

16ENN0126.10.Q860-002
17.1.2012



INKOON KUNTA

Barösundin tuulivoimalan meluselvitys

Yhteystiedot:

Pöyry Finland Oy Energia
Carlo Di Napoli
Tehokkuus- ja mittauspalvelut
PL 2 (Tekniikantie 4 D)
02151 Espoo
Kotipaikka Espoo
Y-tunnus 0625905-6
Puh. 010 3311
Faksi 010 33 24981
www.poyry.fi

Asiakkaan yhteystiedot:

Patrik Skult
miljöchef / ympäristöpäällikkö
Ingå kommun, Inkoon kunta, PB 6, FI-10211 Ingå, Finland
09-295151, fax 09-29515355
Siuntion kunta, Sjundeå kommun, Krouvintie 1, FI-02580 Siuntio, Finland
09-260611, fax 09-2562389

Copyright © Pöyry Finland Oy

Kaikki oikeudet pidätetään Tätä asiakirjaa tai osaa siitä ei saa kopioida tai jäljentää missään muodossa ilman Pöyry Finland Oy:n antamaa kirjallista lupaa.

Yhteenveto

Pöyry Finland Oy Energia suoritti tuulivoimalan melumittaukset Inkoon Barösundissa syyskuun-marraskuun 2011 välisenä aikana. Mittausta edeltävässä mittaussuunnitelmassa (16ENN0126.10.Q860-001) selostettiin yleiset puitteet mittausten tekoon. Melumittauksissa mitattiin kolmena eri mittauskertana (sekä tutustumiskäynnillä) voimalan äänitehotasoa standardin IEC 61400-11 mukaisella melumittausjärjestelyllä (äänitason osalta standardin mukainen kalusto) ja immissiopisteessä ohjeen YM 1/1995 mukaisesti sovelletuin osin (ohjetta ei voi täysin noudattaa tuulivoimamelumittauksissa).

Melumittausten perusteella tuulivoimalan immissiopisteessä P1 aiheuttama melu oli paikoin voimalan ympäristölupaehtojen melun raja-arvojen yläpuolella, erityisesti myötätuuliolosuhteissa kovemmillä tuulennopeuksilla. Melun havaittiin sisältävän tällöin voimakasta vaihteluvoimakkuutta (amplitudimodulaatio), havaittavaa pientaajuista melua, impulssimaisuutta sekä melun kapeakaistaisuutta.

Osa meluemission melun luonteesta havaittiin esiintyvän vain erityisesti myötätuuliolosuhteissa (kapeakaistaisuus, impulssimaisuus). Tyypillisesti myötätuuliolosuhteeksi katsotaan tilanteen, jotka ovat $\pm 45^\circ$ suoran myötätuulisuunnan molemmin puolin. Alueen topografian vuoksi, etelän-, kaakkois- ja idänpuoleiset ilmavirtaukset voivat aiheuttaa merkittävimmän meluhaitan immissiopisteessä.

Melun häiritsevyyslaskennan perusteella voimalan äänen vaihteluvoimakkuus kasvaa merkittävästi, kun ylitetään 19 r.p.m:n roottorin kierrosnopeus. Tällöin kasvaa myös riski impulssimaiselle äänelle myötätuuliolosuhteissa. Näissä olosuhteissa havaittiin myös voimakasta ja selkeästi korvakuulolla erottuvaa melun kapeakaistaisuutta.

Sisältö**Yhteenveto**

1	YLEISTÄ	<u>3</u>
2	MELUMITTAUSMENETELMÄT JA –LAITTEET	<u>3</u>
2.1	Mittalaitteet	<u>3</u>
2.1.1	Äänitehotasomittaukset L _w	<u>3</u>
2.1.2	Immissiomittaus	<u>4</u>
2.2	Melun häiritsevyystekijät	<u>4</u>
2.2.1	Melun impulssimaisuus	<u>5</u>
2.2.2	Melun kapeakaistaisuus	<u>5</u>
2.2.3	Melun amplitudimodulaatio	<u>5</u>
3	MELUMITTAUSTULOKSET	<u>6</u>
3.1	Tutustuminen	<u>6</u>
3.2	Äänitehotasomittaukset	<u>7</u>
3.3	Immissiopisteen mittaustulokset	<u>8</u>
3.3.1	1.mittaus, 2.10.2011	<u>8</u>
3.3.2	2.mittaukset	<u>10</u>
3.4	Yömelumittaus 17.-18.10.2011	<u>10</u>
3.5	Päivämelumittaus 18.10.2011	<u>11</u>
3.5.1	3.mittaus 14.11.2011	<u>11</u>
3.5.2	Melun aistinvarainen havainnointi	<u>12</u>
3.6	Vertaaminen ympäristöluvan raja-arvoihin	<u>12</u>
3.7	Melun häiritsevyyslaskenta	<u>13</u>
3.8	Vuonna 2006 tehdyn mittauksen tulosten analysointi	<u>14</u>
4	MELUMALLINNUS	<u>15</u>
5	POHDINTAA	<u>17</u>
6	YHTEENVETO	<u>18</u>
	KIRJALLISUUSVIITTEET	<u>20</u>

Liitteet

Liite 1	Mittausten ja mallinnusten kartta-alue
Liite 2	Äänitehotasomittausten tuloksia
Liite 3	1.mittaukset tuloksia
Liite 4	2.mittauksen tuloksia, yömittaus

Liite 5	2.mittauksen tuloksia, päivämittaus
Liite 6	3.mittauksen tuloksia
Liite 7	Melumallinnuskartat
Liite 8	Valokuvat
Liite 9	Kalibrointitodistukset

Lyhenteet

L_{Aeq}	A-taajuuspainotettu ekvivalenttinen äänitaso [dB]
L_{WA}	A-taajuuspainotettu äänilähteen äänitehotaso [dB]
L_{AFmax}	A-taajuuspainotettu äänenpaineen maksimitaso mittauksen aikana F-aikapainotuksella [dB]
L_{AFmin}	A-taajuuspainotettu äänenpaineen minimitaso mittauksen aikana F-aikapainotuksella [dB]
K_I	Impulssimaisen äänen haitallisuuskorjaus L_{Aeq} -tasoon ohjeen NT ACOU 112 mukaan [dB]
r	Voimalan navan etäisyys immissiopisteeseen [m]
LA tai L_pA	Äänenpaineen tulos [dB]
V_s	Tuulennopeus [m/s]
F	Melun vaihteluvoimakkuus (engl. fluctuation strength)
f	Melun taajuus [Hz]
f_m	Voimalan roottorin kierrosnopeus kolmisiipisellä koneella

1 YLEISTÄ

Inkoon Barösundissa pystytettiin vuonna 2004 kolme tuulivoimalaa, joista kaksi purettiin ennen ensimmäisen virallisen melumittauksen suorittamista vuonna 2006. Melumittauksen suoritti tällöin ruotsalainen Ingemansson Technology AB (raportti 12-01750-A) lähimmän mökin piha-alueen edessä lähellä rakennusta meren puolella.

Tuulivoimalan aiheuttamasta melusta on valitettu vuosien saatossa useasti Inkoon Ympäristölautakunnalle myös vuoden 2006 mittauksen jälkeen. Vuonna 2011 kunta hyväksyi tehtäväksi uudet mittaukset syksyllä 2011. Mittaukset suoritti Pöyry Finland Oy Energia.

Tässä mittausraportissa esitetään mittauks tulokset, jotka suoritettiin neljässä vaiheessa. Ensimmäinen mittaus oli kuitenkin vain tutustumiskäynti. Lisäksi tässä saatujen tulosten valossa käydään läpi vuoden 2006 mittausraportin tuloksia. Mittauksia edelsi mittaus suunnitelman (16ENN0126.10.Q860-001) teko, jossa selostettiin mittausten kulku, mittausmenetelmät ja mittauspisteet. Suunnitelma toimi suuntaa-antavana ohjeena ennen mittauksia.

Kolmella mittauskerralla tehtiin yhteensä kahdet yömelumittaukset ja kahdet päivämelumittaukset. Raportin tekstiosassa käydään läpi käytetyt mittausmenetelmät ja saadut mittauks tulokset. Pääosa graafisista tuloksista on koottu liitteisiin.

Inkoon ympäristölautakunta on vuonna 31.5.2002 myöntänyt ympäristöluvan (BESLUT 22.5.2002 § 3) tuulivoimatoiminnalle, jossa esitetään myös melua koskevat määräykset. Määräysten mukaan päivämelun klo 07-22 keskiäänitaso LAeq saa olla enintään 45 dB(A) ja yömelun keskiäänitaso klo 22-07 enintään 40 dB(A). Tuulivoimamelun mahdollisen häiritsevyyden vuoksi on lisäksi annettu määräys 4, jossa veloitetaan toiminnanharjoittajaa vähentämään voimalan käyntiääntä selvästi alle annettujen raja-arvojen, mikäli voimalan melusta valitetaan ja voimalan käyntiääni on lähellä annettuja raja-arvoja.

2 MELUMITTAUSMENETELMÄT JA –LAITTEET

2.1 Mittalaitteet

Ohessa annetaan listaus mittaus hankkeessa käytetyistä mittalaitteista.

2.1.1 Äänitehotasomittaukset Lw

- Äänenpainetason ja äänispektrin tallennus: integroiva äänitasomittari B&K 2260i, jossa A-, C- ja L- taajuuspainotus ja F ja S aikapainotukset, tarkkuusluokkana 1 siten kuten on määritelty standardeissa IEC 651, 60651 tai 61672.
- Mikrofonin jatkojohto, 3m (B&K)
- 16 bittinen (44 kHz) A/D muunnin, Olympus LS-10 ja liitinjohto (B&K), suora taajuusvaste

- Tuulisuoja: Reinhard kupumallinen karvatuulisuoja , ks./1/
- Mikrofonin referenssipinta: 16mm paksu pyöreä pinnoitettu vanerilevy, pinta-ala 1 m², ks./2/
- Äänitasokalibraattorit: 124 dB@250 Hz, luokka 0. ja 94 dB@1kHz, luokka 1.
- Äänitasokalibraattorin ilmanpainepainemittari (B&K)
- Ympäristön tilapisteet: T [°C], p (hPa), RH [%], Ws [m/s], Dir [°] omista mittauksista sekä alueen mittausverkosta (lähde: FMI)
- Signaalinkäsittelyohjelma Famos 6.0
- Spektrogrammiohjelma (Spectrum Player)

2.1.2 Immissiomittaus

- Äänenpainetason tallennus: integroiva äänitasomittari B&K 2238, jossa A- ja L - taajuuspainotus ja F aikapainotus, tarkkuusluokkana 1 siten kuten on määritelty standardeissa IEC 651, 60651 tai 61672.
- Mikrofonin jatkojohto, 3m (B&K) ja tripodi
- 16 bittinen (44 kHz) A/D muunnin (äänitallennin Olympus LS-11) ja liitinjohto (B&K)
- Tuulisuoja: 90mm (B&K)
- Äänitasokalibraattorit: 124 dB@250 Hz, luokka 1. ja 94 dB@1kHz, luokka 1.
- Äänitasokalibraattorin ilmanpainepainemittari (B&K)
- Ympäristön tilapisteet: T [°C], p (hPa), RH [%], Ws [m/s], Dir [°] omista mittauksista sekä alueen mittausverkosta (lähde: FMI)
- Signaalinkäsittelyohjelma Famos 6.0 (IMC dataworks LLC)
- Spektrogrammiohjelma (Spectrum Player)
- Digitaalikamera (Panasonic Lumix)

2.2 Melun häiritsevyystekijät

Melun häiritsevyystekijöitä arvioidaan pohjoismaissa käytössä olevien melumittausohjeiden mukaisesti objektiivisin menetelmin (viimeisin annettu 05/2002). Amplitudimodulaation tasoa on arvioitu informatiivisesti siihen soveltuvalla funktiolla.

2.2.1 Melun impulssimaisuus

Immissiopisteen melun impulssimaisuuden todentamisessa ja portaattoman impulssimaisuuskorjauksen arvioinnissa käytetään yleisesti pohjoismaissa käytössä olevaa objektiivista menetelmää Nordtest NT Acou 112. /3/ Menetelmä on monivaiheinen ja melulähteestä riippumaton. Alla lyhyt tiivistelmä:

- Vähintään 30 minuutin näytteenotosta (F-aikavakio) valitaan suurimmat mahdolliset piikit
- Piikin äänitason 'nousunopeuden' OR (dB/s) on ylitettävä 10 dB/s raja, kunnes saavutetaan raja jossa nousunopeus on jälleen < 10 dB/s
- Tästä lasketaan dimensioton 'havaittavuusarvo' $P = 2 \cdot \lg(LD) + 3 \cdot \lg(OR)$, missä LD on äänitason vaihteluväli (dB) ja OR äänitason nousunopeus (dB/s)
- Mikäli P arvo > 5, voidaan laskentaa jatkaa häiritsevyyskorjauksen K_I laskentaan
- L_{Aeq} tulosta korjaava häiritsevyyskorjaus K_I (dB) laskentaan seuraavasti: $K_I = 1.8 \cdot (P - 5)$, mikäli $P > 5$, muutoin $K_I = 0$ dB
- Koska pohjoismaissa on yleisesti voimassa impulssimaiselle äänelle + 5 dB:n yhden tason korjaus eikä portaattonta korjausmenetelmää, suosittaa ohje että +5 dB:n korjausta tehdään vasta kun $K_I > 3$ dB
- Korjauksen arvioinnissa käytetään suurinta P arvon saanutta piikkiä

2.2.2 Melun kapeakaistaisuus

Melun kapeakaistaisuus arvioidaan melumittausohjeen 1/1995 mukaan terssikaistatasolla sekä 1/12 oktaavikaistoittain.

2.2.3 Melun amplitudimodulaatio

Siniaaltoisen äänen vaihteluvoimakkuuden häiritsevyyden estimointiin on kehitetty objektiivinen menetelmä, jossa parametreina ovat modulaatiotaajuus f_m (= siiven pyörimisnopeus, jolloin kolmisiipisellä horisontaalikoneella se on 1 Hz 20 r.p.m:n kierrosnopeudella), modulaatiokerroin m ja lineaarinen, painottamaton äänitaso L. /4/

$$F = \frac{5.8 \cdot (1.25 \cdot m - 0.25) \cdot (0.05 \cdot L - 1)}{\left(\frac{f_m}{5}\right)^2 + \left(\frac{4}{f_m}\right) + 1.5} \text{ vacil} \quad (1)$$

Äänen voidaan katsoa olevan moduloitunutta, kun vaihteluvoimakkuuden arvo $F > 0.2$ vacil. Arvo annetaan informatiivisena arvona ja kuvaajana kierrosnopeuden funktiona, koska sitä ei ole annettu ympäristöluvan äänitason raja-arvona. Melun vaihteluvoimakkuuden arvo kertoo kuitenkin, missä kohden tuulivoimalan kierrosnopeutta arvo F ylittää merkittäväksi amplitudimodulaatioksi laskettavan arvon 0.2 vacil immissiopisteessä. Funktion (1) mukaan voimalan kierrosnopeuden

lisääntyessä (f_m), äänitason vaihteluvoimakkuuden arvo saavutetaan pienemmällä vaihteluvälillä ($\max-\min$) arvolla (m).

3 MELUMITTAUSTULOKSET

3.1 Tutustuminen

Tutustumiskäynti mittauskohteisiin tehtiin 7.9.2011 aamupäivän ja päivän kuluessa. Käynnin aikana suoritettiin äänitehotasomittauksia ylä- ja alatuulen puolella IEC standardin etäisyydellä kappaleen 2.1.1. mittalaitteistolla sekä immissiopisteessä tontin sisäpuolella kohdassa jossa tie kääntyy voimakkaasti kohti tontin perällä sijaitsevaa asuntoa. Tutustumiskäynnin mukainen mittauspiste on merkitty liitteen 1 karttaan nimikkeellä P0. Se siis sijaitsee noin 70 metriä lähempänä tuulivoimalaa kuin varsinaisissa mittauksissa 1.-3. oleva piste P1 ja on tontin rajan sisäpuolella.

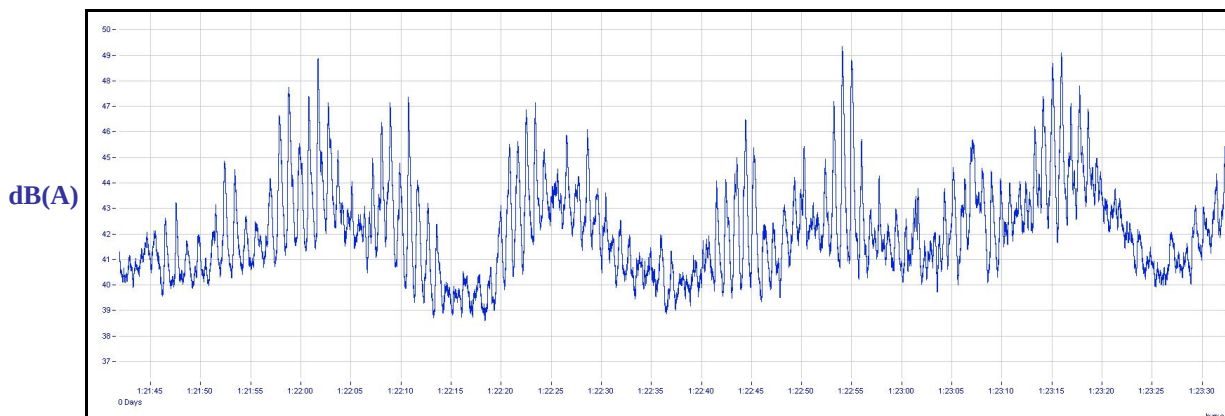
Sää oli mittausten aikana selkeä ja tuulisuustaso mittaussuunnitelman mukainen (> 9 m/s). FMI:n Bågaskärin mittausaseman mukaan keskimääräinen tuulennopeus oli mittausaikana noin 10-11 m/s, lämpötila 15-18°C ja ilmapainepaine 1007 – 997 hPa. Paineen alentuminen johtui sadealueen lähestymisestä, joka saapui alueelle illalla. Mittaukset lopetettiin ennen sateen alkua.

Äänitehotasomittauksissa havaittiin melun sisältävän melko selkeästi erottuvaa pientaajuista melua, jonka havaittiin olevan osin pulssimaista siiven pyörimisnopeuden mukaan. Todennäköinen lähde tälle pulssille on siiven ja tornin välinen virtaus sekä tulovirtauksen turbulenssi. Lisäksi havaittiin selkeä kapeakaistainen ujellus konehuoneesta.

Liitteessä 2 on esitetty äänitehotasomittauksessa mitattu äänenpainetaso IEC mittauksen mukaisella mittauslaudalla. Pääsääntöisesti äänenpainetaso on noin 55 dB(A):n tuntumassa. Maksimitaso käy 59,5 dB(A):ssä ja vastaavasti minimi 45 dB(A):ssä. Taustamelua ei mitattu, mutta arvioperusteisesti sen taso oli monin paikoin alhainen (noin 40-45 dB(A)) johtuen mittauspisteen sijainnista jyrkän kallioreunan jälkeen noin 15 metriä tornin perustuskorkeutta alempana (suora etäisyys tornin keskiosasta 100m). Vastaava äänitehotaso on siis noin 93 – 106 dB(A) (n. 48 dB:n laskennallinen lisäys, ks. /2/) ja se on laskettu kierrosnopeuden funktiona liitteessä 2.

Tuulivoimalasta emittoituva melu oli voimakkaasti amplitudimoduloitua pisteessä P0. Modulaation taso vaihteli voimakkaasti ja sen havaittiin olevan toisinaan kehittyvä tai toisinaan pysyvä.

