2	1	1	2	4
205	121,1	122,0	10	2,5	1,4	2	1	1	1	4	1	1	2	4
206	128,7	129,1	17,5	1,5	2,5	2	2	1	2	4	1	1	2	4
207	120,2	121,7	17,5	1,5	2,5	2	2	1	2	4	1	1	2	4
208	127,4	128,1	17,5	1,5	2,5	2	2	1	2	4	1	1	2	4
209	120,4	121,2	17,5	1,5	2,5	2	2	1	2	4	1	1	2	4
210	124,6	126,3	17,5	2,5	2,5	2	2	1	2	4	1	1	2	4
211	119,0	119,4	17,5	2,5	2,5	2	2	1	2	4	1	1	2	4
212	125,9	126,6	17,5	2,5	2,5	2	2	1	2	4	1	1	2	4
213	126,0	127,5	17,5	2,5	2,5	2	2	1	2	4	1	1	2	4
214	128,6	129,9	10	1,5	1,2	2	1	1	1	4	6	2	2	4
215	127,8	128,7	10	1,5	1,2	2	1	1	1	4	6	2	2	4
216	127,9	128,3	10	1,5	1,2	2	1	1	1	4	6	2	2	4
217	126,0	128,0	10	1,5	1,2	2	1	1	1	4	6	2	2	4
218	125,6	126,8	10	2,5	1,2	2	1	1	1	4	6	2	2	4
219	124,9	126,3	10	2,5	1,2	2	1	1	1	4	6	2	2	4

220	126,5	127,5	10	2,5	1,2	2	1	1	1	4	6	2	2	4
221	124,1	124,8	10	2,5	1,2	2	1	1	1	4	6	2	2	4
222	127,7	129,9	17,5	1,5	2,1	2	2	1	2	4	6	2	2	4
223	128,1	129,3	17,5	1,5	2,1	2	2	1	2	4	6	2	2	4
224	123,4	124,0	17,5	1,5	2,1	2	2	1	2	4	6	2	2	4
225	125,8	128,8	17,5	1,5	2,1	2	2	1	2	4	6	2	2	4
226	122,2	122,7	17,5	2,5	2,1	2	2	1	2	4	6	2	2	4
227	124,5	127,0	17,5	2,5	2,1	2	2	1	2	4	6	2	2	4
228	124,9	126,8	17,5	2,5	2,1	2	2	1	2	4	6	2	2	4
229	121,5	122,6	17,5	2,5	2,1	2	2	1	2	4	6	2	2	4

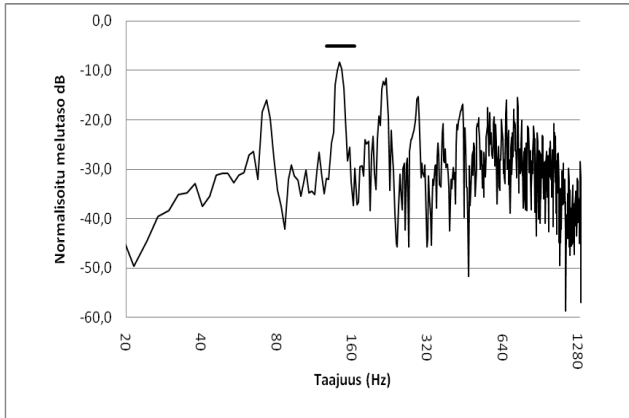
## 2 KAPEAKAISTAISUUS-ANALYYSIT



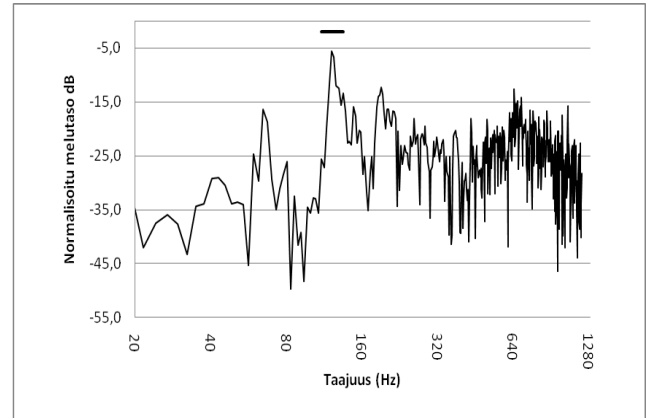
**Kuva 1:** 4-tahti, MX B-luokka, äänekset 183 ja 229 hertsin kohdalla,  $K_T$  6 dB, mittausetäisyys rataan 400 m.