Kuva 1. Immissiopisteen P0 melun amplitudimodulaatio

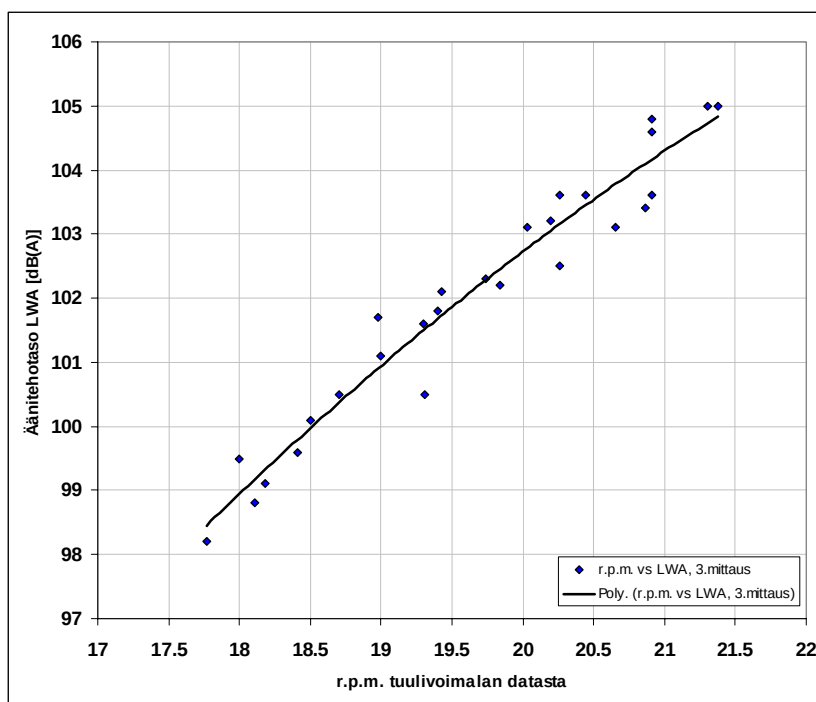


3.2 Äänitehotasomittaukset

Tuulivoimalan äänitehotasomittauksia (L_W) suoritettiin IEC 61400-11 standardin mukaisella etäisyydellä ($100\text{m} \pm 5\text{m}$) standardin vaatiman pyöreän ja 16mm paksun referenssimittauslaudan (1m^2) kanssa, jonka päälle tuulisuojattu mikrofoni oli asetettu vaakasuuntaan. Mittauksia suoritettiin jokaisella mittaukskerralla 10s lokkausaikavälillä ja 1/3 terssikaistatallennuksella sekä jatkuvalla äänitallennuksella (16bit, 44 kHz).

Äänitehotasomittausten tulokset on esitetty liitteen 2. kuvaajissa, joissa ohessa yhteenveto äänitehotason kehittymisestä roottorin kierrosnopeuden mukaan. Voimalan omistajalta pyydettiin tuulisuus-, tehotaso- ja kierrosnopeustietoja voimalan tiedonkeruujärjestelmästä ennen kutakin mittaukskertaa, mutta vain 3.mittaukseen aikaiset tiedot saatiin minuutin keskiarvoina taulukkomuodossa koko viikon osalta.

Kuva 2. Äänitehotasomittauksen tuloksia roottorin kierrosnopeuden funktiona, L_{WA}



Mittausten perusteella 103 dB(A) äänitehotaso saavutetaan noin 20 r.p.m:n kierrosnopeudella jatkaen kasvuaan aina 106 dB(A):iin asti (ks. kuva 2 sekä liite 2). Lisäksi vuonna 2010 suoritettut tieteelliset mittaukset ruotsissa osoittivat, että E66 voimalan äänitehotaso voi nousta standardin referenssipisteen 8m/s 10 metrin korkeudella tyyppimittauskokeen tuloksen 103 dB(A) yläpuolelle ainakin 105 dB(A):iin asti (liite 2, kuva 12).

Näissä lasketuissa äänitehotason tuloksissa ei ole huomioitu taustamelua, joka 2.mittauksen voimalapysäytyksen ja puuskaisen tuulen aikana havaittiin olevan noin 45 dB(A). Koska 103 dB(A) äänitehotaso saavutetaan noin 55 dB(A):n äänenpainetasolla, on taustamelun vaikutus vähäinen tämän sekä sen ylittävien äänitehotasojen osalta.

Voimalan äänitehotason taajuusjakauma vastaa melko hyvin tyyppikoetestin tuloksia, joskin tyyppikokeessa melun kapeakaistaisuus oli 1/3 oktaavikaistatulosten perusteella vieläkin voimakkaampaa. Tässä äänitehotasomittauksessa havaittiin voimakasta pientaajuista melua (25 Hz), melun kapeakaistaisuutta sekä amplitudimodulaatiota aina LD = 6 dB asti.

Tuuli oli voimakkaan puuskainen, mikä muutti merkittävästi pyörimisnopeutta varsin lyhyessä ajassa (esim. liitteen 2 kuvat 2. ja 4.). Voimalan tallentama minuutin keskiarvotuulisuus ei reagoi riittävän nopeasti muutoksiin ja se on varsin huono mittari tuulisuustiedoksi. Minuutin keskiarvosta ei voida enää lasketa tuulen turbulenssin intensiteettiä tai tuulen puuskaisuutta. Voimalan äänitehotasoa onkin arvioitu tässä selvityksessä vain kierrosnopeuden mukaan olettamalla lapakulman muuttumattomaksi. Sen sekä voimalan tehomittauksen oletetaan antavan tarkempia tuloksia tuulennopeudesta, kuin siiven takana sijaitsevan tuulennopeusmittarin, joka on hyvin altis siiven aiheuttamille pyörteille.

Laskennan perusteella v. 2002 mittausten tulokset olivat hyvin lähellä tämän kohteen tuloksia. Yli 1 dB:n ero syntyy vasta pienillä kierrosnopeuksilla, jossa taustamelun oletetaan vaikuttavan tuloksiin.

3.3 Immissiopisteen mittaustulokset

Immissiopiste P1 sijaitsi mökin kaakkoisosan ikkunallisesta seinästä noin 10 metrin päässä 1.6 metrin korkeudella avoimella piha-alueella. Mittari oli lokkaava äänitasomittari jatkuvalla CD-äänitason ääninauhoituksella (16bit, 44 kHz). Mittari oli varustettu tripodilla ja 3m:n jatkojohdolla sekä 90mm:n mittarivalmistajan omalla tuulisuojoilla (ks. liitteen 8 kuvat 1.-2.) Kunkin mittauksen alussa, keskeytysten jälkeen sekä mittausten lopussa suoritettiin äänitason kalibroinnit kahdella äänitasokalibraattorilla (ks. kappale 2.1.2). Mittauksia käytiin tarkastamassa päiväaikaan, mutta kaikki yöajan mittaukset olivat häiriöttömiä tarkastusten suhteen. Tarkastuskäyntien aiheuttamia melupiikkejä ei huomioida lopputuloksia määritettäessä.

3.3.1 1.mittaus, 2.10.2011

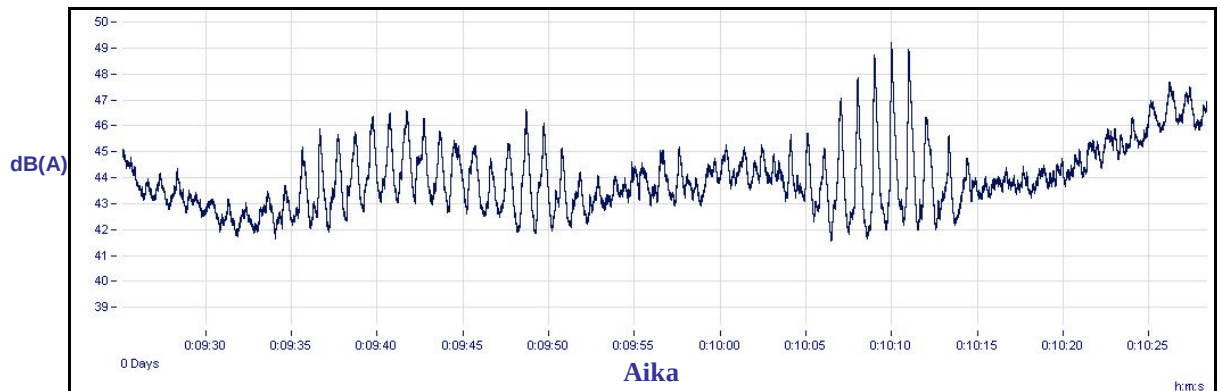
Immissiopisteen 1.mittaus aloitettiin 2.10.2011 klo 13.24 jatkuen samaan iltaan klo 19.55 asti. Alkuperäinen suunnitelma oli jatkaa melumittauksia myös yöaikaan, mutta Suomeen matkalla ollut sadealue oli voimistunut merkittävästi edellispäivien

ennusteista ja mittaukset lopetettiin juuri ennen sateen alkua, joka osoittautui varsin kovaksi tuoden mukaan myös hyvin puuskaisen tuulen.

Mittaustulokset ovat esitetty liitteessä 3. Ensimmäinen kuva esittää äänitasomittarin lokkausarvoja (L_{Aeq} , L_{AFmax} sekä L_{AFmin} 5s välein), laskettua liukuvaa keskiäänitason arvoa L_{Aeq} , liukuva sekä taustamelukorjattua liukuvaa L_{Aeq} -tasoa (kirkkaan sininen käyrä), joka perusteella määritellään mittaustulos L_{Aeq} klo 13:24-19:55. Liitteen 3 taulukossa 1 on esitetty mittausaikana vallinnut säätila, joista tuulisuustiedot ovat FMI:n Inkoon Bågaskärin sääasemalta ja muut tiedot alueen mittausverkosta sekä mittauspaikan äänitasokalibraattorin omasta painemittarista (B&K). Lisäksi liitteen 3. kuvissa 1.-6. on esitetty mittausaikana havaittu melun amplitudimodulaatio.

Modulaation impulssimaisuutta laskettiin koko mittausajan ja todettiin suurimmaksi arvoksi $K_I = +2.9$ dB, joka on jo hyvin lähellä impulssimaiseksi laskettua rajaa. Lisäksi melu oli paikoin kapeakaistaista, mutta vain hetkittäin tuulennopeuden ja puuskaisuusvaihteluiden vuoksi. Taustamelu on arvioitu mittaustulosten perusteella samansuuruiseksi kuin mittaustulos, jolloin vähennys on kokonaistuloksesta kaikkiaan - 3 dB. L_{AFmax} on äänitaso koko mittausajan korkeimman modulaatiopiikin aikana, ks. kuva 3.

Kuva 3. Melun amplitudimodulaatio immissiopisteessä P1



Yhteenvedo mittauksesta 1 on esitetty alla:

L_{Aeq} , kaikki	L_{AFmax}	Impulssimaisuus, K_I [dB]	Kapeakaistaisuus	Korjaus, [dB]	L_{Aeq} , korjattu
43 dB	49 dB	(max) + 2.9 dB	-	- 3 dB	40 dB

Mittaustulosten ja korjatun kokonaistuloksen perusteella tuulivoimamelun osuus on noin 40 dB(A) koko mittausaikana. Amplitudimodulaation taso oli kuitenkin paikoin varsin huomattava ($LD > 7$ dB) eli melu oli paikoin voimakkaasti amplitudimoduloitua, mutta ei vielä impulssimaista. Modulaatiota esiintyi läpi koko mittausajan vaihtelevilla voimakkuuksilla. Mittausajan tuulenopetus Bågaskärissä oli noin 8-10 m/s, mutta suunta sivumyötäinen (noin suuntaan 35°).

3.3.2 2.mittaukset

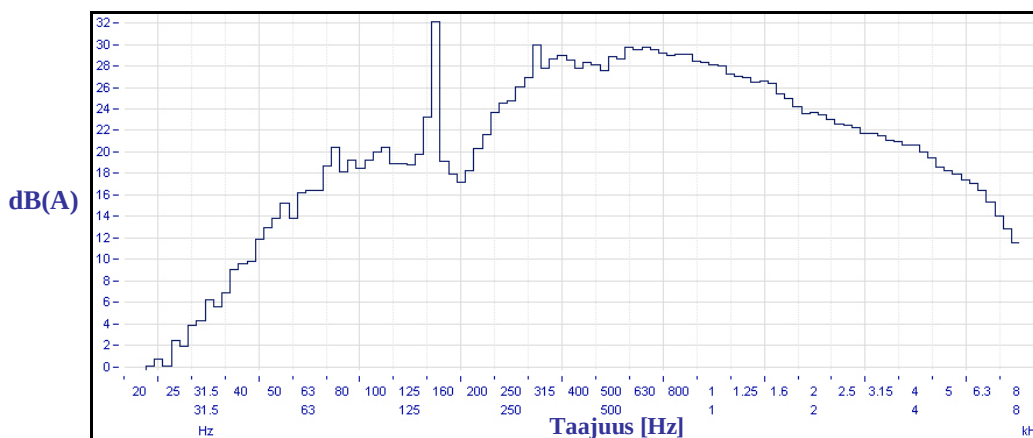
3.4 Yömelumittaus 17.-18.10.2011

Mittaukset aloitettiin iltapäivällä 17.10.2011 klo 16:31 samassa pisteessä kuin 1.mittaukset. Tuulensuunta on lännestä ja voimakkuudeltaan vaihteleva (n. 8 m/s, Bågaskär) ja puuskainen. Mittaukset keskeytettiin n. klo 19:00 ja data tarkastettiin ja havaittiin sen olevan tuulenpuuskien vuoksi osin käyttökelvoton, vaikka kalusto oli sama kuin 1.mittauksessa. Mittauspaikkaa siirrettiin vielä 7m etäämmäksi rakennuksen seinästä siihen kohtaan, jossa piha-kalusteet normaalisti sijaitsevat (ks. liite 8) Tässä kohdassa mittauksia jatkettiin koko yö sekä seuraava päivä. ja sen havaittiin olevan vähemmän altis suorille tuulenpuuskille mereltä, jotka osaltaan vaikuttavat mikrofonin toimintakykyyn.

Melu oli yömittauksissa selvästi amplitudimoduloitua sekä paikoin voimakkaasti kapeakaistaista (ks. liite 4). Ohessa kuva 4 melun kapeakaistaisuudesta 1/12 oktaavikaistalla, 20s ääninäyte. Melun amplitudimodulaatio oli voimakasta, mutta ei impulssimaista NT Acou 112 mukaan. Modulaatiota esiintyi koko yömittausten ajan myös niissä tapauksissa, joissa voimalan pyörimisnopeus oli alhaisempi tuulensunnan kääntymisen johdosta noin klo 2 yöllä.

Tyypikoeraportissa on tuotu esiin puute, joka liittyy erään konehuoneen tuuletuspuhaltimen toimintaan (/5/, sivu 6, Fan), joka ei ollut toiminnassa varsinaisen tyypikokeen aikana. Jos osoittautuu että kapeakaistainen melu on lähtöisin tästä tuulettimesta (tyypikokeen tekijä on vain luottanut voimalatoimittajan omaan tietoon), ovat tyypikokeen tulokset melun kapeakaistaisuuden osalta harhaanjohtavia nimellisteholla tai sitä lähellä olevilla tehotasoilla.

Kuva 4. Äänen kapeakaistasuutta immissiopisteessä P1



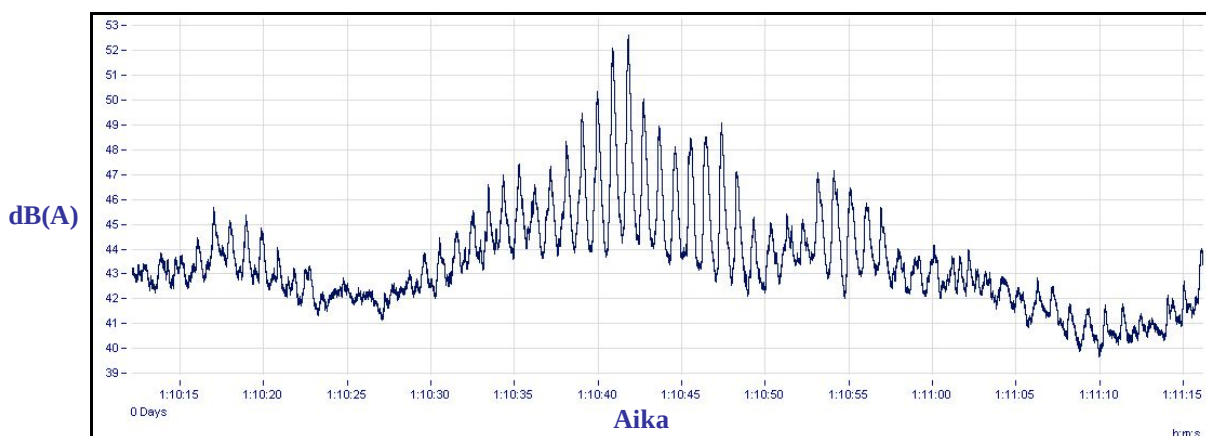
Mittausdatan avulla arvioitiin taustamelun taso yhtä suureksi kuin voimaloiden melun keskimäärin, jolloin vähennys on L_{Aeq} kokonaistuloksesta 3 dB. Melu oli kuitenkin kapeakaistaista taajuudella 140 Hz sekä paikoin voimakkaasti amplitudimoduloitua.

L_{Aeq} , kaikki	L_{AFmax}	Impulssimaisuus, KI [dB]	Kapeakaistaisuus	Korjaus, [dB]	L_{Aeq} , korjattu
43 dB	47 dB	(max)+ 2.9 dB	kyllä, + 5 dB	-3 dB + 5 dB	45 dB

3.5 Päivämelumittaus 18.10.2011

Yömittauksen jälkeen tehtiin laitekalibroinnit ja mittauksia jatkettiin samassa pisteessä klo 10:30 – 19:30. Tuulensuunta oli kääntynyt ja tuuli puhalsi nyt etelä-lounaasta (Bågaskär n. 9-11 m/s) ja oli siten myötäinen. Melua havainnointiin laitekalibrointien jälkeen aistinvaraisesti (ks. kappale 3.5.2) ennen päivämittausten aloittamista.

Kuva 5. Melun amplitudimodulaatio immissiopisteessä P1, ääninäytteet aika on kuvassa 1min



Mittautulosten analyysissä (ks. liitteen 5 tulokset) havaittiin melun olevan impulssimaista voimakkaan amplitudimodulaatiotilanteen aikana (esim. klo 18:18, $P = 7,28$ ja $KI = + 4,1$ dB). Melun impulssimaisuutta esiintyi koko päivämelun mittausaikana. Lisäksi melussa oli pientaajuisia komponentteja (n. 25 Hz) ja edelleen kapeakaistasuutta. Lisäksi spektrogrammikuvaaja (Liite 5, kuvat 10.-11.) paljastaa, että pulssimainen ääni esiintyy myös infraäänitason alueella. Taustamelukorjauksena on nyt käytetty suurempaa arvoa (-4 dB) tuulen puuskaisuudesta johtuen.

L_{Aeq} , kaikki	L_{AFmax}	Impulssimaisuus, KI [dB]	Kapeakaistasuus	Korjaus, [dB]	L_{Aeq} , korjattu
46 dB	53 dB	(max)+ 4.1 dB => impulssimaista, + 5 dB	kyllä (+ 5 dB)	-4 dB + 5 dB	47 dB

3.5.1 3.mittaus 14.11.2011

Immissiopisteen 3.mittaus suoritettiin samassa mittauspisteessä kuin 2.mittaus. Tuulensuunta oli nyt sivuvastainen tai vastainen (ylätuuli) ja voimakkuudeltaan ensimmäisiä mittauksia heikompi. Taivas oli selkeä ja yöllä ja aamulla 15.11. lämpötila laski pakkasen puolelle.

Mittauksessa saadun aineiston perusteella melu ei ollut voimakkuudeltaan enää samaa tasoa kuin 1.- ja 2.mittasten aikana, mutta siinä havaittiin edelleen amplitudimodulaatiota hyvinkin alhaisilla äänitasoilla (L_{Aeq} n. 29 dB, ks. liite 6 kuva 5).

Kapeakaistaisuutta ei enää havaittu merkittävässä määrin, joka viittaa siihen, että se emittoituu konehuoneen takaosasta aina myötätuulen suuntaan.

L _{Aeq} , kaikki	L _{AFmax}	Impulssimaisuus, KI [dB]	Kapeakaistaisuus	Korjaus, [dB]	L _{Aeq} , korjattu
33 dB	42 dB	-	-	- 3 dB	30 dB

3.5.2 Melun aistinvarainen havainnointi

Melua havainnoitiin 2.mittauksen aikana ennen päivämittausta 18.11.2011 ja se sisälsi seuraavia melukomponentteja:

- Amplitudimodulaatio, joka kuulosti voimakkaalta humahdukselta tai konemaiselta tömähdykseltä, hyvin lähellä lentokoneesta emittoituvaa aerodynaamista ääntä, mutta rytmikästä (noin kerran sekunnissa). Modulaation havaittiin olevaan tasoltaan vaihtelevaa, mutta jatkuvaa.
- Kapeakaistaisuus, joka kuulosti ulinalta ja jolla oli hieman vaihtuva taajuus todennäköisesti roottorin pyörimisnopeuden mukaan.
- Pientaajuista ja osin pulssimaista melua hyvin matalalla taajuudella, mutta kuitenkin kuultavissa olevaa. Data-analyysi paljasti että sen taajuus on noin 25 Hz ja todennäköinen emissiolähde on hyvin pyörteinen tulovirtaus lavan ohittaessa tornin. Tulovirtauksen pyörteily aiheutuu todennäköisesti saariston topografiasta, puustosta ja kasvillisuudesta ennen voimalaa.

3.6 Vertaaminen ympäristöluvan raja-arvoihin

Yhteenvedo tuloksista on esitetty taulukossa 2, jossa tuloksia verrataan annetun ympäristöluvan keskiäänitason L_{Aeq} raja-arvoihin päivä- ja yöaikana. Mittauksille voidaan arvioida tässä epävarmuudeksi laitteiston, taustameluarvion ja kalibroinnin yhteisepävarmuudeksi ± 1 dB. Pitkän ajan (esim. vuoden) tarkkaa tilastollista epävarmuutta on hyvin vaikea määrittää ilman pitkän ajan tarkkaa meluseurantaa.

Kuva 6. Tulosvertailu ympäristöluvan raja-arvoihin nähden

Mittaus nro	L _{Aeq} raja-arvo klo 07-22	L _{Aeq} raja-arvo klo 22-07	L _{Aeq} tulos klo 07-22	L _{Aeq} tulos klo 22-07	Alitus / Ylitys
1.mittaus,päivä	45 dB	-	40 dB	-	Alitus
2.mittaus, yö	-	40 dB	-	45 dB	Ylitys
2.mittaus, päivä	45 dB	-	47 dB	-	Ylitys
3.mittaus,yö	-	40 dB	-	30 dB	Alitus

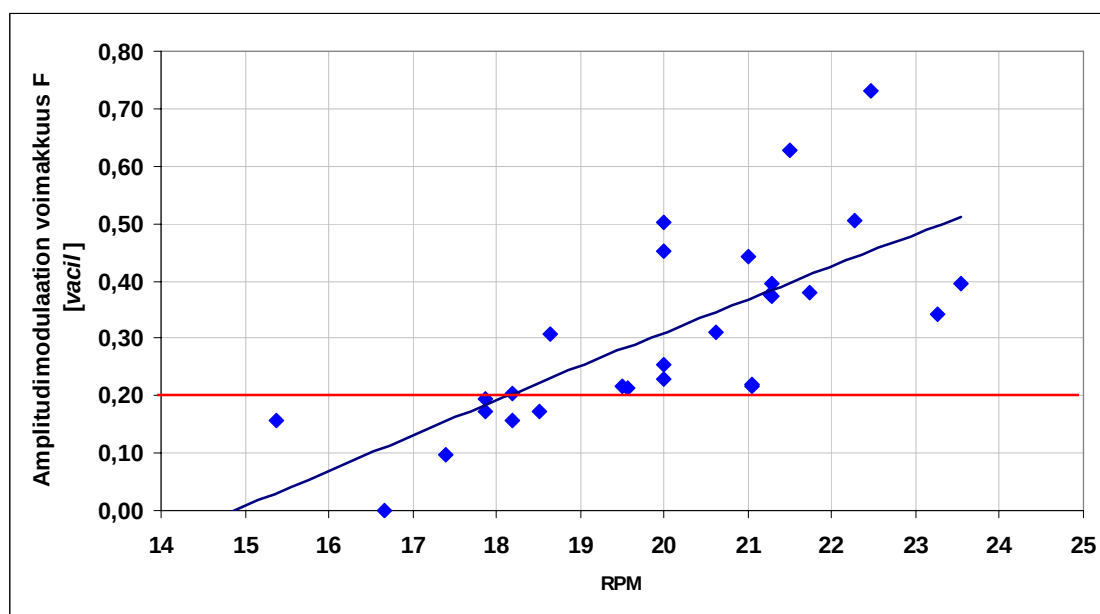
Tulosten perusteella 2.mittauksen molemmat L_{Aeq} tulokset (yksi arvo) ylittävät ympäristöluvassa annetut melun raja-arvot. Ylitykset ovat 2- 5 dB. Muiden mittausten

osalta mittausajan L_{Aeq} ei ylitä raja-arvoja kuin hetkellisesti esim. voimakkaan modulaatiopiikin aikana.

3.7 Melun häiritsevyyyslaskenta

Melun vaihteluvoimakkuus (amplitudimodulaatio) F , joka selkeästi emittoituu tuulivoimasta ja on jo vuonna 2002 tehtyjen mittausten (ks. /6/) perusteella havaittu olevan merkittävä tuulivoimamelun häiritsevyystekijä (ja joka on mainittu myös ympäristöluvassa ”svischande ljud” – termillä), on tässä arvioitu laskennallisesti siihen sovelletun laskentayhtälön avulla voimalan kierrosnopeuden funktiona. Kierrosnopeus on saatu akustisesta datasta modulaatiopiikkien välisestä aikaerosta laskettuna (5-10 piikin keskiarvo).

Kuva 7. Melun vaihteluvoimakkuuden F tuloksia voimalan roottorin kierrosnopeuden funktiona



Kuvaajan perusteella melun vaihteluvoimakkuus ylittää 0,2 vacil rajan arviolta voimalan 18-19 r.p.m:n kierrosnopeudella myötätuuliolosuhteissa. Tuloksissa on varsin suuri hajonta etenkin suuremmilla kierrosnopeuksilla, mutta ollen kuitenkin 0,2 vacil yläpuolella. Ihminen kykenee kuitenkin havaitsemaan jopa 0,02 vacil suuruisia melun vaihteluvoimakkuuksia./4/

Äänitehotasomittausten mukaan roottorin kierrosnopeus 18.5 rpm tuottaa n. 100 dB(A) tehotason L_{WA} , joka vastaa mallinnuksen kautta laskettuna (ks. kappale 4) äänitason n. L_{Aeq} 37 dB(A) mökin piha-alueella. Melun impulssimaisuus (NT Acou 112 mukaan) lisääntyy kuitenkin merkittävästi myötätuuliolosuhteissa, kun voimalan kierrosnopeus ylittää 19-20 r.p.m:n tason. Tällöin voidaan havaita jo 5-7 dB:n äänitason vaihtelueroja (LD). Impulssimaiseksi se muuttuu, kun melun nousunopeus (OR) kasvaa yli 57 dB/s modulaatiopiikissä. Ko. tilanteita havaittiin läpi 2.mittauksen päivämelunmittauksen yhteydessä.

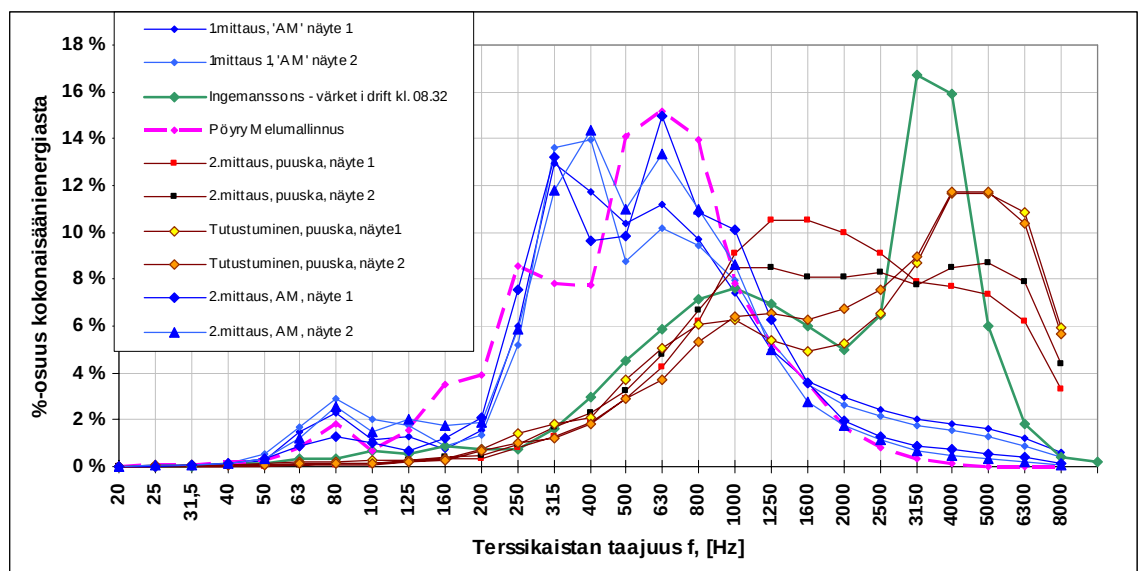
3.8 Vuonna 2006 tehdyn mittauksen tulosten analysointi

Jäljellä olevan yhden tuulivoimalan melumittaukset suoritettiin ensimmäisen kerran vuonna 2006 loma-asuintalon piha-alueella rakennuksen merenpuoleisen osan vieressä. Raportissa (Ingemanssons, Rapport - 12-01750-A.pdf, /7/) arvioitiin myös immissiopisteen melun pitkäaikaista keskiäänitasoa. Mittaustulokset ovat esitetty raportin kuvaajassa 3 1/3 oktaavikaistoittain ilman taajuuspainotusta eli dB(L), silloin kun voimalan on käynnissä ("Verk i drift", keltainen käyrä) ja ei käynnissä ("Verk avstängt", sininen käyrä).

V. 2006 tuloksia verrattiin uusiin tuloksiin eri olosuhteissa. Alla olevassa kuvassa on vuoden 2006 mittauksen kuvaajan 3. melukäyrä muutettu A-taajuuspainotetuksi käyräksi edelleen 1/3 oktaavikaistoittain, mutta y-akselilla esitetään nyt äänienergian %-osuutta 1/3 oktaavikaistoittain siten, että 20-10 000 Hz antaa 100%. Kuvan 6. vertailukäyrätulokset %-tasolla ovat nyt kokonaisäänitasosta riippumattomia.

Vuoden 2006 melumittausraportin kuvaajan 3. keltainen käyrä, kun voimala on käynnissä, on tässä esitetty vihreänä käyränä paksunnetulla viivalla. Samaan kuvaajaan on nyt lisätty tämän mittauksen näytteenotosta kohtia, jotka ovat selkeästi puuskaisia (tummanpunaiset käyrät) sekä näytteitä, joissa tuulivoimalan melun amplitudimodulaatio on hyvin selkeä (siniset käyrät). Lisäksi kuvassa on mallinnettu tilanne äänitehotasomittauksissa saatujen tulosten perusteella, joka on immissiomittauksesta täysin riippumaton tulokuvaaja vaaleanpunaisella katkoviivakäyrällä (ks. melumallinnukset kappaleessa 4).

Kuva 8. Äänen taajuusjakaumavertailu eri mittauksissa



Kuvan tulosten perusteella voidaan todeta, että vuonna 2006 tehdyn mittauksen tuloksessa voimala käynnissä yli 50% äänienergiasta (A-taajuuspainotettuna) sijaitsee yli 1600 Hz:n alueella ja merkittävä osuus siitä 2500 Hz:n ja 5000 Hz:n taajuusalueella. Tämän mittauksen valitut puuskanäytteet antavat samansuuntaisia tuloksia, jossa ylemmät taajuudet sisältävät merkittävän osuuden A-taajuuspainotetun melun (mm. lupakriteerin ja ympäristönsuojelulain mukainen taajuuspainotus) kokonaisäänienä.

Melunäytteet voimakkaan modulaation aikana eri mittauskerroilla antoivat sinisen käyrän mukaisia osuuksia ja painottuvat selkeästi matalampiin taajuuksiin (yli 80% äänienergiasta 1250 Hz:n alapuolella). Lisäksi melumallinnettu melukuvaaja (vaaleanpunainen käyrä) antaa samansuuntaisia tuloksia kuin näytteet voimakkaan modulaation aikana, vaikka käytetty yhtälö on yksikertainen, tulos on generoitu immissiomittauksesta riippumattomalla tavalla ja mallinnusyhtälöstä, mikä ei huomioi lainkaan maavaimennuksen vaikutusta.

Äänianalyysin perusteella sekä tämän mittauksen aikana saadun evidenssin perusteella voidaan todeta, että vuonna 2006 tehdyn melumittausraportin tulokset eivät anna todellista kuvaa voimalan aiheuttamasta melusta tai etenkin melun luonteesta niissä tilanteissa, jotka voidaan katsoa tyypillisesti edustaviksi (voimalan lähellä nimellistehoa tai nimellisteholla ja myötätuuliolosuhteissa). Todennäköisesti vuonna 2006 onkin mitattu tilannetta, jossa voimalan äänitehotaso on ollut hyvin alhainen (< 100 dB(A)) ja mittauspaikka sellainen, joka on häiriöaltis tuulenpuuskille mereltä päin. Se voisi selittää taajuusjakauman poikkeavan muodon ja poikkeuksellisen korkeiden taajuuksien osuuden kuvan 6 analyysissä.

Vuonna 2006 tehdyssä mittauksessa ei siis mitattu riittävästi eri tilanteita, joiden tulosten perusteella voidaan luotettavasti todeta tuulivoimalan melun taso ja melun luonne immissiopisteessä eri tilanteissa. Ympäristöministeriön melumittausohjeessa (/8/, kappale 4.1.1) on kuitenkin todettu mm. seuraavaa:

”Mittauksen tarkoituksesta riippuen mittaustulosten edustavuus ja luotettavuus saattavat edellyttää mittauksia useina eri ajankohtina, esimerkiksi melulähteen eri käyttöolojen tai toimintatapojen aikana tai erilaisissa sääoloissa”

Alueen topografian vuoksi immissiopiste on tuulelta osin suojassa, kun tuulensuunta on etelä-lounaasta tai kaakosta päin. Immissiopiste on merenpinnan tasolla ja voimalan perustukset noin 20 metriä ylempänä kummalla, joka reunustaa rannan mökkikohteita etelän ja idän puolelta. Tällöin puiden aiheuttama taustakohina (joka on sekin pienimmillään talvella) voi immissiopisteessä vähentyä ajoittain hyvin vähäiseksi korostaen tuulivoimalan melukomponenttien kuuluvuutta, sillä korkealla kummalla ja voimalan navan korkeudella voi tuulisuus olla aivan eri tasolla. Lisäksi kuvasta 8 voi havaita sen, että puuskaisen tuulen, jonka melu koostuu puiden lehtien havinasta, kasvillisuusmelusta (esim. puskat) ja aallokkomelusta rannalla, taajuusjakauma poikkeaa merkittävästi voimalan aiheuttaman melun taajuusjakaumasta (jonka painotus siis alhaisemmillä taajuuksilla), jolloin puuskan kokonaisäänitason on oltava useita desibelejä voimakkaampaa, jotta haluttu melun peittoäänivaikutus voidaan havaita. Voimalan melun rytmikäs amplitudimodulaatio sekä pientaajuinen melu heikentävät taustaaänien peittovaikutusta entisestään.

4 MELUMALLINNUS

Melun leviäminen maastoon on havainnollistettu käyttäen tietokoneavusteisia melulaskentaohjelmistoa CadnaA 4.2, missä äänilähteestä lähtevä ääniaalto lasketaan digitaaliseen karttapohjaan äänenpaineeksi immissio- eli vastaanottopisteessä ray-tracing –menetelmällä. Mallissa otetaan huomioon äänen geometrinen leviämisvaimentuminen, maaston korkeuserot, rakennukset ja muut heijastavat pinnat sekä maanpinnan ja ilmakehän melun vaimennusvaikutukset. Melulähteitä voidaan

määritellä piste, viiva tai pintalähteiksi ja maanpinnan akustisia ominaisuuksia rajatuilla maa-absorptioalueilla. Melumallin leviämiskartta piirtää keskiäänitasokäyrät 5 dB:n välein valituilla lähtöarvoparametreilla. Laskentaparametrit on esitetty ohessa:

Kuva 9. CadnaA melumallinnuksessa käytetyt laskentaparametrit

Lähtötieto	Parametri
Mallinnusalgoritmi	Kartat 1-2: Pohjoismainen teollisuuslaskentamalli, DAL32 Kartta 3: Hetkellistason tarkastelu: ISO 9613-2 + CONCAWE sääkorjaus
Sääolosuhteet	Ilman lämpötila 0 °C, ilmanpaine 101,325 kPa, ilman suhteellinen kosteus 80 %.
Laskentaverkko	laskentapiste 5 x 5 metrin välein laskentaverkolla 2 metrin korkeudella seuraten maanpintaa
Maanpinnan kovuus	DAL 32: 0 kaikille alueille, kova maanpinta kuten kallio ISO 9613-2: rajatuilla alueille kertoimella 0.6
Objektien heijastuvuus	Reseptorilaskennat: arvolla 0 (ei heijastusta)
Heijastavuuslaskenta	Ei laskentaa
Jaksollisuus, amplitudimodulaatio	Ei huomioida
Melun kapeakaistaisuus	Ei huomioida

Lisäksi vertailumelumallinnus on suoritettu kirjallisuusviitteen /9/ mukaisilla yhtälöillä (< 1000m, Naturvårdsverket) pisteisiin P0 ja P1 1/3 oktaavikaistoittain seuraavan yksinkertaisen mallinnusyhtälön avulla ilman maanpinnan rosoisuuskorjausta:

$$L_A = L_{WA} - 8 - 20 \cdot \log(r) - 0,005 \cdot r \quad (2)$$

missä r on suora etäisyys tuulivoimalan navan ja immissiopisteen välillä.

Mallinnusten tuloksia on vertailu keskenään ja mukaan on otettu myös tuulivoimalan tyyppikoeraportin antaman taajuusjakauman lähtöäänitulokset.

Kuva 10. Melumallinnustuloksien vertailua

Piste, L_{WA} taso	DAL 32 (CadnaA v.4.2 malli)	Naturvårdsverket -malli	Naturvårdsverket –malli (tyyppimittaustulokset, /5/)
P0, 100 dB(A), 18.5 r.p.m.	38,4 dB(A)	38,2 dB(A)	38,4 dB(A)
P1, 100 dB(A), 18.5 r.p.m.	37,0 dB(A)	36,9 dB(A)	37,1 dB(A)
P0, 103 dB(A), 20 r.p.m.	41,4 dB(A) (+ 5 dB)*	41,2 dB(A)	41,4 dB(A)
P1, 103 dB(A), 20 r.p.m.	40,0 dB(A) (+5 dB)*	39,9 dB(A)	40,1 dB(A)
P0, 105 dB(A), 21.5 r.p.m.	43,4 dB(A) + 5 dB**	43,2 dB(A)	43,4 dB(A)
P1, 105 dB(A), 21.5 r.p.m.	42,0 dB(A) + 5 dB**	41,9 dB(A)	42,1 dB(A)

* = mahdollinen häiritsevyyskorjaus + 5 dB, ** = todennäköinen häiritsevyyskorjaus + 5 dB, molemmat korjaukset mahdollisia myös vertailumalleissa

Melumallinnustulosten perusteella melun kokonaisvaimennus laskennalliselta äänitehotasolta L_{WA} voimalalta immissiopisteeseen on noin 63 dB ja erot pieniä eri mallien kesken. Vastaavasti vaimennus on 15 dB äänenpainetasolla L_{pA} tai $L_{Aeq, 10s}$ äänitehotasomittauksessa käytetyltä mittaustuloksesta. Tyyppikoetestin mukaan laskettu äänitaso antoi suurimmat tulokset (käytetty taajuuksia 50 Hz – 10 kHz) ja noin 20 r.p.m:n kierrosnopeustasolla voidaan immissiopisteessä ylittää melutaso 40 dB(A), jos oletetaan äänen olevan tasaista. Kuten jo aiemmin todettiin, kasvaa riski melun huomattavalle amplitudimodulaatiolle, kapeakaistaisuudelle ja impulssimaiselle melulle jo tätä kierrosnopeutta ennen myötätuuliolosuhteissa ja täydellä kierrosnopeustasolla. Siksi +5 dB:n melun häiritsevyyskorjaus on perusteltu suuremmilla kierrosnopeuksilla.

5

POHDINTAA

Mittaustulosten perusteella melu sisältää paljon häiritsevyyttä lisääviä komponentteja, jotka ovat korvakuulolla havaittavissa varsin helposti immissiopisteessä ja mökin piha-alueen eri osissa. Voimalan käyntiäänen taso kuitenkin vaihtelee paljon sään mukaan ja samalla muuttuvat myös häiritsevyyskomponenttien ja voimalan äänen voimakkuudet. Sää, joka vaikuttaa merkittävästi melun tasoon ja luonteeseen, on kuitenkin lähtökohtaisesti kaoottisten ilmakehän prosessien tulosta ja ennustettavuus siten vaikeaa. Kovan tuulennopeuden ja myötäinen säätila voi jatkua minuuteista useisiin päiviin. Lisäksi voimalan sijainnin ja immissiopisteen välinen tuulisuusero voi kasvaa suureksi alueen topografian vuoksi. Tämän osatekijän vuoksi taustamelun peittovaikutus voi heikentyä.