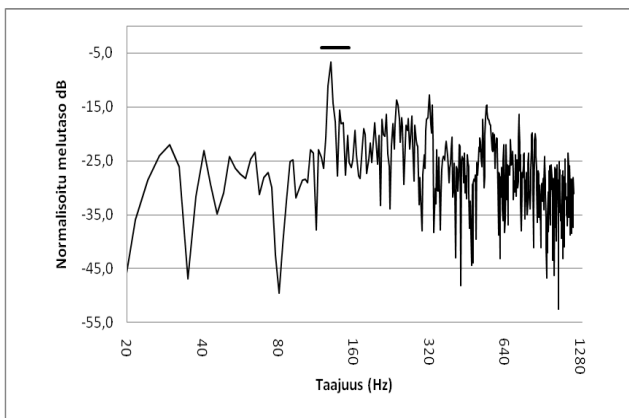
**Kuva 2:** 4-tahti, MX B-luokka, äänekset 180 ja 269 hertsin kohdalla,  $K_T$  5 dB, mittausetäisyys rataan 400 m.



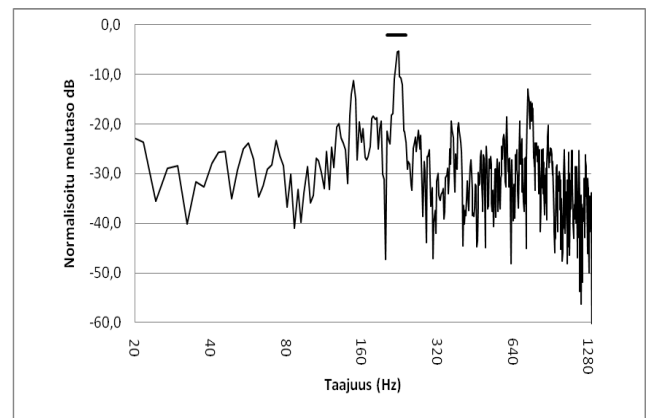
**Kuva 3:** 4-tahti, MX V-luokka, äänes 143 hertsin kohdalla,  $K_T$  5 dB, mittausetäisyys rataan 400 m.



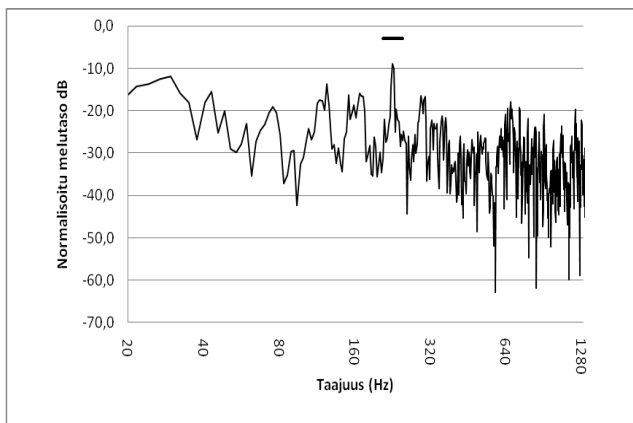
**Kuva 4:** 4-tahti, MX V-luokka, äänes 121 hertsin kohdalla,  $K_T$  4 dB, mittausetäisyys rataan 400 m.



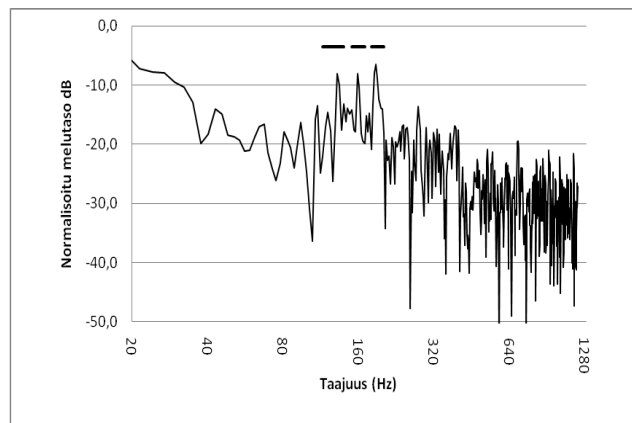
**Kuva 5:** 4-tahti, MX V-luokka, äänes 129 hertsin kohdalla,  $K_T$  4 dB, mittausetäisyys rataan 400 m.



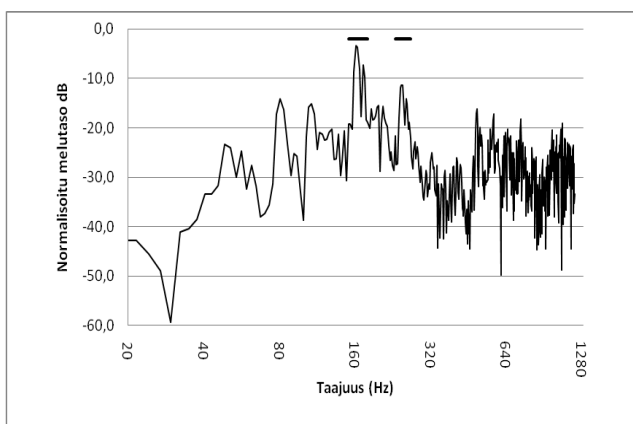
**Kuva 6:** 2-tahti, MX V-luokka, äänes 223 hertsin kohdalla,  $K_T$  3 dB, mittausetäisyys rataan 400 m.