Merkittävin melun häiritsevyystekijä on lavan pyörimisestä johtuva melun amplitudimodulaatio, jonka havaittiin olevan kovilla tuulilla ja myötätuuliolosuhteissa jopa impulssimaista varsin tiukan laskentakriteerinkin jälkeen. Lisäksi melussa on usein

kapeakaistasuutta sekä kovilla tuulilla pientaajuista ja havaittavaa melua pulssimaisesti tai enemmän jatkuvana. Melun modulaatio muuttuu voimakkaaksi n. 18-19 roottorin kierrosnopeudella laskennan mukaan. Todennäköinen syy voimakkaalle melun modulaatiolle on voimalan kokema jyrkkä tuulen pystyprofiili, joka lisää siiven ylä- ja alavaiheiden tuulusuuseroa. Koska tuulennopeus siiven yli ja siitä aiheutuva jättöreunan turbulenssikohina on merkittävin tuulivoimalan melun emissiolähde, syntyy roottorin eri pyörimisvaiheissa voimakkaita äänitason eroja pyörimisnopeuden mukaan sekuntitasolla. Turbulenssikohina on lisäksi todennäköisesti suuntaavaa myötätuulipuolelle sekä painottunut alhaisiin taajuuksiin. Lisäksi tuulen tulovirtauksen pyörteisyys lisää todennäköisesti pientaajuisten melun voimakkuutta, kun lapa ohittaa voimalan tornin kovalla kärkinopeudella.

Saadun evidenssi perusteella voimalalle tehtyä tyyppikoetulosta ei siten voida käyttää luotettavasti sellaisenaan melun luonnetta tai melun kokonaistasoa kuvattaessa immissiopisteessä. Tyyppikoetestauksen ympäristö on ollut todennäköisesti topografialtaan Barösundista hyvin poikkeava ja laskenta on tehty logaritmiselle tuulusuusprofiilille sekä tasaisen ja avoimen maanpinnan rosoisuuksille, jolloin siiven ylä- ja alavaiheiden tuulusuusero on huomattavasti pienempi kuin jyrkässä profiilissa tai rosoisessa maastossa (z0 -kerroin).

Mittaustulosten perusteella voimalalle myönnetyt ympäristölupaehdot ylittyvät tietyissä sääolosuhteissa. Ylitykset voivat olla merkittäviä melun häiritsevyyskorjausten jälkeen sekä mittausten aikana myös usein myönnettyjen melu raja-arvojen tasolla ilman korjauksia. Lupaehdon klausuulin 4 mukaan, melutasoa on alennettava merkittävästi alle luparajan, mikäli melutaso on luparajalla ja siitä valitetaan. Numeerisia arvoja vähennyksen määrälle ei tässä klausuulissa kuitenkaan esitetä.

Yömelun luparajalla 40 dB(A), voi amplitudimodulaation äänenpaineen vaihteluväli (LD) olla jo noin 5-7 dB myötätuuliolosuhteissa. Päivämelun lupatasolla on jo todennäköistä että +5 dB:n häiritsevyyskorjausta joudutaan käyttämään ja siten luparajan ylitys tapahtuu jo alle 45 dB(A):n melutasolla (40-42 dB(A):n tasolla). Melun häiritsevyyden vuoksi, on oleellista puuttua modulaation tasoon voimalan roottorin kierrosnopeutta alentamalla, joka on vaihteluvoimakkuuden määrittämisessä yksi osatekijä (f_m). Tämä auttaisi todennäköisesti myös pientaajuisten melun alenemisessa, sillä pyörimisnopeuden alentaminen alentaa myös lavan kärkinopeutta. Todennäköistä kuitenkin on että modulaatiota ei kyetä poistamaan kokonaan kuin voimalan pysäyttämällä kovemman tuulennopeuden aikana voimalan kokeman jyrkän tuulusuusprofiilin vuoksi.

6

YHTEENVETO

Pöyry Finland Oy Energia suoritti tuulivoimalan melumittaukset Inkoon Barösundissa syyskuun-marraskuun 2011 välisenä aikana. Mittausta edelsi mittaussuunnitelma (16ENN0126.10.Q860-001), jossa selostettiin yleiset puitteet mittausten tekoon. Melumittauksissa mitattiin kolmena eri mittauskertana (sekä tutustumiskäynnillä) voimalan äänitehotasoa standardin IEC 61400-11 mukaisella melumittausjärjestelyllä (äänitason osalta standardin mukainen aineisto) ja immissiopisteessä ohjeen YM 1/1995 mukaisesti sovelletuin osin (ohjetta ei voi täysin noudattaa tuulivoimamelumittauksissa).

Melumittausten perusteella tuulivoimalan immissiopisteessä P1 aiheuttama melu oli paikoin voimalan ympäristölupaehtojen melun raja-arvojen yläpuolella, erityisesti myötätuuliolosuhteissa kovemmilla tuulennopeuksilla. Melun havaittiin sisältävän tällöin voimakasta vaihteluvoimakkuutta (amplitudimodulaatio), havaittavaa pientaajuista melua, impulssimaisuutta sekä melun kapeakaistaisuutta. Osa meluemission melun luonteesta havaittiin esiintyvän vain erityisesti myötätuuliolosuhteissa (kapeakaistaisuus, impulssimaisuus). Tyypillisesti myötätuuliolosuhteeksi katsotaan tilanteen, jotka ovat $\pm 45^\circ$ suoran myötätuulisuunnan molemmiin puolin. Alueen topografian vuoksi, etelän-, kaakkois- ja idänpuoleiset ilmavirtaukset voivat aiheuttaa merkittävimmän meluhaitan immissiopisteessä.

Melun häiritsevyyslaskennan perusteella voimalan äänen vaihteluvoimakkuus kasvaa merkittävästi, kun ylitetään 19 r.p.m:n roottorin kierrosnopeus. Tällöin kasvaa myös riski impulssimaiselle äänelle myötätuuliolosuhteissa. Näissä olosuhteissa havaittiin myös voimakasta ja selkeästi korvakuulolla erottuvaa melun kapeakaistaisuutta.

Pöyry Finland Oy Energia, Tehokkuus- ja mittauspalvelut



Oili Tikka
Johtaja, Mittauspalvelut
Pöyry Finland Oy Energia



Carlo Di Napoli
Konsultti, teollisuusmeluselvitykset
Pöyry Finland Oy Energia

KIRJALLISUUSVIITTEET

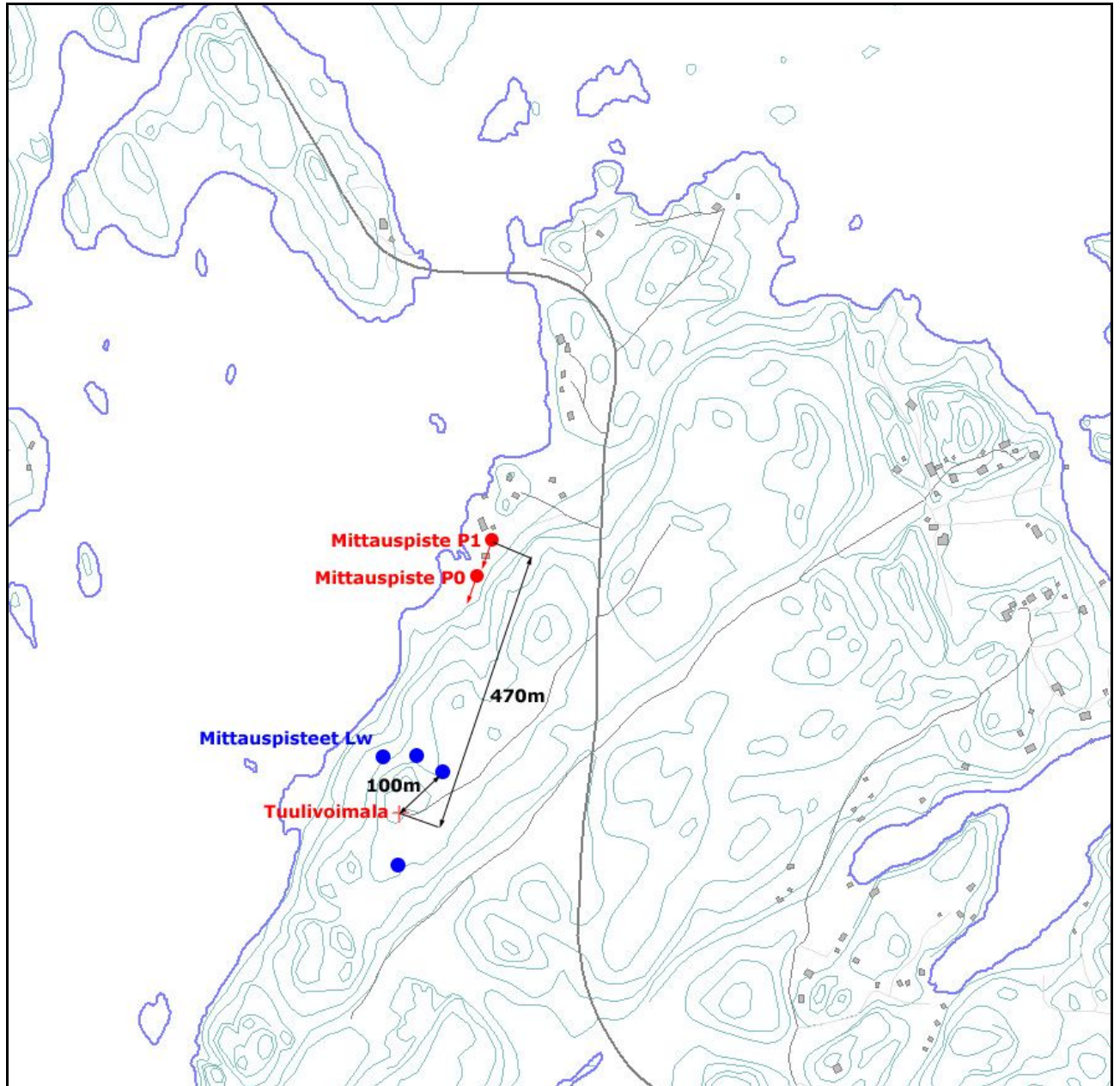
- /1/ Sondergaard, B. Ryom Carsten. Low frequency noise from large wind turbines, sound power measurement method. Delta acoustics & Electronics, AV 135/08. Tanska, 2008
- /2/ IEC 61400-11:2002. Wind turbine generator systems, Part 11: Acoustic noise measurement techniques
- /3/ Acoustics: Prominence of Impulsive Sounds and for Adjustment of L_{Aeq} . Nordtest Method NT ACOU 112, Nordtest, Finland (2002)
- /4/ Fastl H. 1983, "Fluctuation strength of modulated tones and broad-band noise. Hearing- Physiological Bases and Psychophysics, Hearing- Physiological Bases and Psychophysics", Springer, Berlin, p.282-288
- /5/ Technical report NO. 25716-2.001 on determination of sound emission of wind energy converter No.2 of type Enercon E-66/18.70 in windfarm Wilsum. Kötter Consulting Engineers, 2001.
- /6/ van den Berg, G.P. Effects of the wind profile at night on wind turbine sound. Journal of sound and vibration, 2003
- /7/ Vindkraftverk Barölandet, finland. Immissionmätningar. Project 12-01750, Rapport 12-01750-A. Ingemansson Technology AB, Göteborg, Sweden, 2006.
- /8/ Ympäristömelun mittaaminen. YM 1/1995, Ympäristöministeriö, Helsinki, 1995
- /9/ Ljud från vindkraftverk. Rapport 6241, Naturvårdsverket, Sverige 2001.
- /10/ WindBlatt 5/2003, p.13. Enercon news magazine, 2003.
- /11/ Forssell, J. Wind turbine noise propagation over flat ground: Measurements and Predictions. Acta Acustica united with Acustica. Vol 96 (2010), pages 753-760.



LIITE 1

MITTAUSPISTEKARTTA

Liite 1. Ympäristömelumittauksessa toteutuneet mittauspisteet

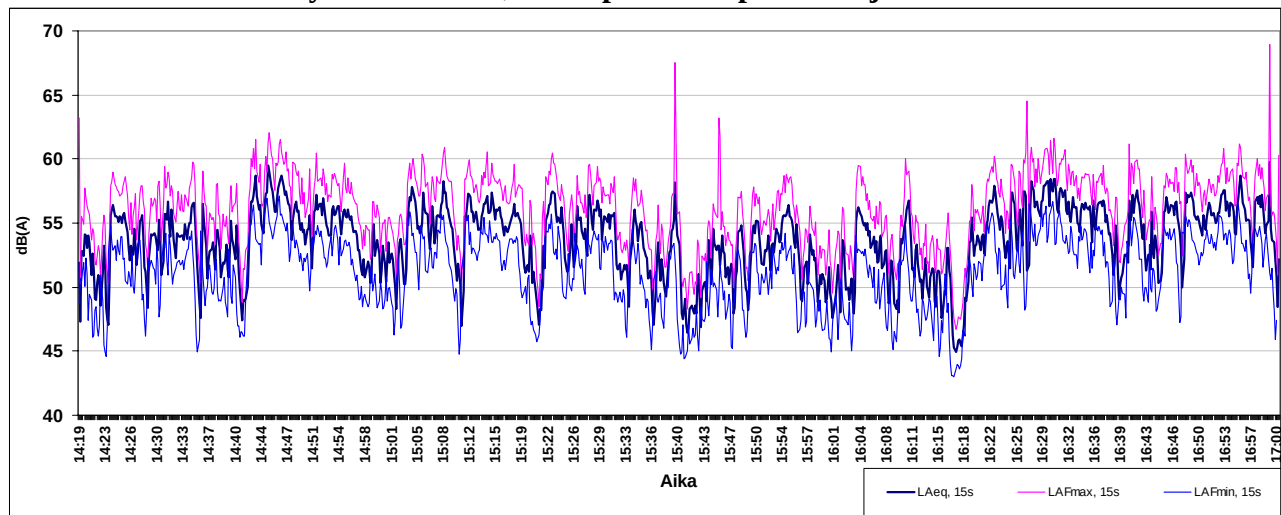


LIITE 2

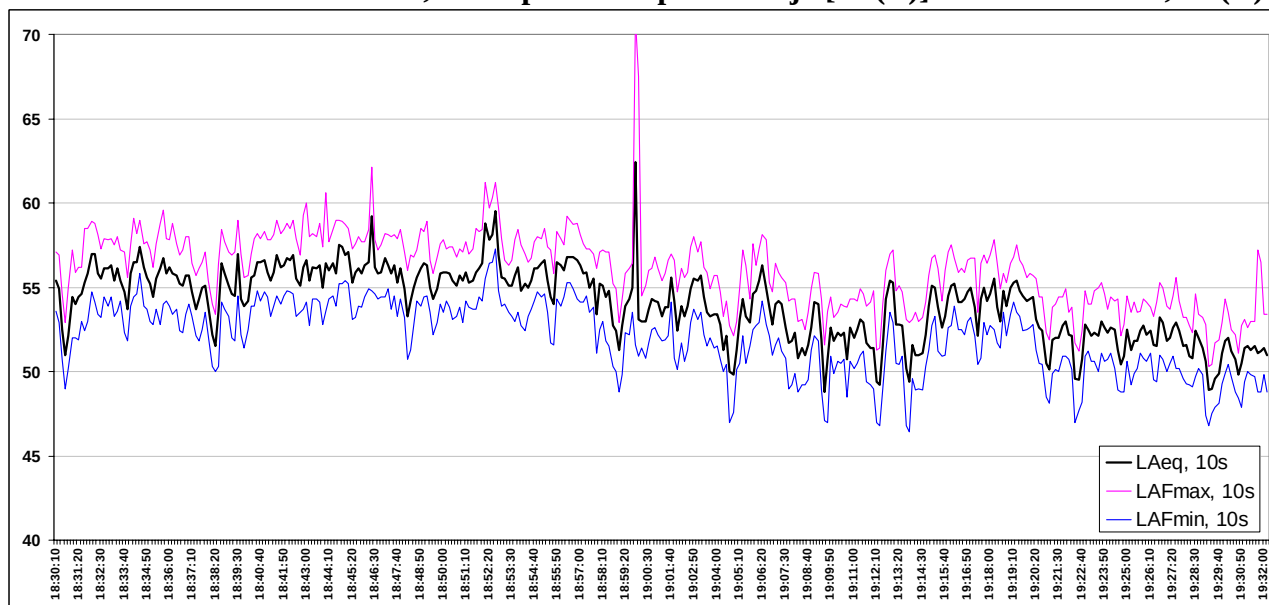
MELUMITTAUSTULOKSET – ÄÄNITEHOTASOMITTAUKSET LW

Liite 2. Äänitehotasomittausten tuloksia, L_{WA}

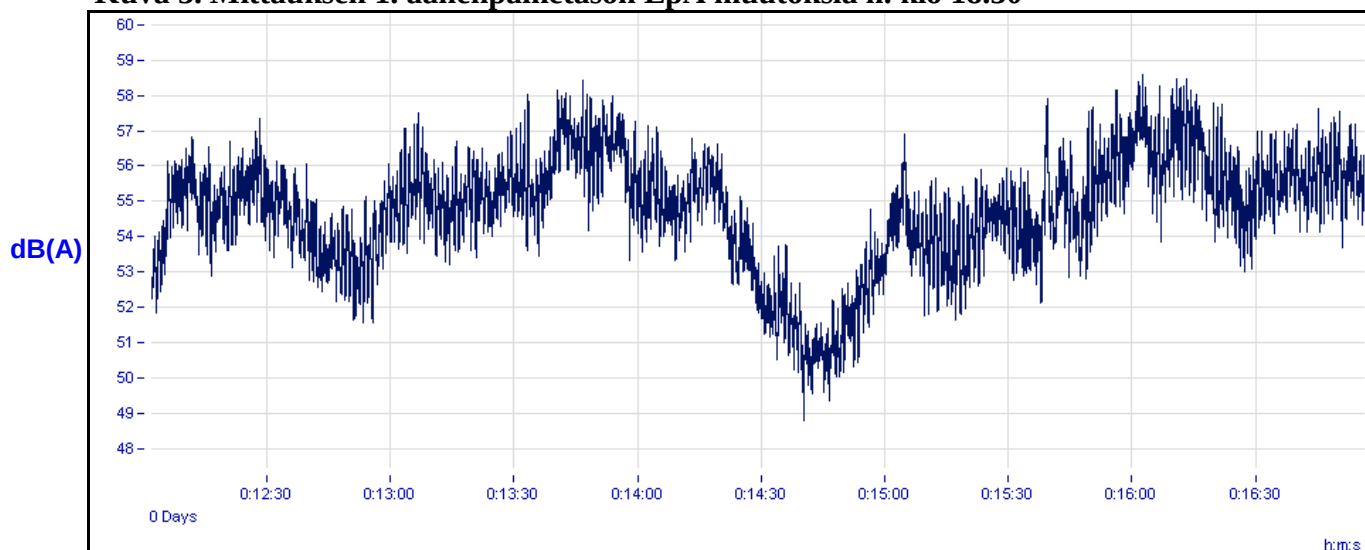
Kuva 1. Tutustumiskäynnin tuloksia, äänenpaineen L_pA kuvaaja klo 14:19 – 17:00