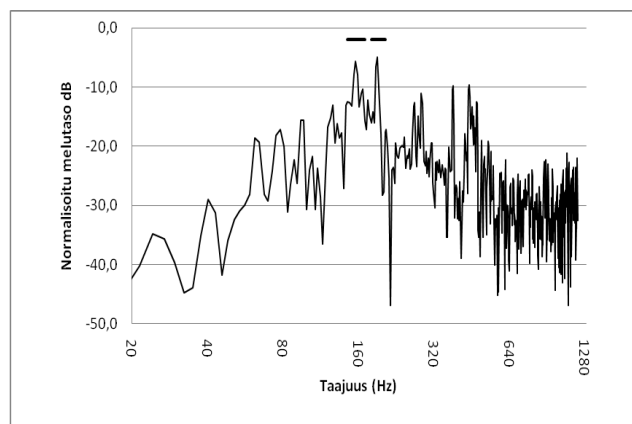
**Kuva 7:** 4-tahti, MX V-luokka, äänes 226 hertsin kohdalla,  $K_T$  3 dB, mittausetäisyys rataan 400 m.



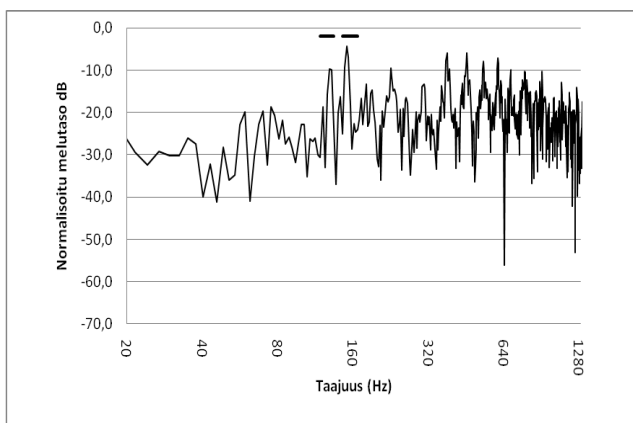
**Kuva 8:** 4-tahti, MX B-luokka, äänekset 132, 159 ja 188 hertsin kohdalla,  $K_T$  3 dB, mittausetäisyys rataan 400 m.



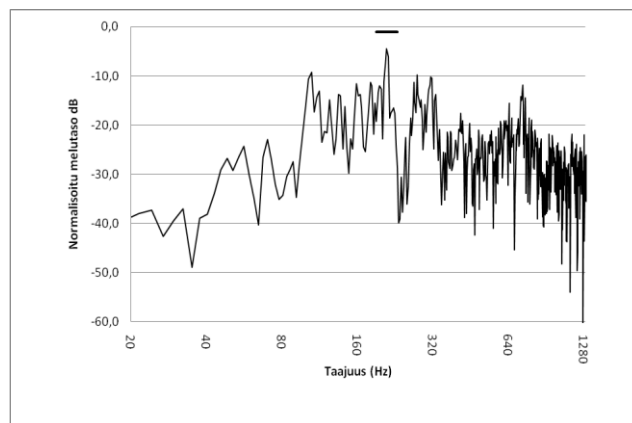
**Kuva 9:** 4-tahti, MX V-luokka, äänekset 161 ja 245 hertsin kohdalla,  $K_T$  3 dB, mittausetäisyys rataan 400 m.



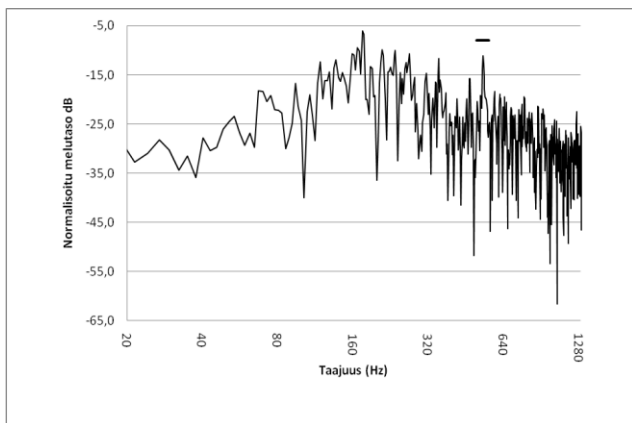
**Kuva 10:** 4-tahti, MX B-luokka, äänekset 156 ja 191 hertsin kohdalla,  $K_T$  3 dB, mittausetäisyys rataan 400 m.



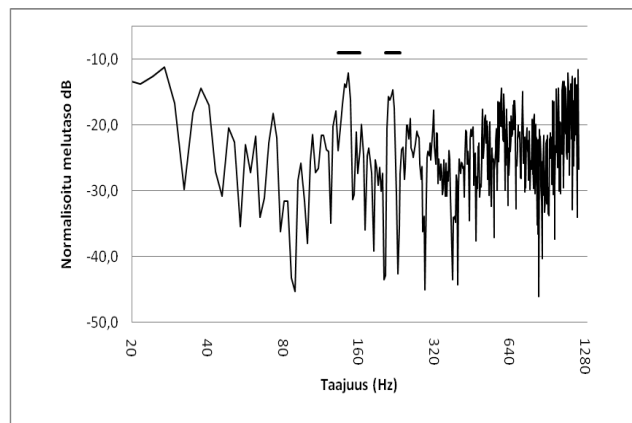
**Kuva 11:** 4-tahti, MX V-luokka, äänekset 129 ja 151 hertsin kohdalla,  $K_T$  2 dB, mittausetäisyys rataan 400 m.



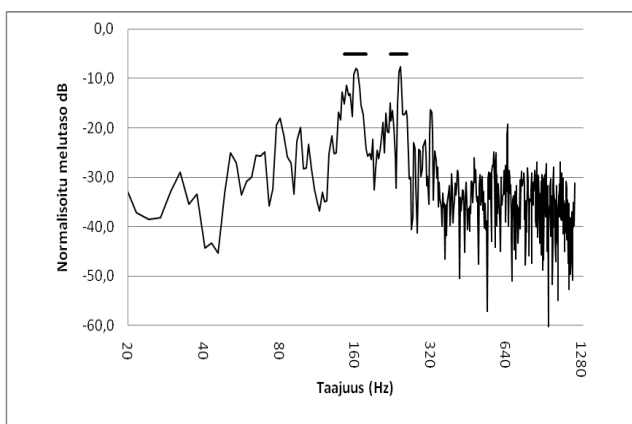
**Kuva 12:** 4-tahti, MX B-luokka, äänes 210 hertsin kohdalla,  $K_T$  2 dB, mittausetäisyys rataan 400 m.



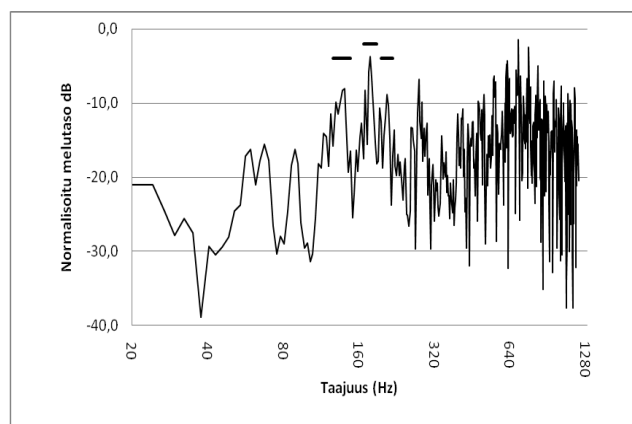
**Kuva 13:** 2-tahti, MX B-luokka, äänes 530 hertsin kohdalla,  $K_T$  2 dB, mittausetäisyys rataan 400 m.



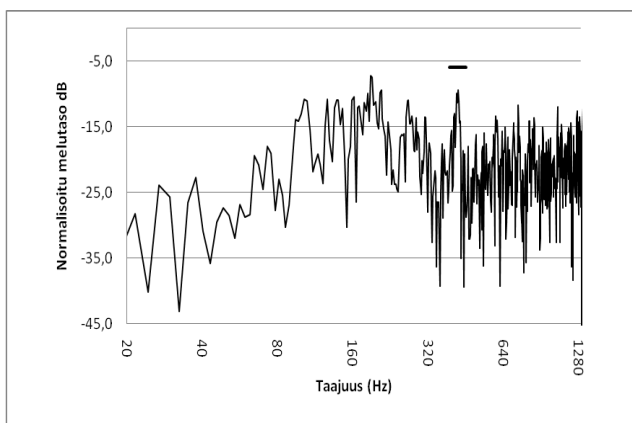
**Kuva 14:** 4-tahti, MX V-luokka, äänekset 145 ja 218 hertsin kohdalla,  $K_T$  2 dB, mittausetäisyys rataan 400 m.