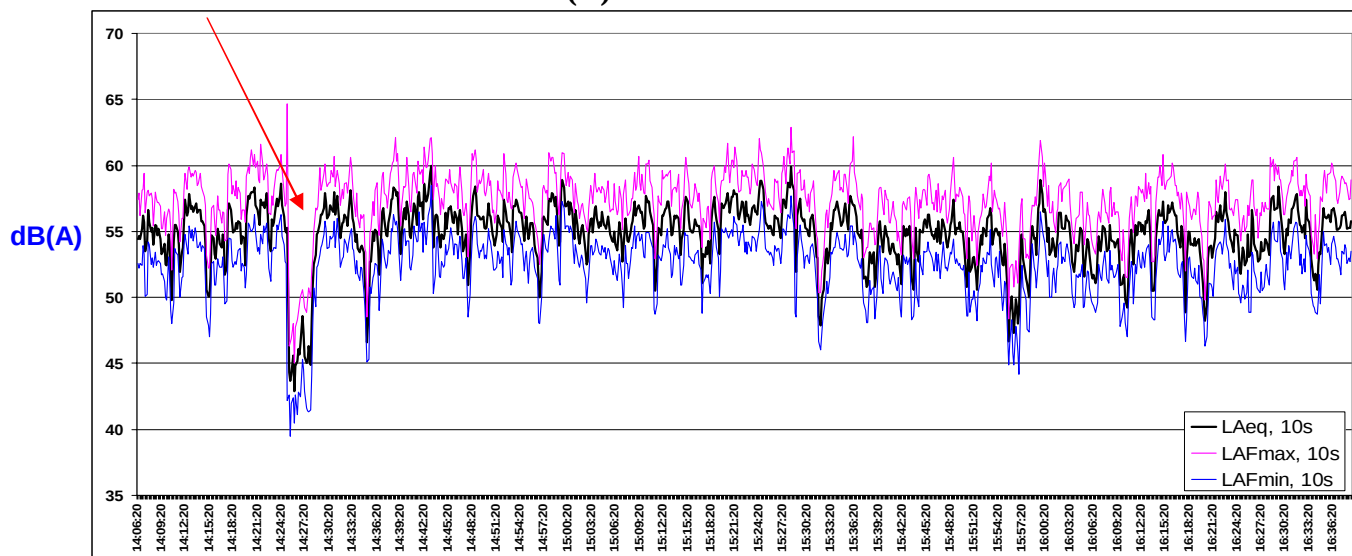
Kuva 2. Mittauksen 1. tuloksia, äänenpaineen L_pA kuvaaja [dB(A)] klo 18.30 – 19.32, dB(A)



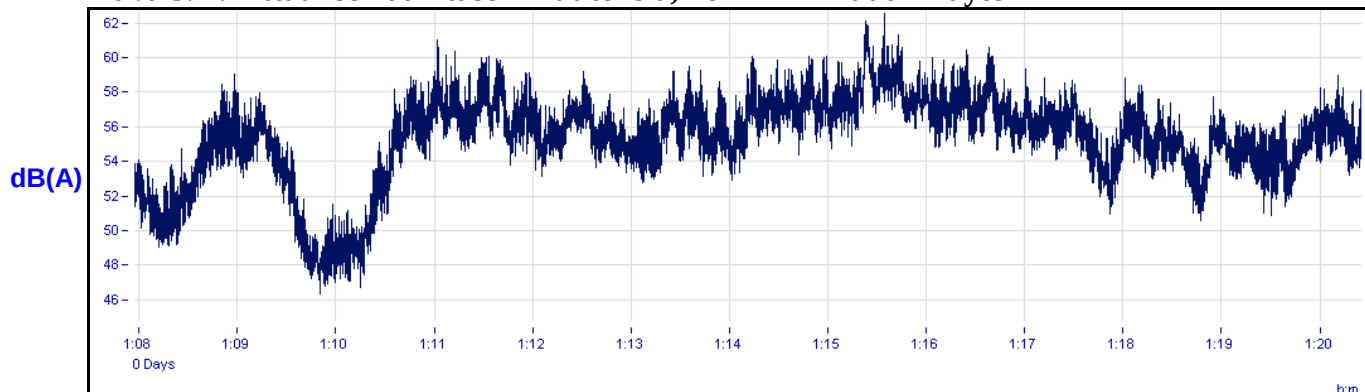
Kuva 3. Mittauksen 1. äänenpainetason LpA muutoksia n. klo 18.30



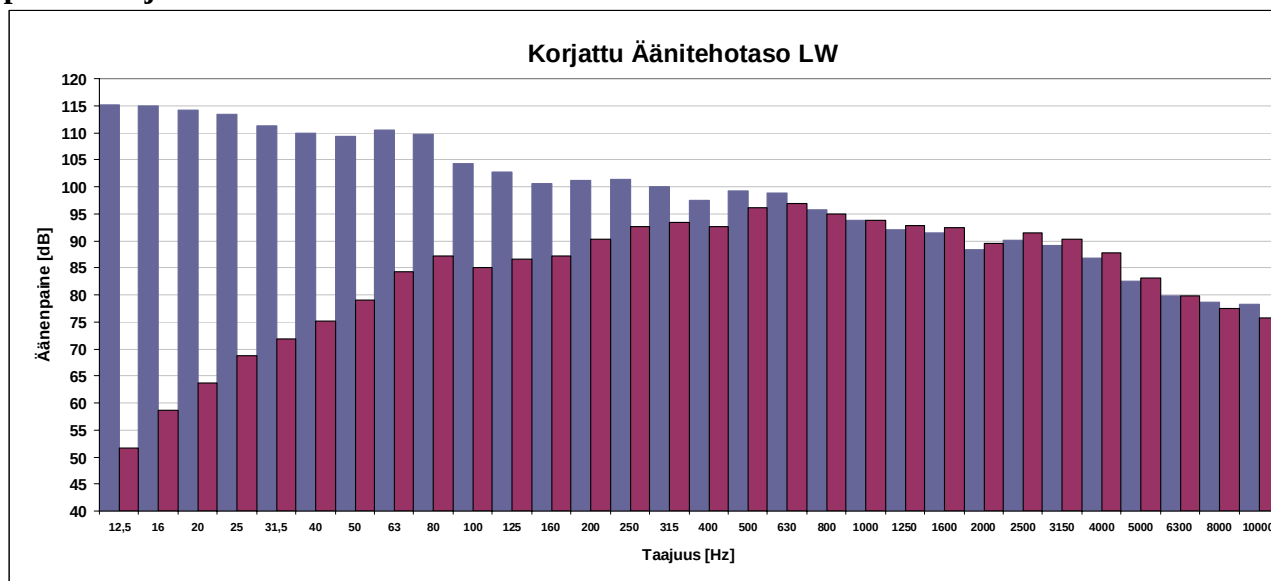
Kuva 4. Mittauksen 2. tuloksia, äänenpaineen kuvaaja. Tuulivoimalan lyhyt pysähtyminen klo 14:27. Taustamelutaso n. 45 dB(A).



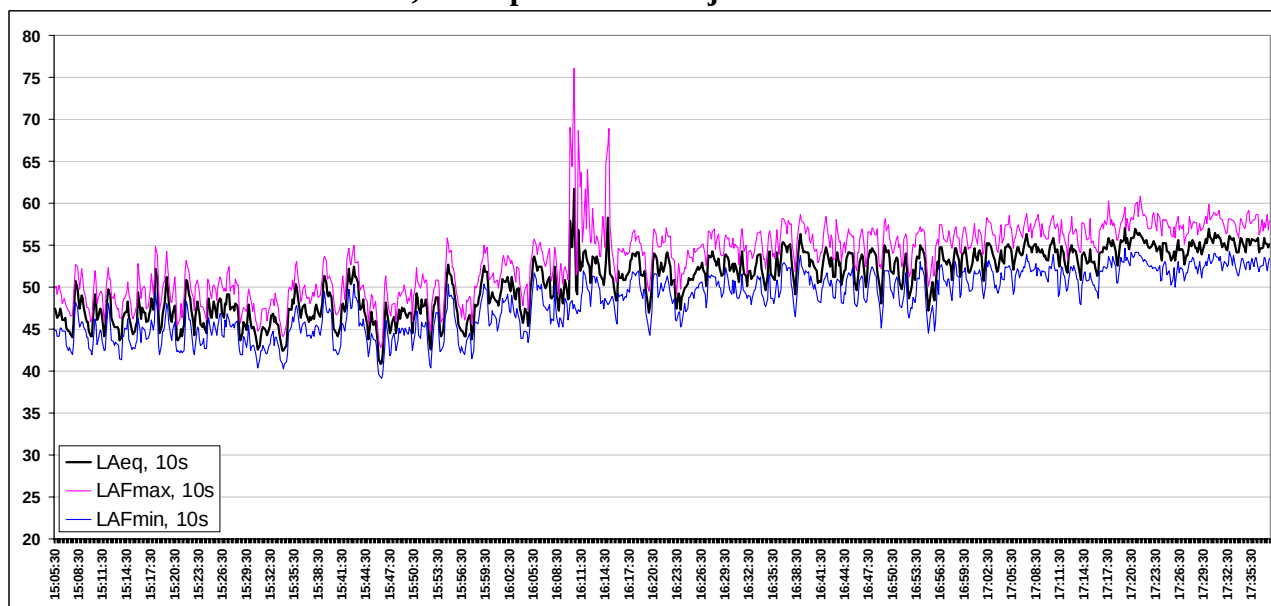
Kuva 5. 2.mittauksen äänitason muutoksia, noin 12 minuutin näyte



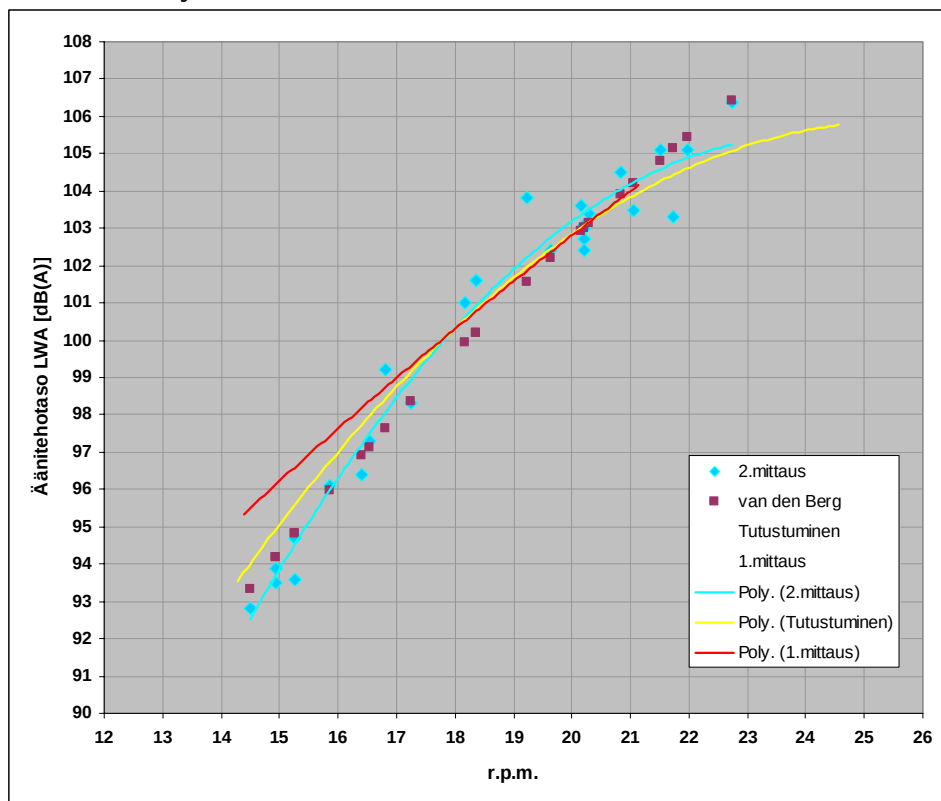
Kuva 6. 2.mittauksen keskiarvoistettu äänitehotaso, LWA = 105 dB. viininpunaist polpat A-painotettuja.



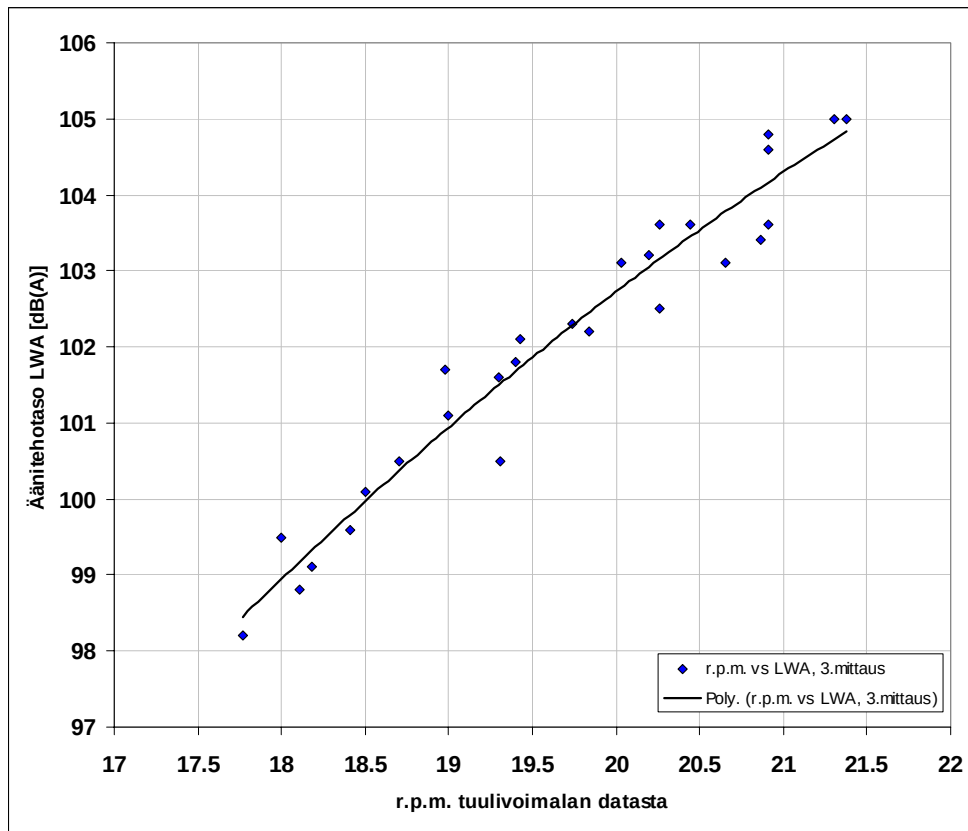
Kuva 7. 3.mittauksen tuloksia, äänenpaineen kuvaaja klo 15:05 – 17:35



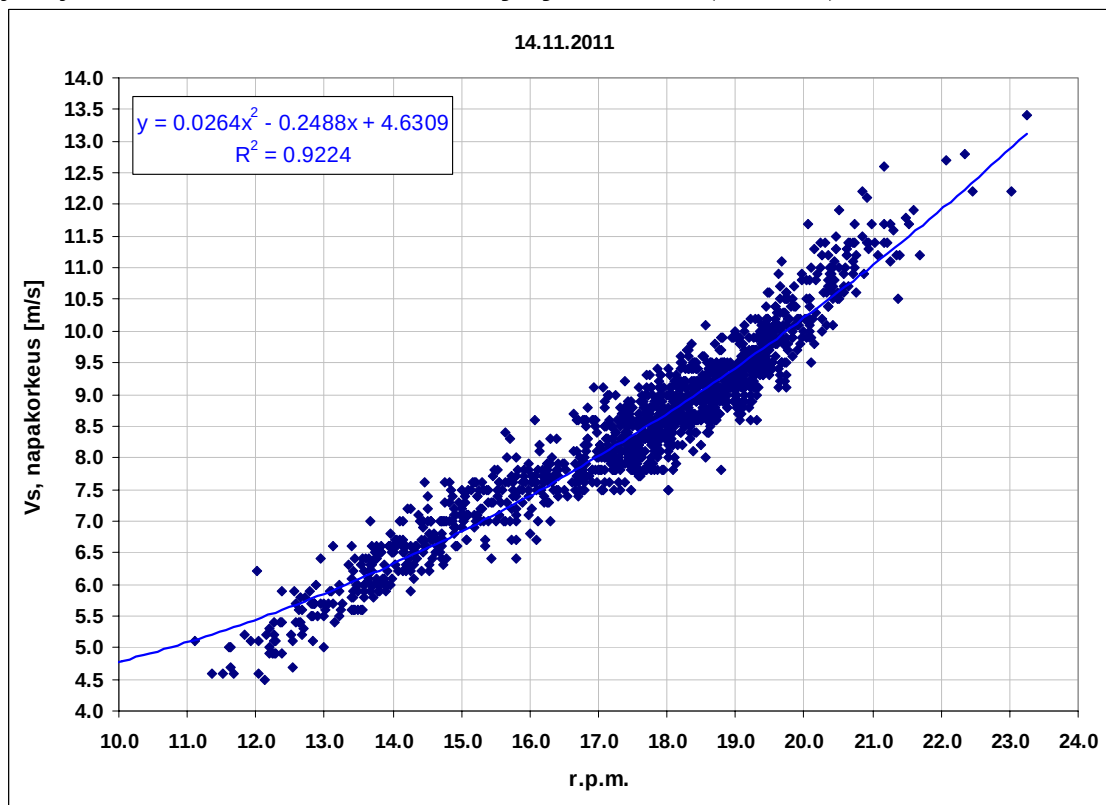
Kuva 8. Yhdistetty äänitehotasokuvaaja kierrosnopeuden funktiona, mittaukset 1.-2. sekä tutustumiskäynti



Kuva 9. Tuulivoimalan äänitehotason muutos kierrosnopeuden funktiona, mittaus 3. Voimalan kierrosnopeustieto on suoraan voimalan omasta tiedonkeruujärjestelmästä.

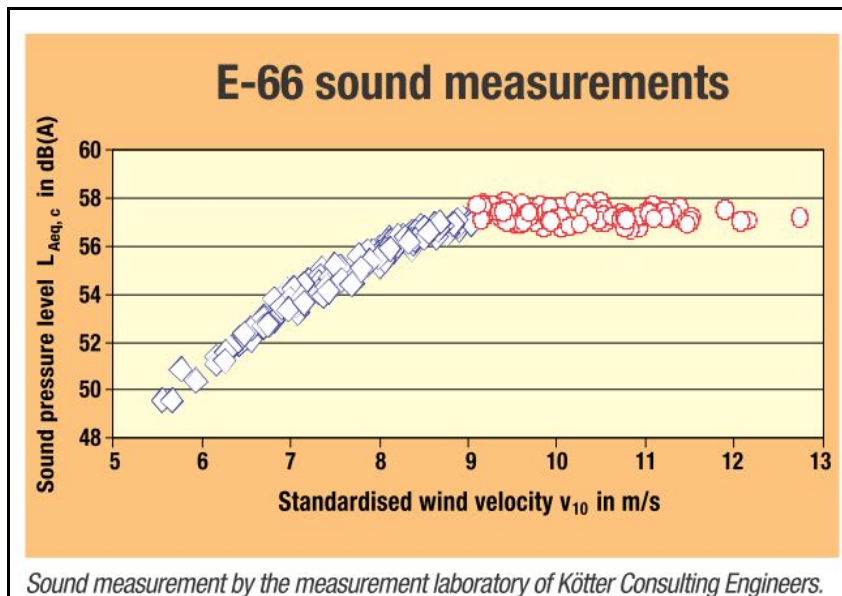


Kuva 10. Tuulivoimalan kierrosnopeuden (r.p.m.) ja napakorkeuden tuulimittauksen välinen yhteys voimalan omasta tiedonkeruujärjestelmästä (Vs [m/s])



Enercon E66 äänitehotasoja kirjallisuudesta

Kuva 11. WindBlatt 5/2003, E66 äänenpainetasot tuulennopeuden funktiona standardikorkeudella /10/



Kuva 12. E66 mitattu äänitehotaso LWA tieteellisessä julkaisussa, /11/

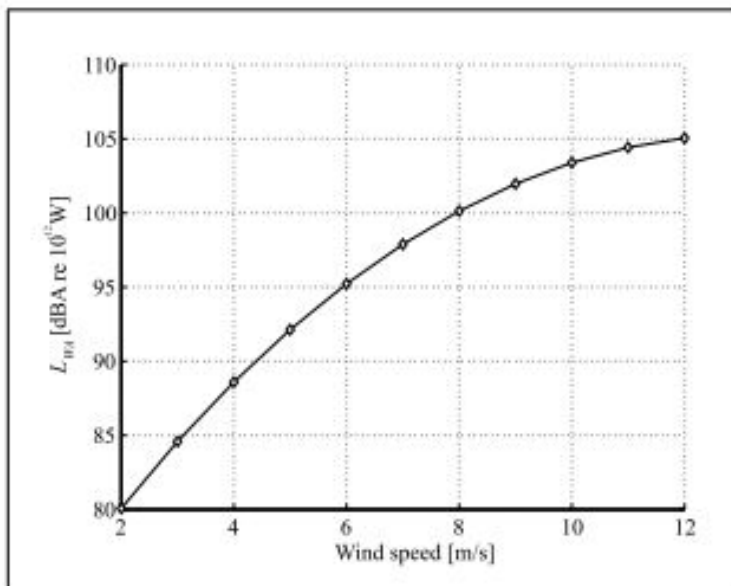
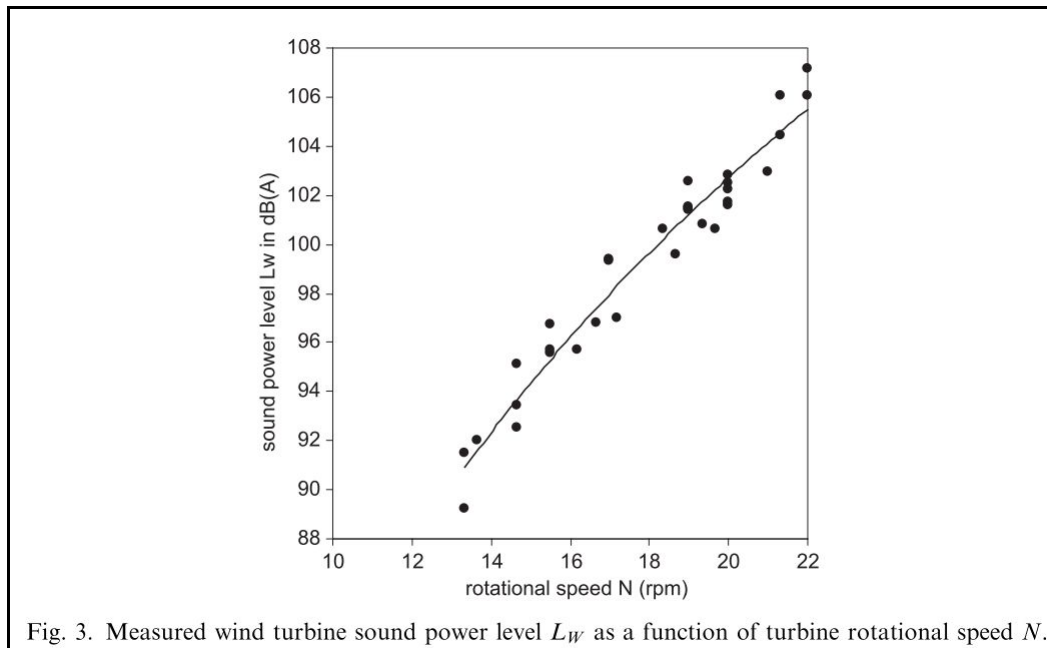


Figure 5. Measured wind turbine output power level as function of wind speed.

Kuva 13. van den Bergin mittaukset 2002, E66, /6/

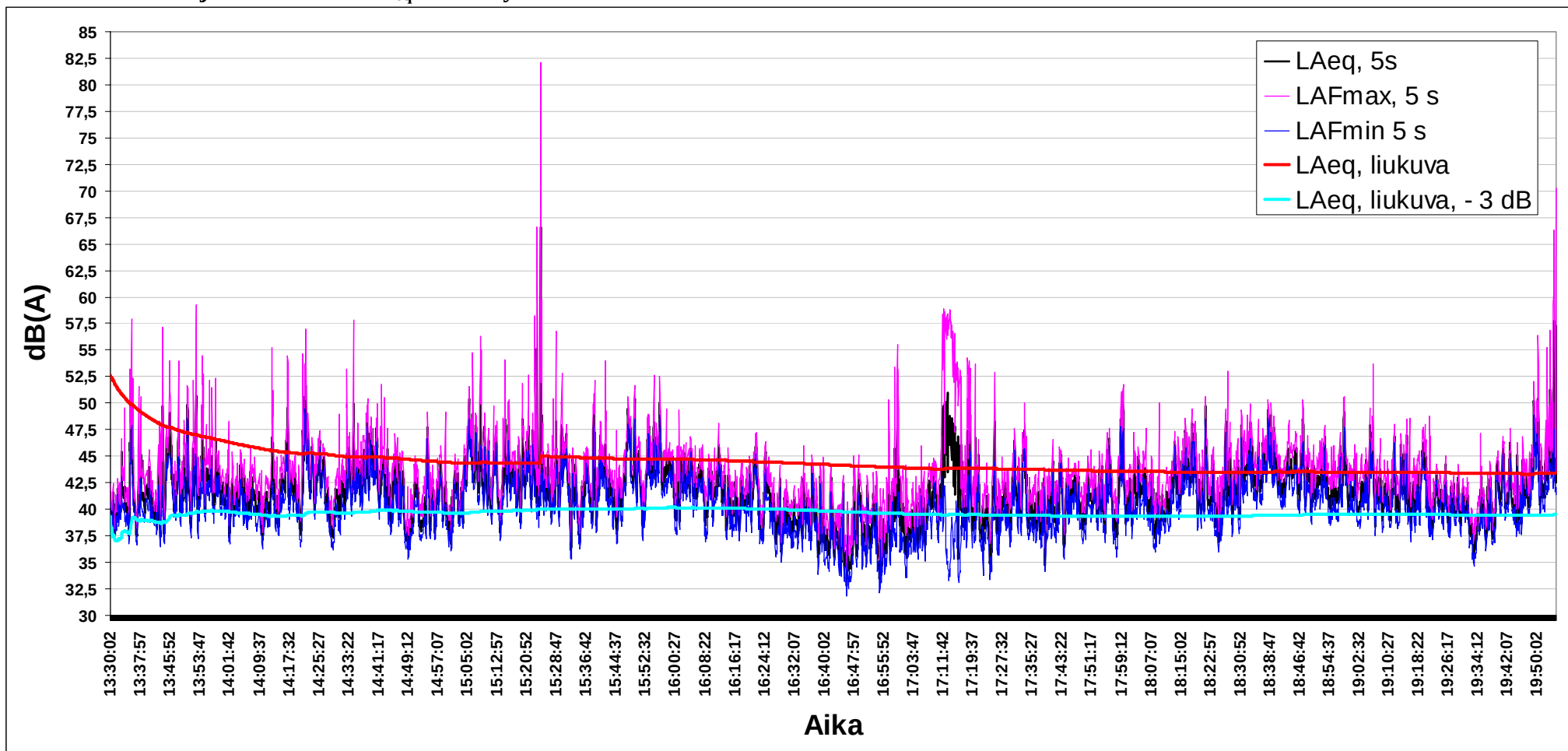


LIITE 3

MELUMITTAUSTULOKSET – 1. MITTAUS

Liite 3. Mittaus Nro 1 (2.10.2011) Piste P1, äänitason tuloksia.

Datalokkauskuvaaja sekä likuvan L_{Aeq} :n kehittyminen



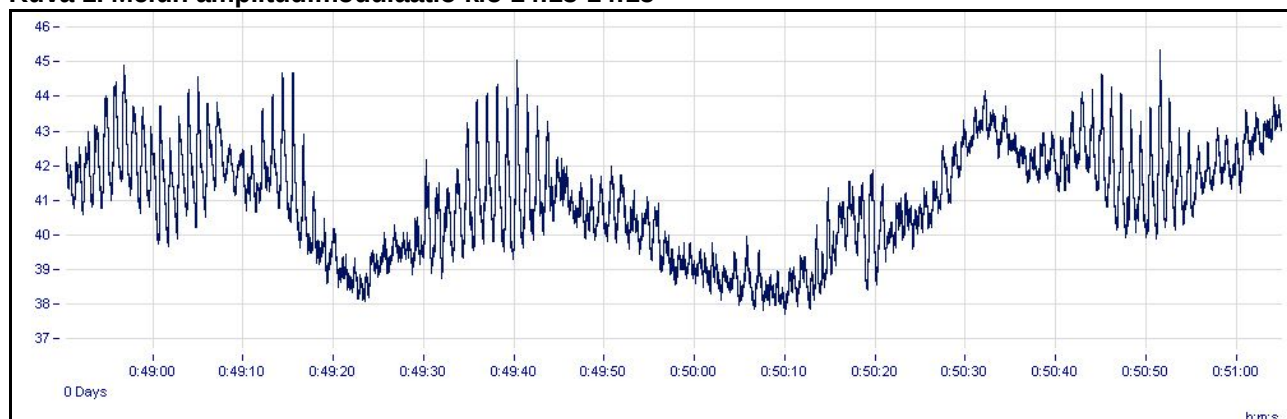
Taulukko 1. Säätila mittausten aikana, Bågarskär ja Barösund (ilmanpaine, B&K)

2.10.2011	klo 13-14	klo 14-15	klo 15-16	klo 16-17	klo 17-18	klo 18-19	klo 19-20
Tuulennopeus	8 m/s	8.5 m/s	9 m/s	9.5 m/s	10 m/s	10.5 m/s	10 m/s
Tuulensuunta							
Ilmanpaine	1022 hPa	1021 hPa	1020 hPa	1019 hPa	1018 hPa	1017 hPa	1016 hPa
Lämpötila	12 °C	12.5 °C	13 °C	13 °C	13 °C	13.5 °C	13 °C
Kosteus	80 %	80 %	78 %	80 %	80 %	80 %	80 %
Pilvisyys	1/8	2/8	6/8	7/8	8/8	7/8	8/8

Näytteetottokuvat, 2.10.2011

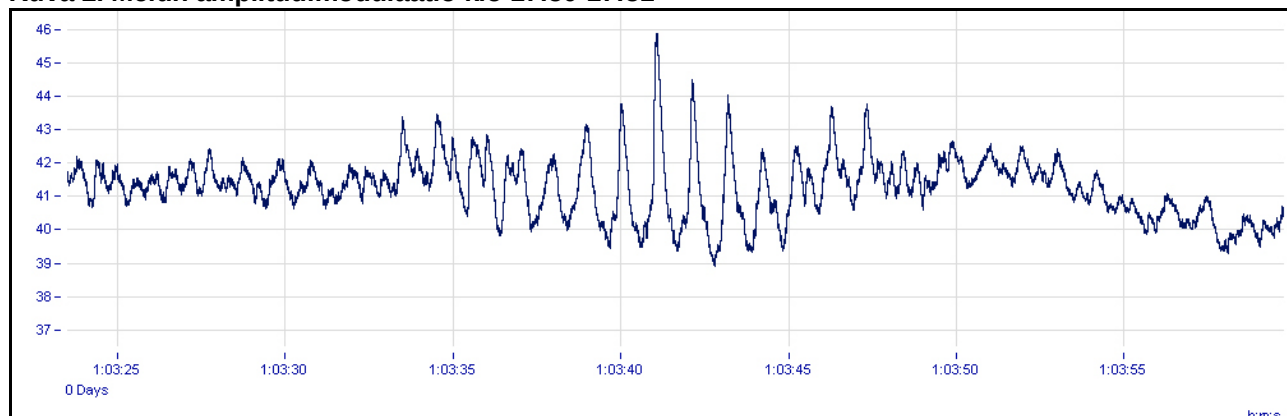
Kuva 1. Melun amplitudimodulaatio klo 14:13-14:15

dB(A)



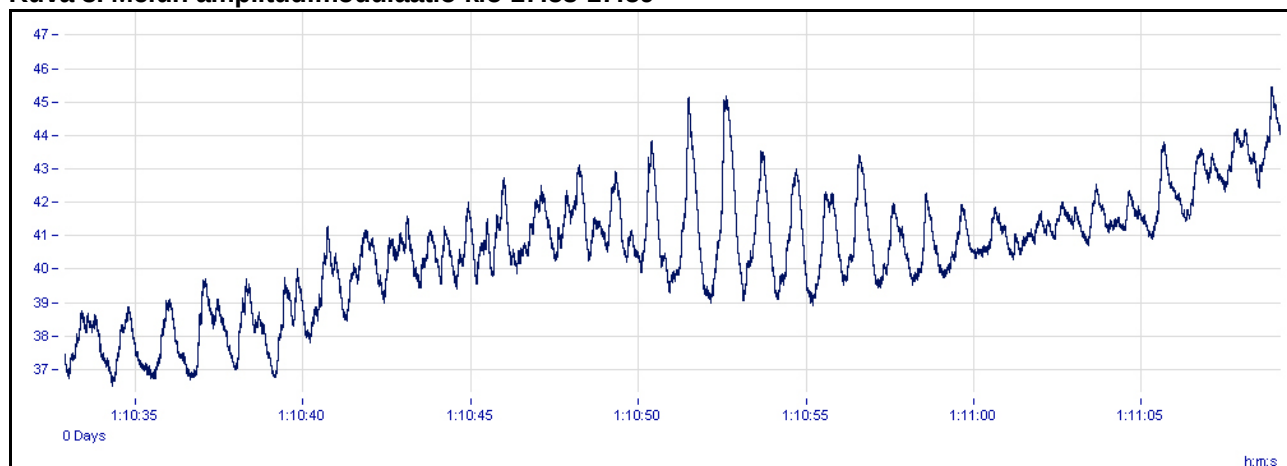
Kuva 2. Melun amplitudimodulaatio klo 17:50-17:51

dB(A)

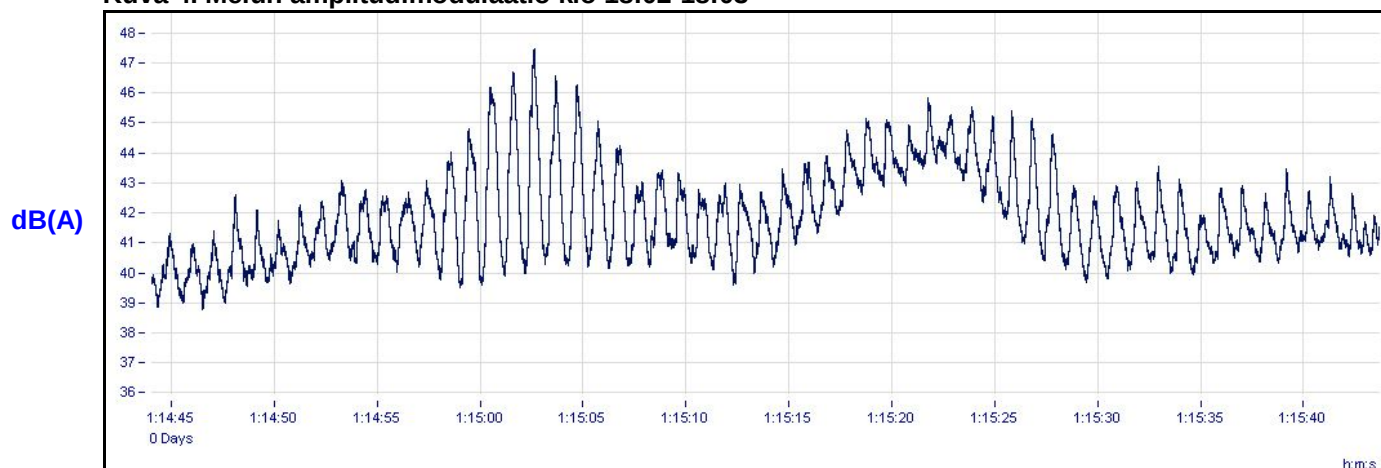


Kuva 3. Melun amplitudimodulaatio klo 17:58-17:59

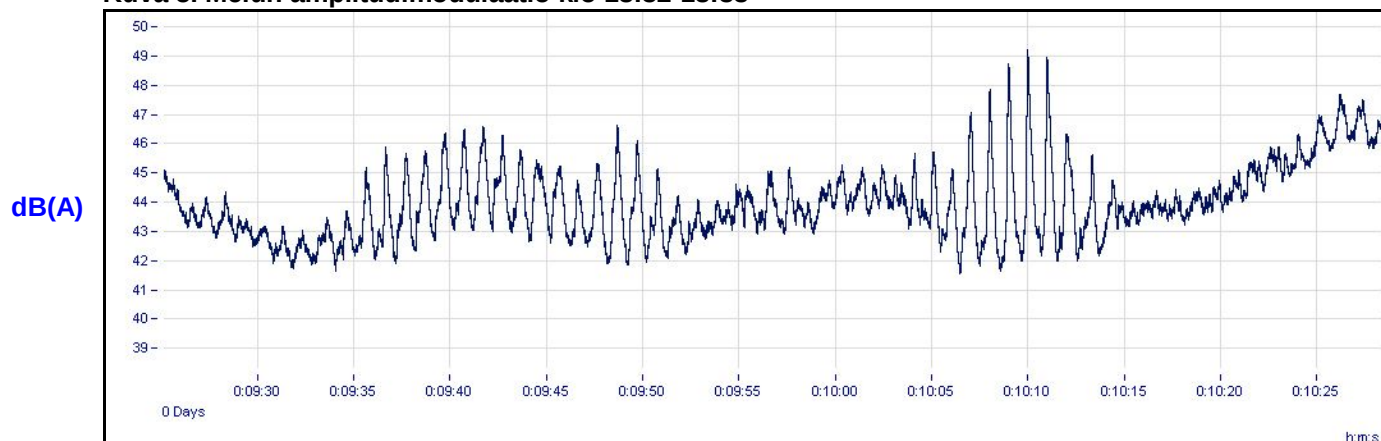
dB(A)



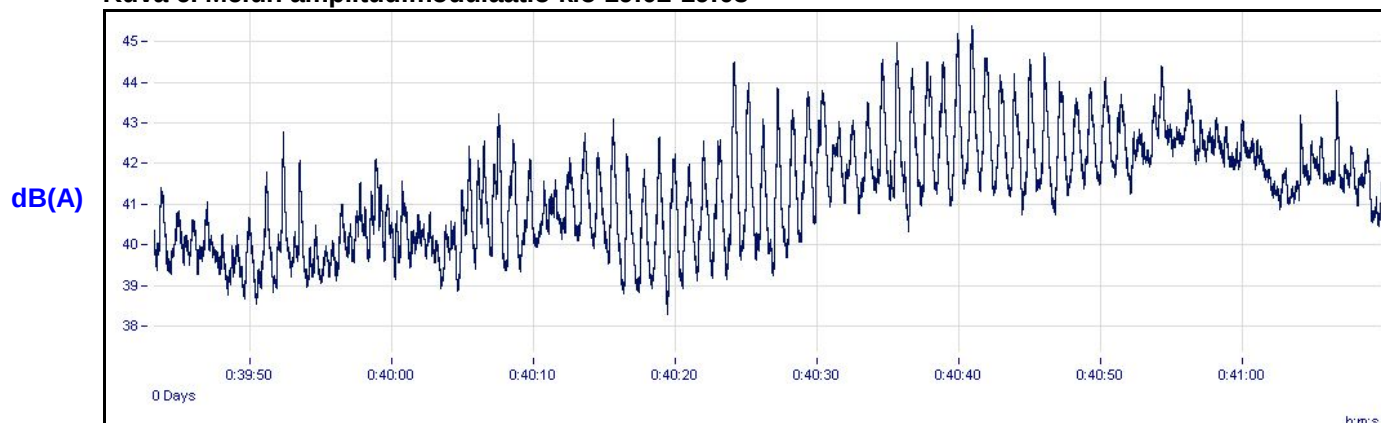
Kuva 4. Melun amplitudimodulaatio klo 18:02-18:03



Kuva 5. Melun amplitudimodulaatio klo 18:32-18:33

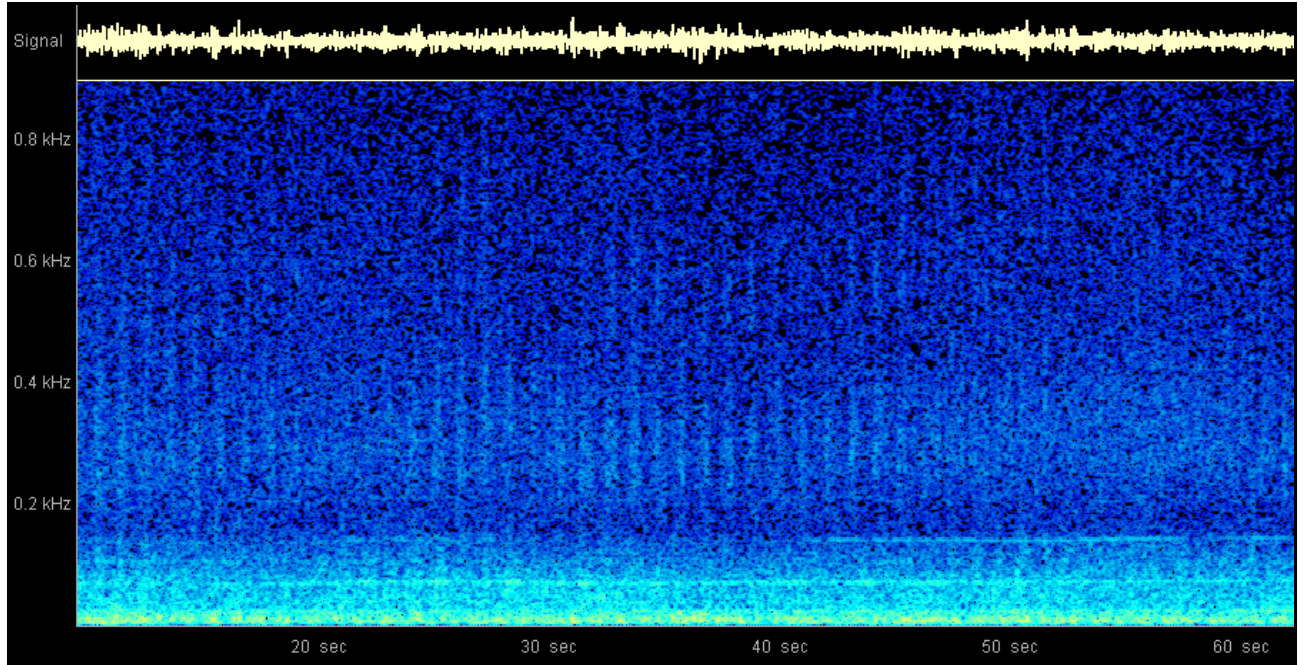


Kuva 6. Melun amplitudimodulaatio klo 19:02-19:03



Spectrogrammikuvaaja

Kuva 7. Spektrogrammikuvaaja , päivämittaus, vaakaviivat ovat kapeakaistaista ääntä ja pystyviivat tuulivoimamelun amplitudimodulaatiota. Keltaiset pisteet kuvan alalaidassa ovat osin pulssimaista infraääntä.