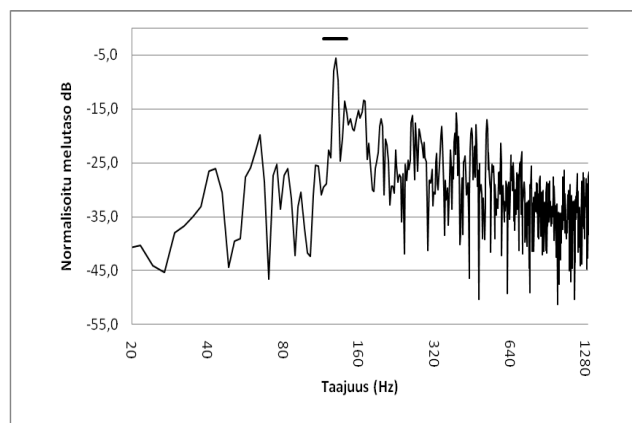
**Kuva 15:** 4-tahti, MX V-luokka, äänekset 161 ja 242 hertsin kohdalla,  $K_T$  1 dB, mittausetäisyys rataan 400 m.



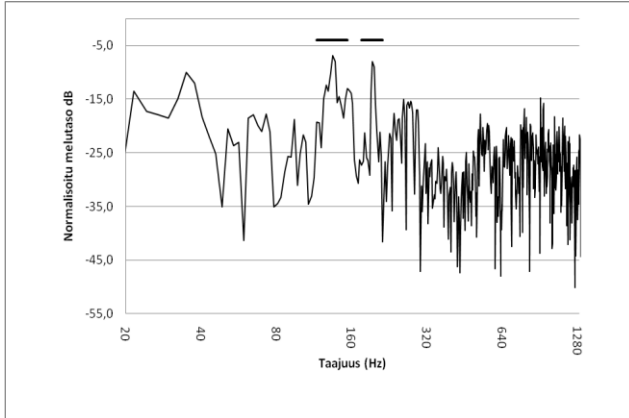
**Kuva 16:** 4-tahti, MX B-luokka, äänekset 137, 178 ja 207 hertsin kohdalla,  $K_T$  1 dB, mittausetäisyys rataan 400 m.



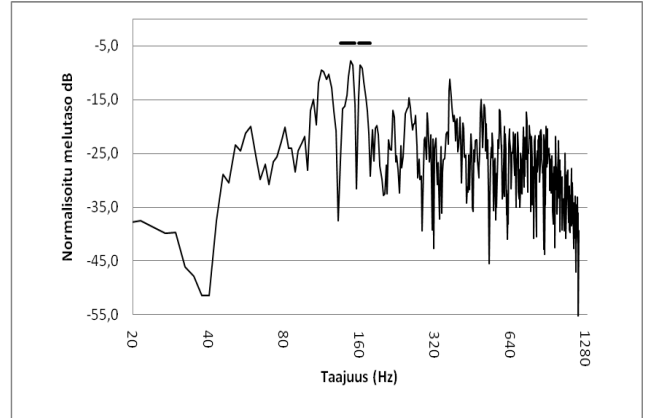
**Kuva 17:** 4-tahti, MX B-luokka, äänes 420 hertsin kohdalla,  $K_T$  0 dB, mittausetäisyys rataan 400 m.



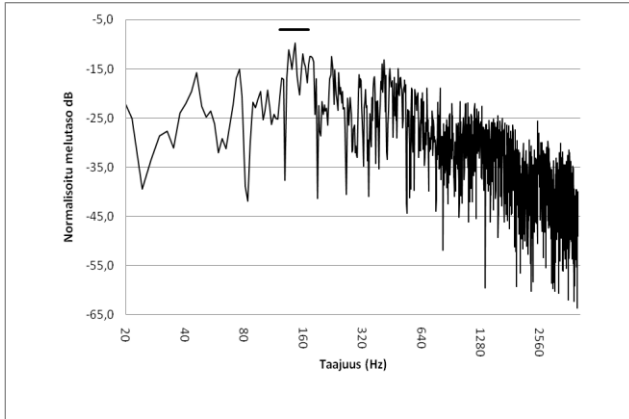
**Kuva 18:** 4-tahti, MX V-luokka, äänes 129 hertsin kohdalla,  $K_T$  0 dB, mittausetäisyys rataan 400 m.



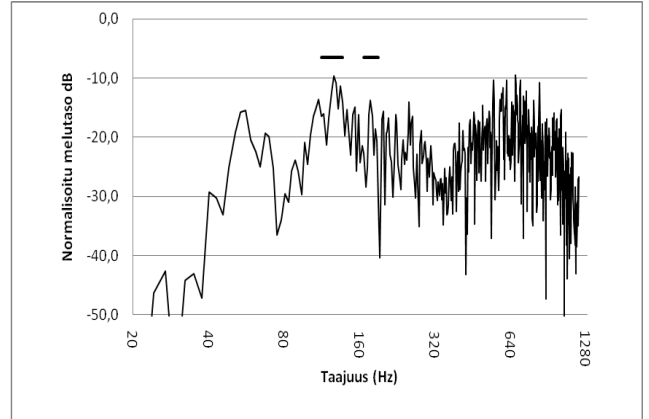
**Kuva 19:** 2-tahti, MX B-luokka, äänekset 135 ja 194 kohdalla,  $K_T$  0 dB, mittausetäisyys rataan 400 m.



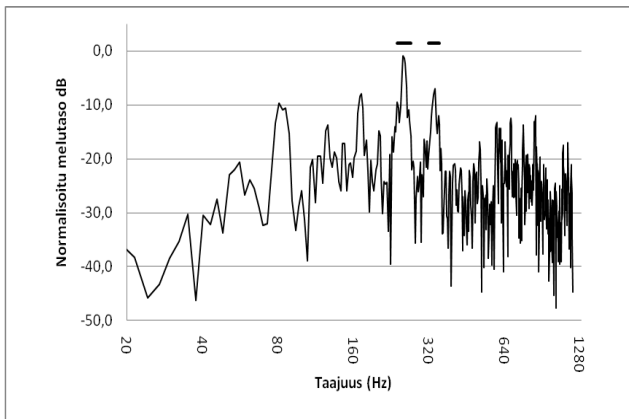
**Kuva 20:** 2-tahti, MX B-luokka, äänekset 148 ja 164 hertsin kohdalla,  $K_T$  0 dB, mittausetäisyys rataan 400 m.



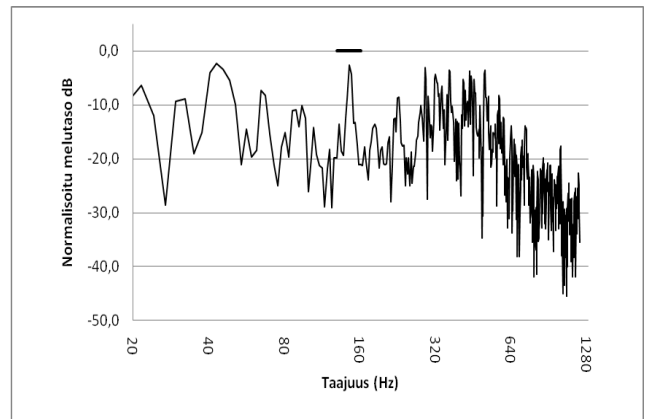
**Kuva 21:** 4-tahti, MX B-luokka, äänes 145 hertsin kohdalla,  $K_T$  0 dB, mittausetäisyys rataan 400 m.