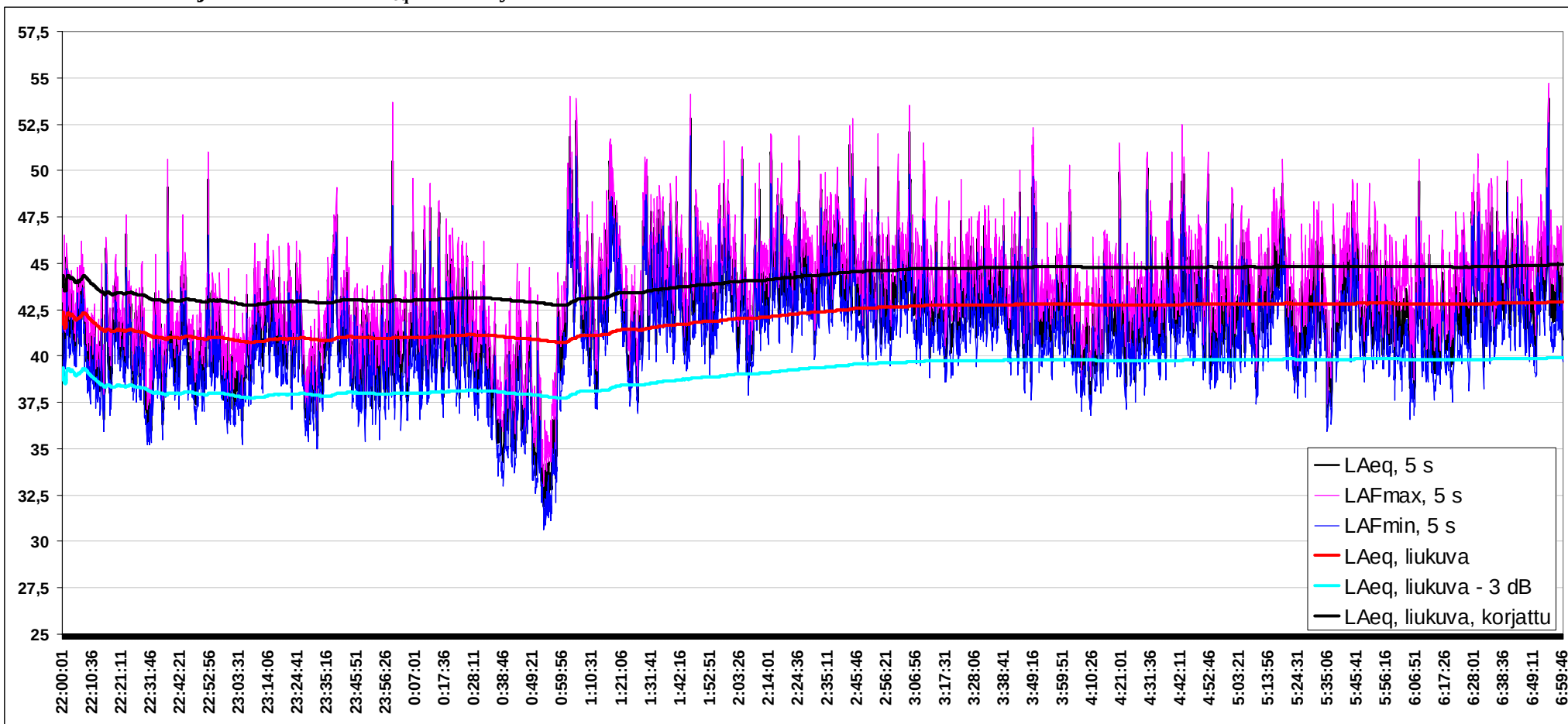


LIITE 4

MELUMITTAUSTULOKSET – 2. MITTAUS, YÖMELU KLO 22-07

Liite 4. Mittaus Nro 2, yömittaus (17.-18.10.2011) Piste P1, äänitason tuloksia.

Datalokkauskuvaaja sekä likuvan L_{Aeq} :n kehittyminen

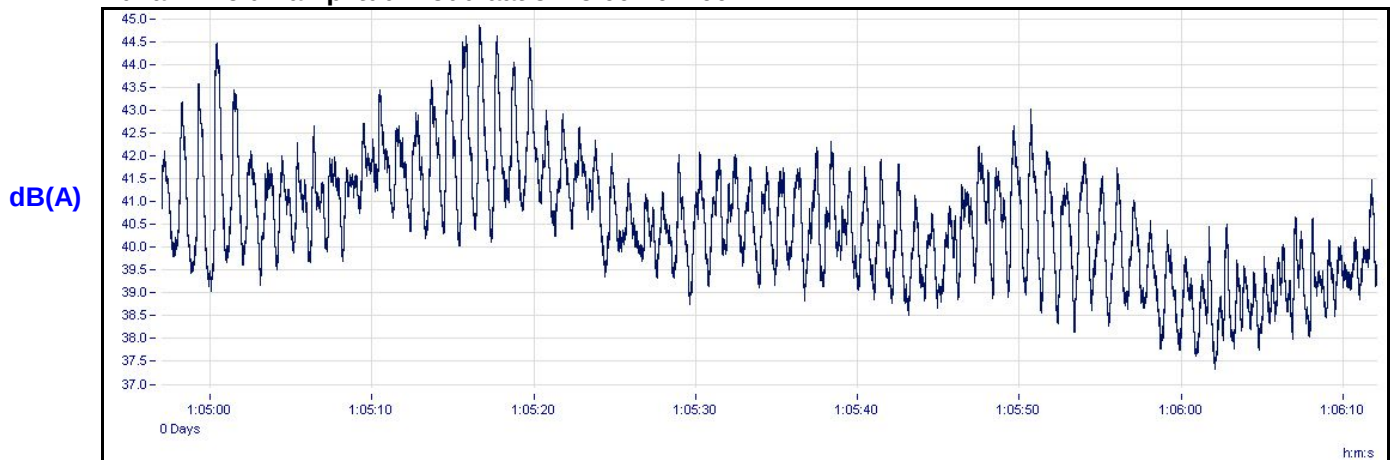


Taulukko 1. Säätila mittausten aikana, Bågarskär

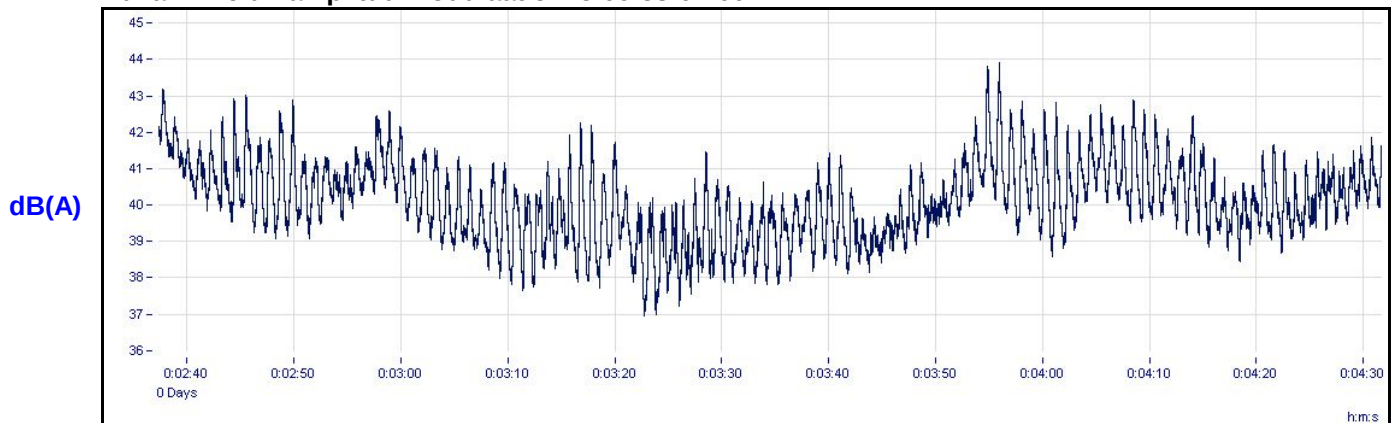
17.-18.10.2011	klo 22-23	klo 23-00	klo 00-01	klo 01-02	klo 02-03	klo 03-04	klo 04-05	klo 05-06	klo 06-07
Tuulennopeus	10 m/s	12 m/s	10 m/s	11 m/s	11 m/s	12 m/s	12 m/s	11 m/s	10 m/s
Tuulensuunta									
Ilmanpaine	1017 hPa	1016 hPa	1015 hPa	1014 hPa	1013 hPa	1013 hPa	1012 hPa	1012 hPa	1011 hPa
Lämpötila	11 °C	11 °C	10 °C	10 °C	10 °C	9 °C	9 °C	9 °C	9 °C
Kosteus	78 %	82 %	87 %	88 %	88 %	87 %	87 %	88 %	89 %
Pilvisuus	8/8	7/8	7/8	7/8	6/8	7/8	8/8	7/8	7/8

Näytteetottokuvat 17.-18.10.2011

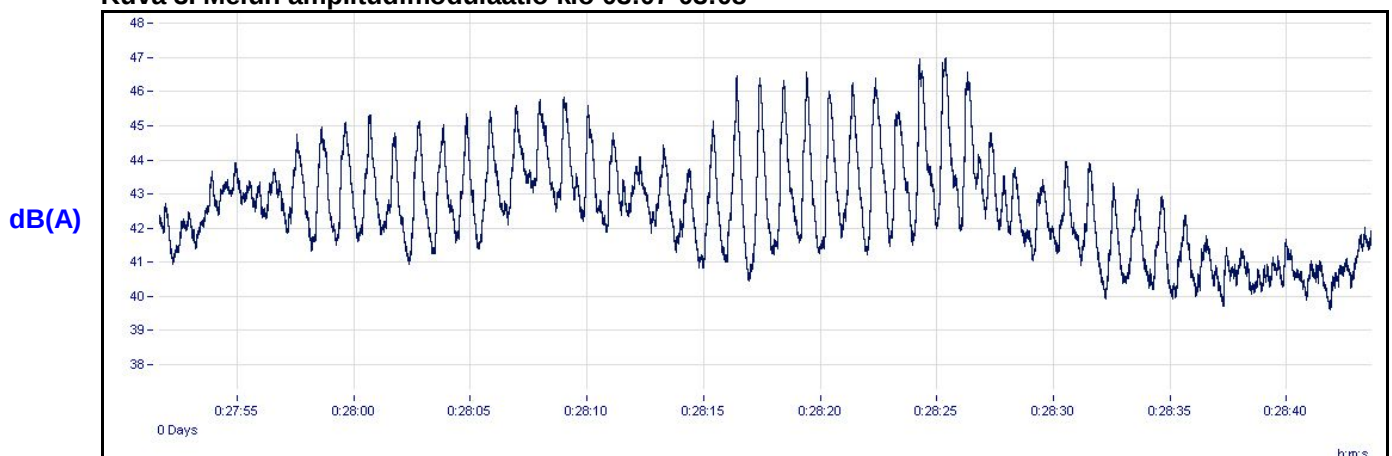
Kuva 1. Melun amplitudimodulaatio klo 00:20 – 00:21



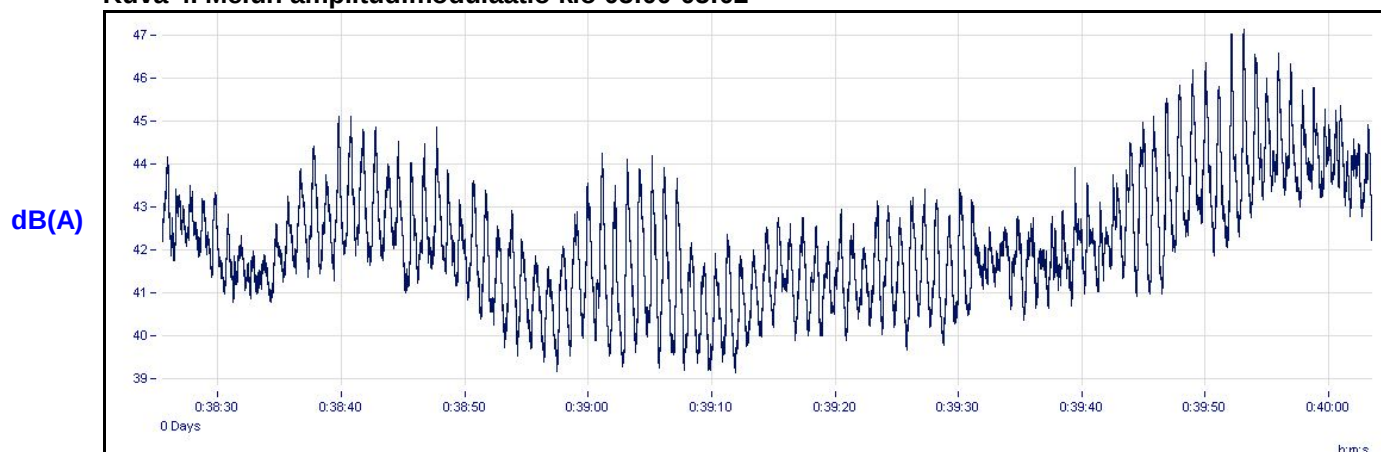
Kuva 2. Melun amplitudimodulaatio klo 00:58-01:00



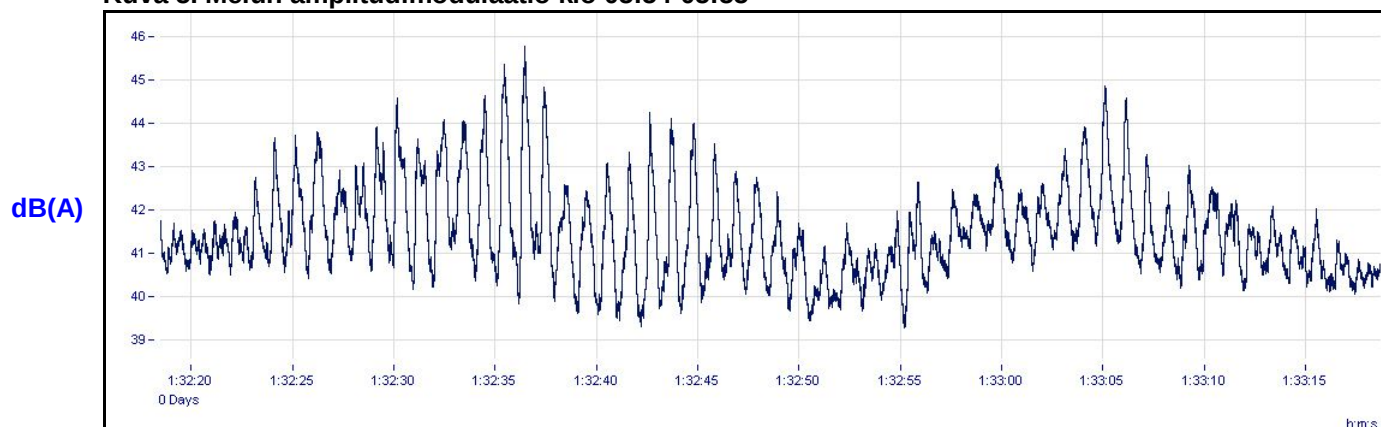
Kuva 3. Melun amplitudimodulaatio klo 03:07-03:08



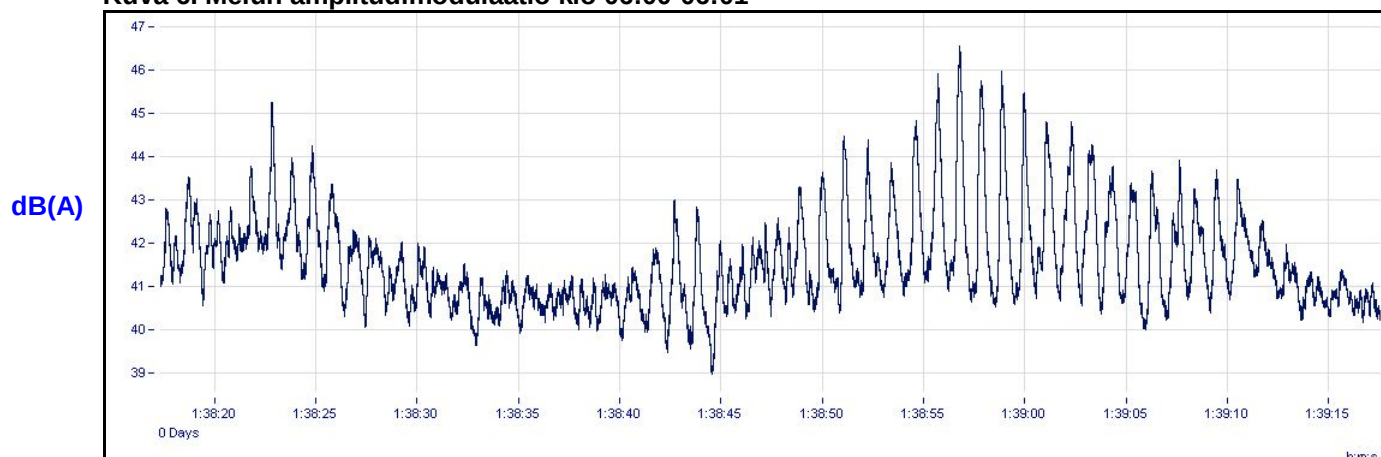
Kuva 4. Melun amplitudimodulaatio klo 05:00-05:02