**Kuva 22:** 4-tahti, MX B-luokka, äänekset 127 ja 178 hertsin kohdalla,  $K_T$  0 dB, mittausetäisyys rataan 400 m.

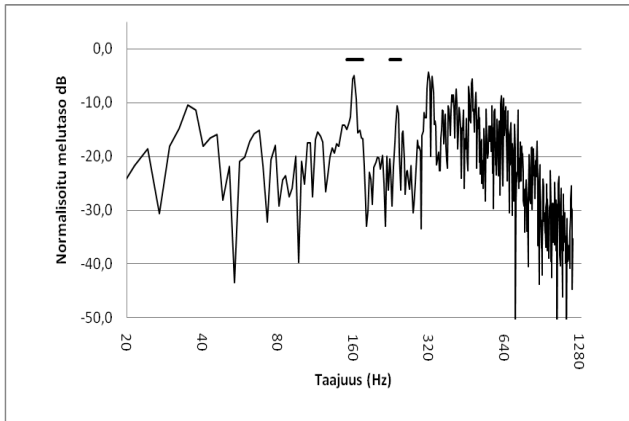


**Kuva 23:** 4-tahti, MX V-luokka, äänekset 253 ja 339 hertsin kohdalla,  $K_T$  6 dB, mittausetäisyys rataan 700 m.

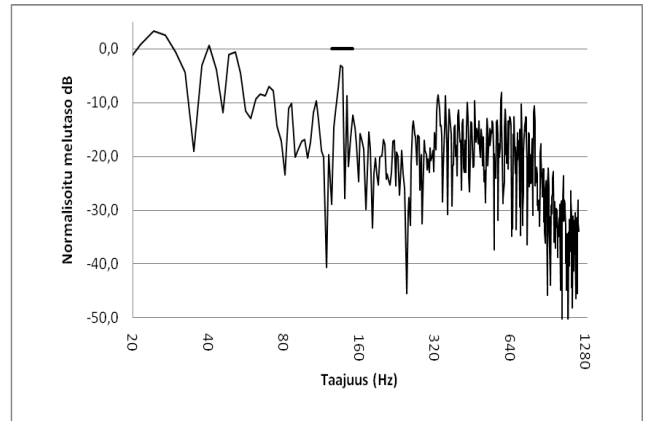


**Kuva 24:** 4-tahti, MX B-luokka, äänes 145 hertsin kohdalla,  $K_T$  3 dB, mittausetäisyys rataan 700 m.

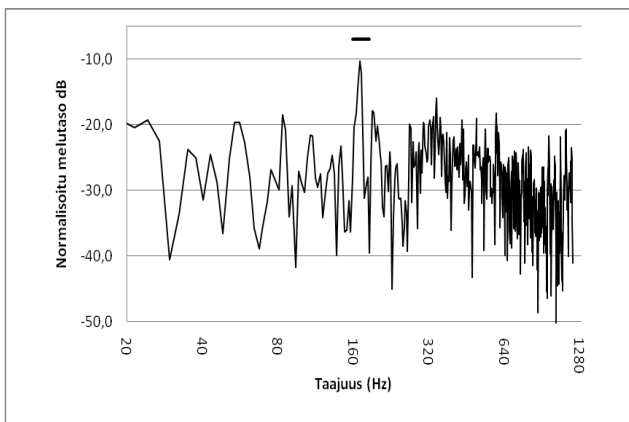




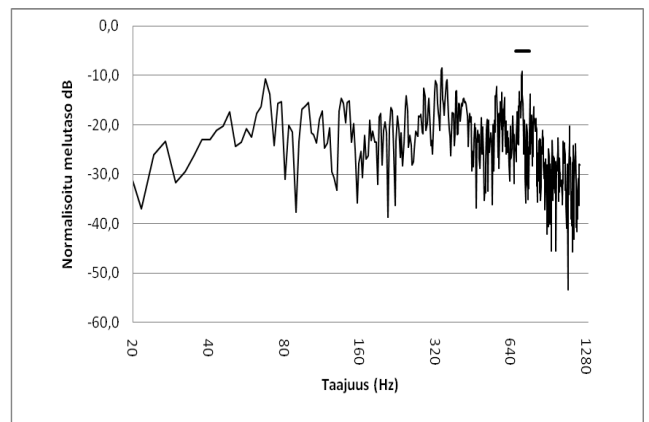
**Kuva 25:** 4-tahti, MX B-luokka, äänekset 161 ja 240 hertsin kohdalla,  $K_T$  3 dB, mittausetäisyys rataan 700 m.



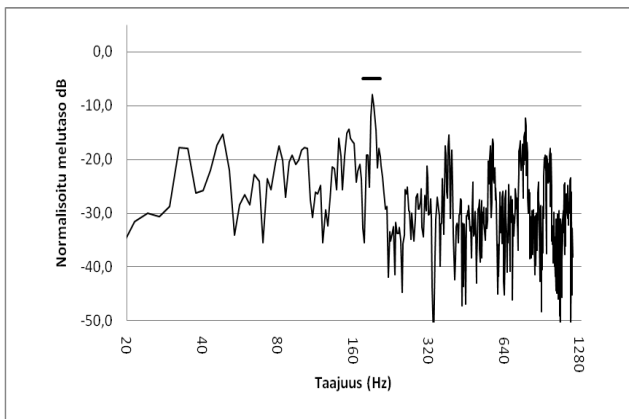
**Kuva 26:** 4-tahti, MX B-luokka, äänes 135 hertsin kohdalla,  $K_T$  3 dB, mittausetäisyys rataan 700 m.



**Kuva 27:** 4-tahti, MX V-luokka, äänes 170 hertsin kohdalla,  $K_T$  2 dB, mittausetäisyys rataan 700 m.



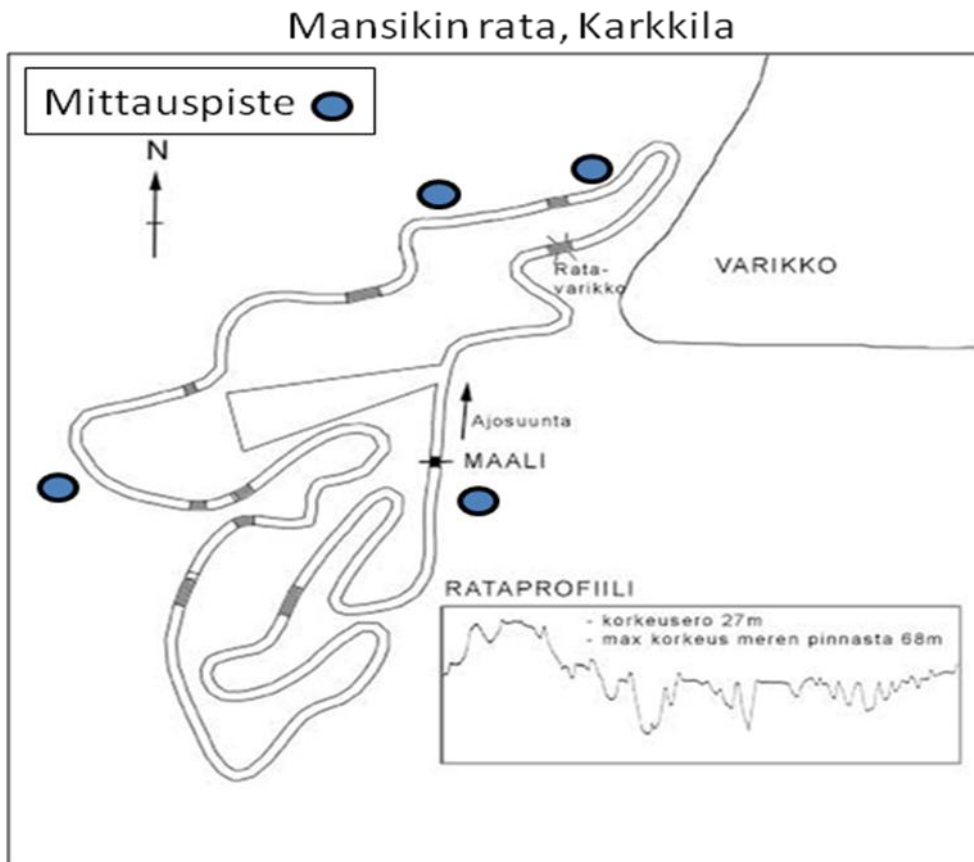
**Kuva 28:** 4-tahti, MX B-luokka, äänes 708 hertsin kohdalla,  $K_T$  1 dB, mittausetäisyys rataan 700 m.



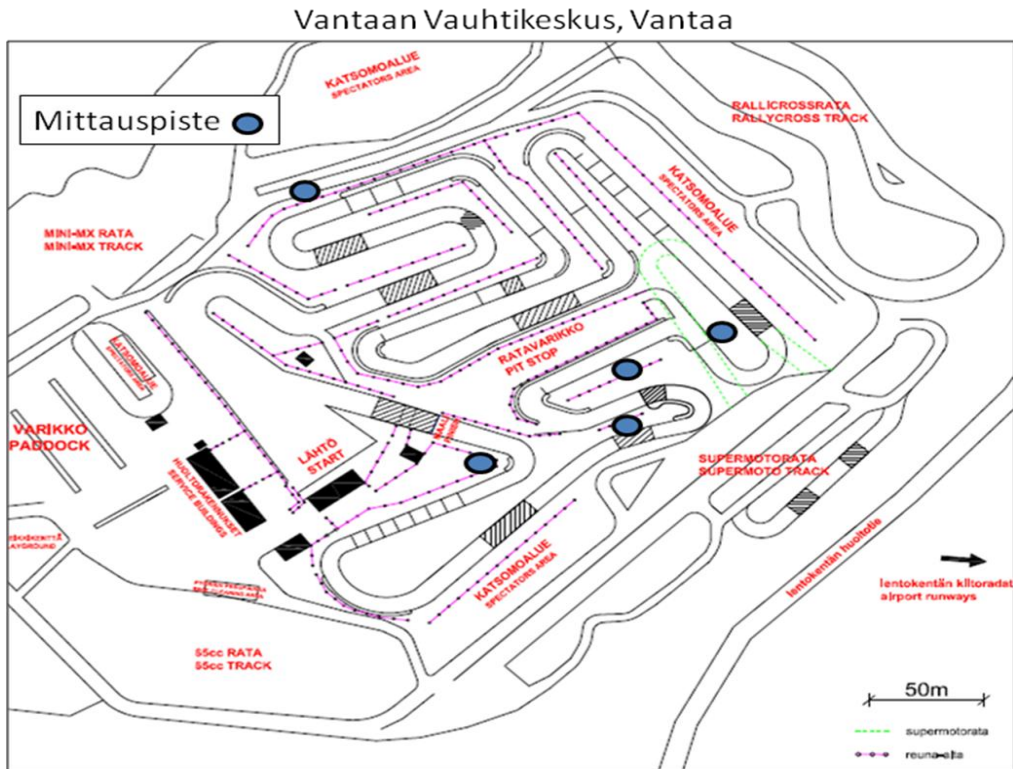
**Kuva 29:** 2-tahti, MX B-luokka, äänes 191 hertsin kohdalla,  $K_T$  0 dB, mittausetäisyys rataan 700 m.

### 3 RATAKARTTAKUVAT

Kuva poistettu sähköisestä versiosta. Alkuperäinen kuva kansitetussa painoksessa Itä-Suomen yliopiston, Kuopion kampuksen kirjastossa.



**Kuva 2:** Karkkilan Mansikin rata.



**Kuva 3:** Vantaan Vauhtikeskuksen rata-alue.

Kuva poistettu sähköisestä versiosta. Alkuperäinen kuva kansitetussa painoksessa Itä-Suomen yliopiston, Kuopion kampuksen kirjastossa.

**Kuva 4:** Hyvinkään motocross-rata.