Kuva 5. Melun amplitudimodulaatio klo 05:54-05:55

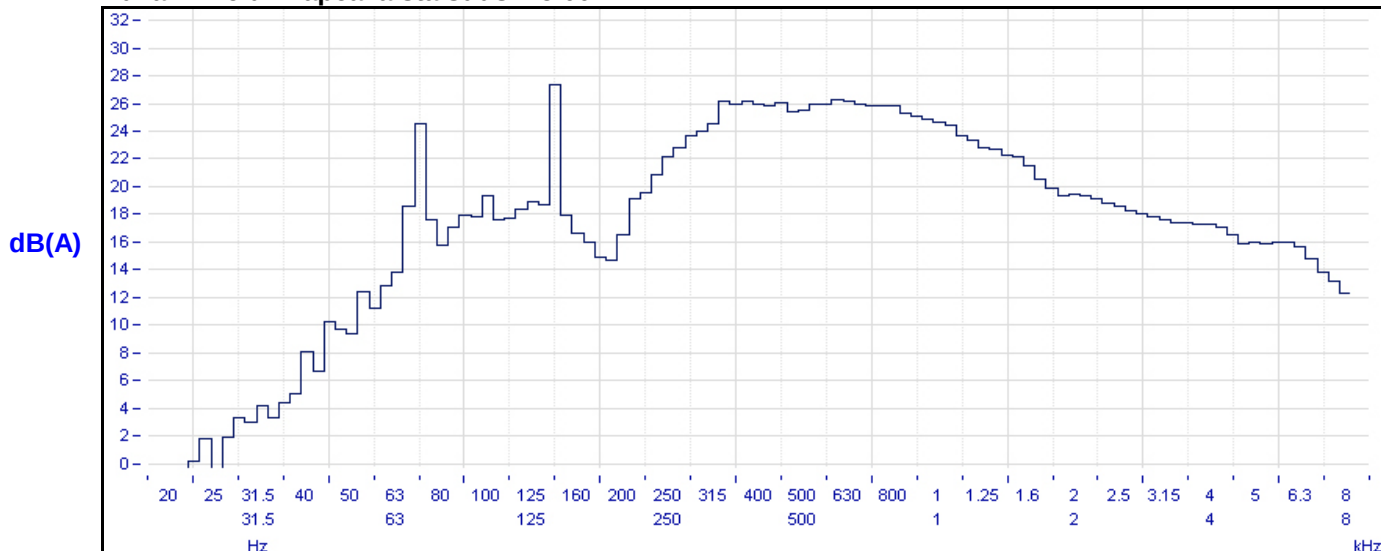


Kuva 6. Melun amplitudimodulaatio klo 06:00-06:01

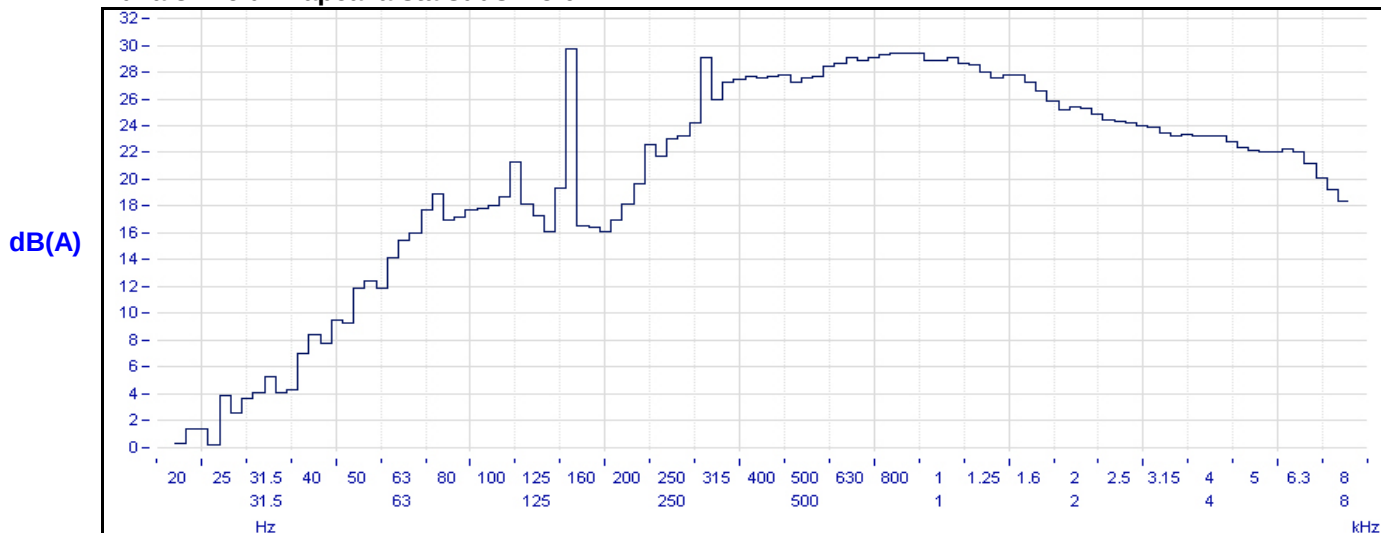


Melun kapeakaistakuvaajat 17.-18.10.2011 , 1/12 oktaavikaistat 20 Hz – 8kHz.

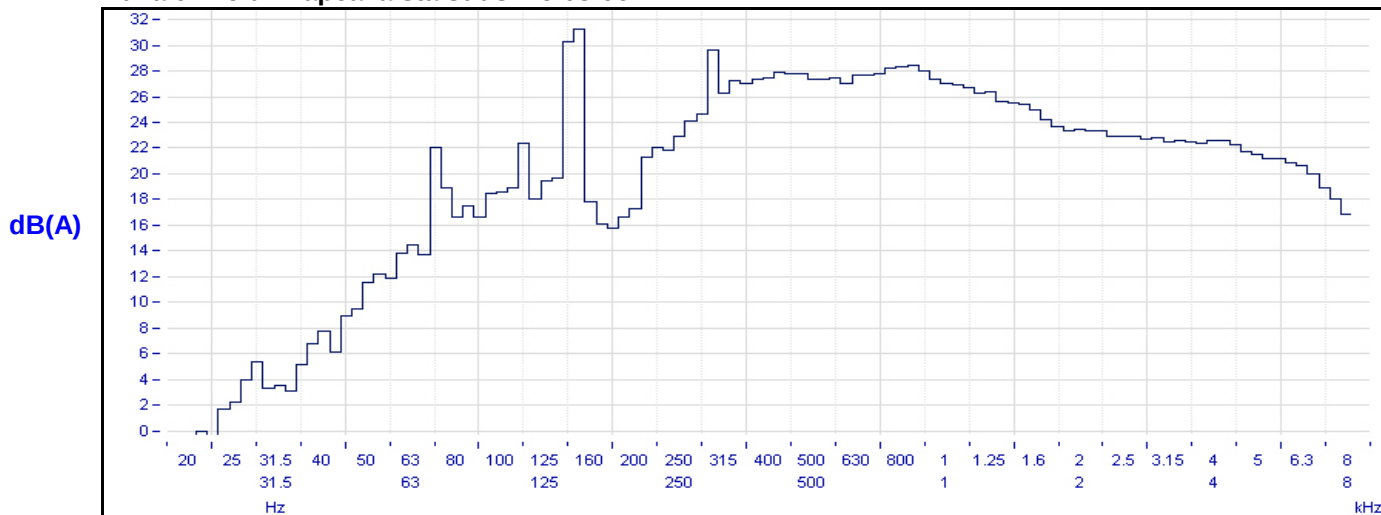
Kuva 7. Melun kapeakaistaisuus klo 00:21



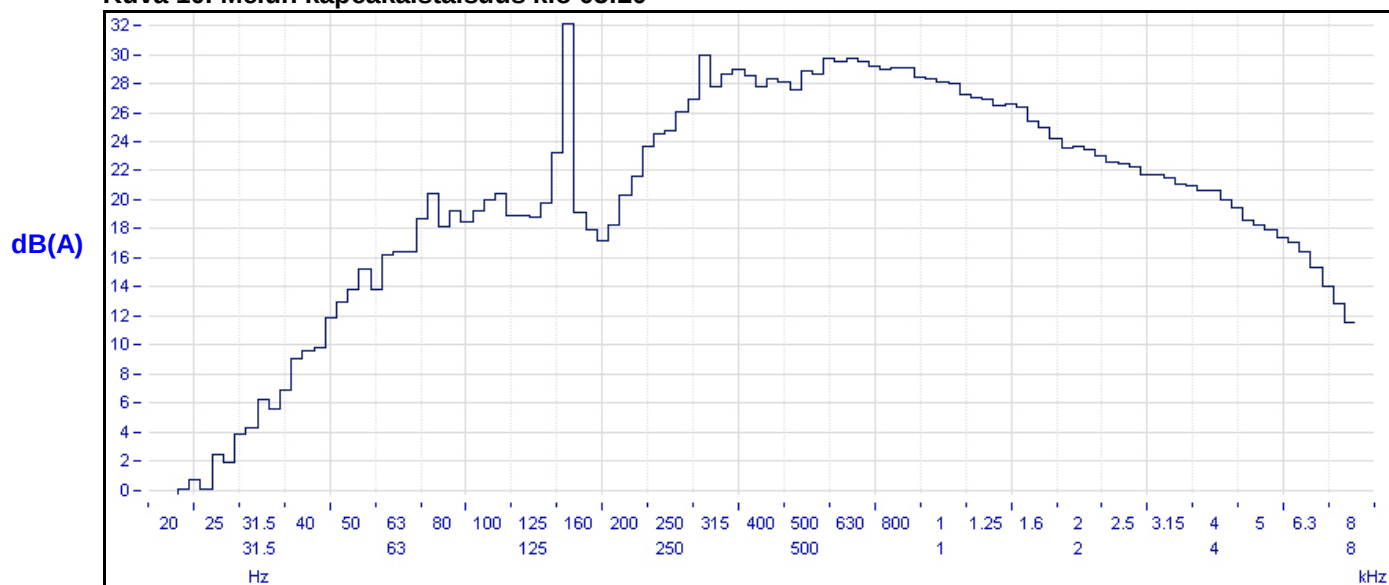
Kuva 8. Melun kapeakaistaisuus klo 02:21



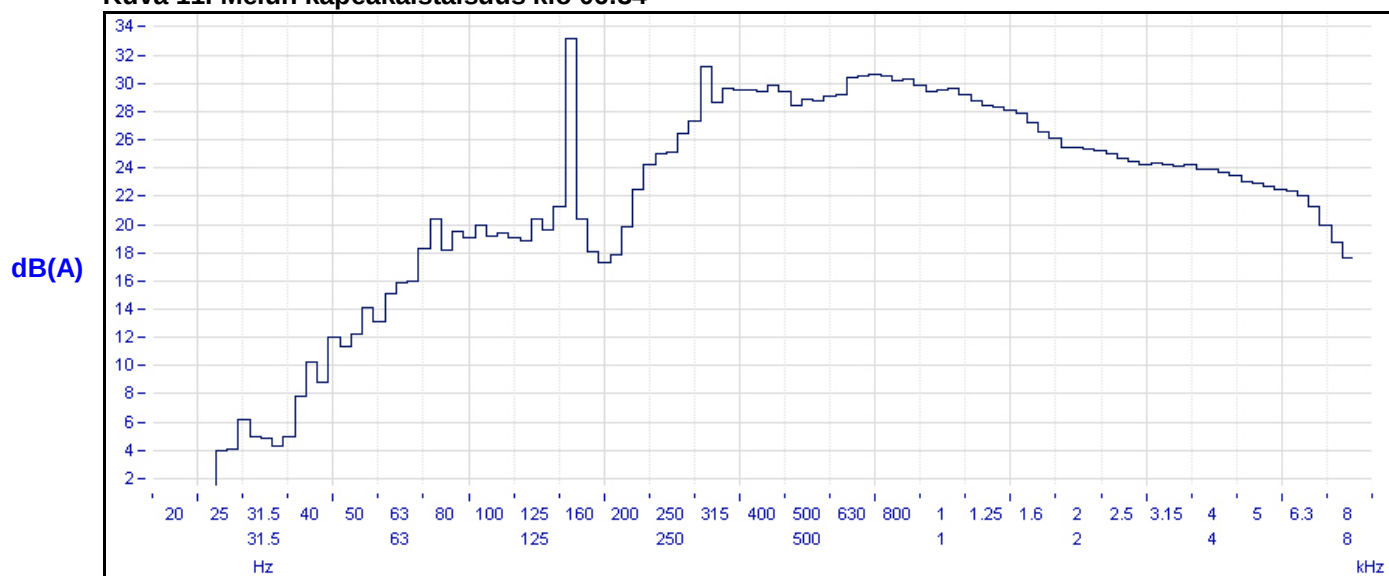
Kuva 9. Melun kapeakaistaisuus klo 03:06



Kuva 10. Melun kapeakaistaisuus klo 05:20

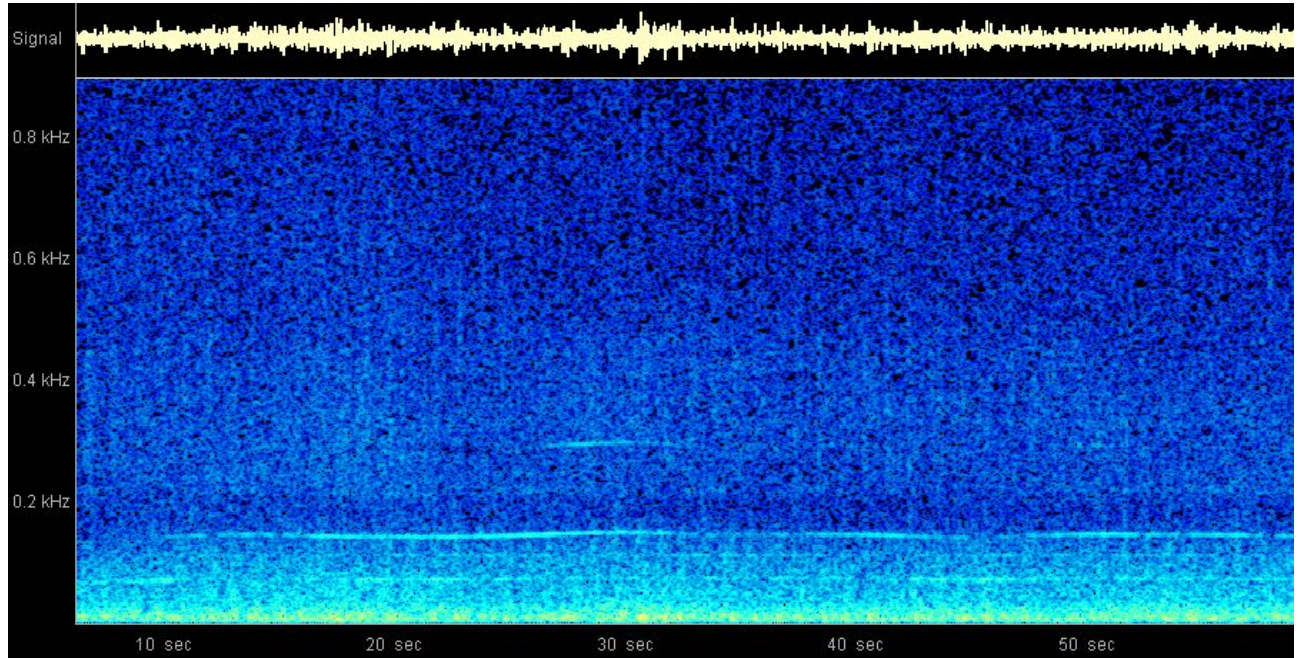


Kuva 11. Melun kapeakaistaisuus klo 06:34



Spectrogrammikuvaaja, 2.mittaus, yömittaus

Kuva12. Spektrogrammikuvaajassa vaakaviivat ovat kapeakaistaista ääntä ja pystyviivat tuulivoimamelun amplitudimodulaatiota. Keltaiset pisteet kuvan alalaidassa ovat osin pulssimaista infraääntä.

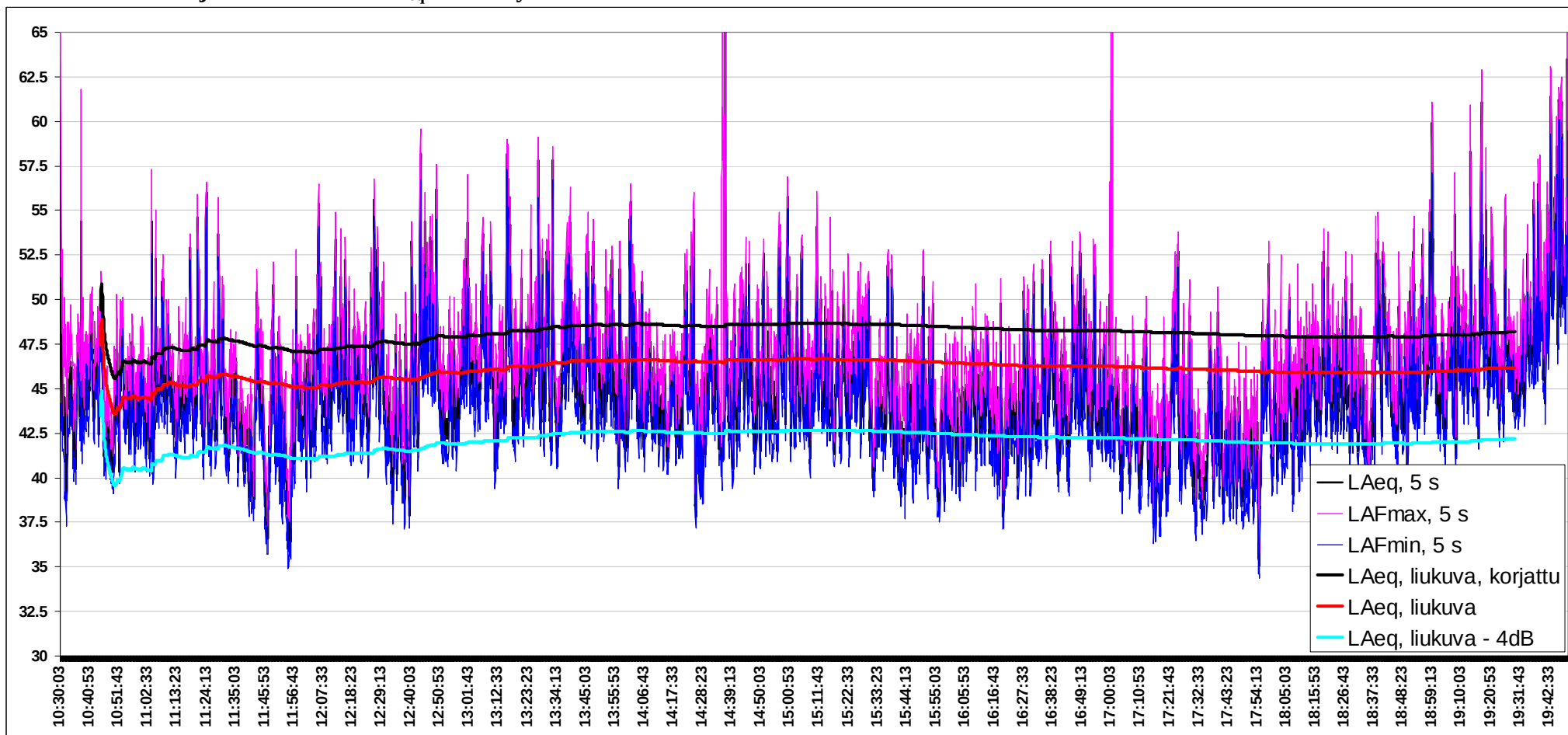


LIITE 5

MELUMITTAUSTULOKSET – 2. MITTAUS, PÄIVÄMELU KLO 07-22

Liite 5. Mittaus Nro 2, päivämittaus (18.10.2011) Piste P1, äänitason tuloksia.

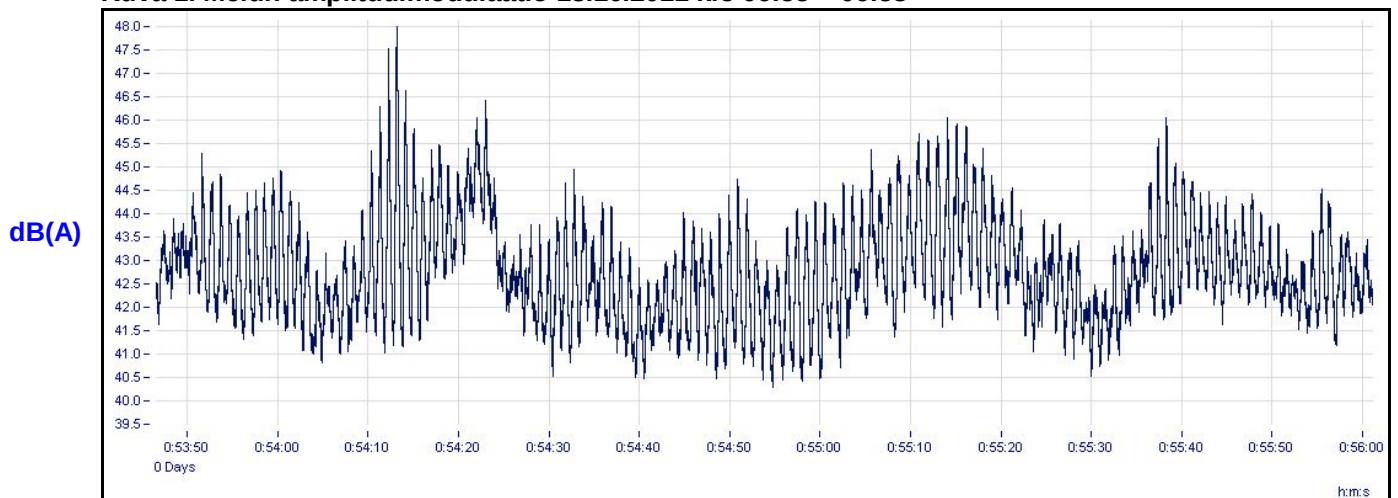
Datalokkauskuvaaja sekä liukuvan L_{Aeq} :n kehittyminen



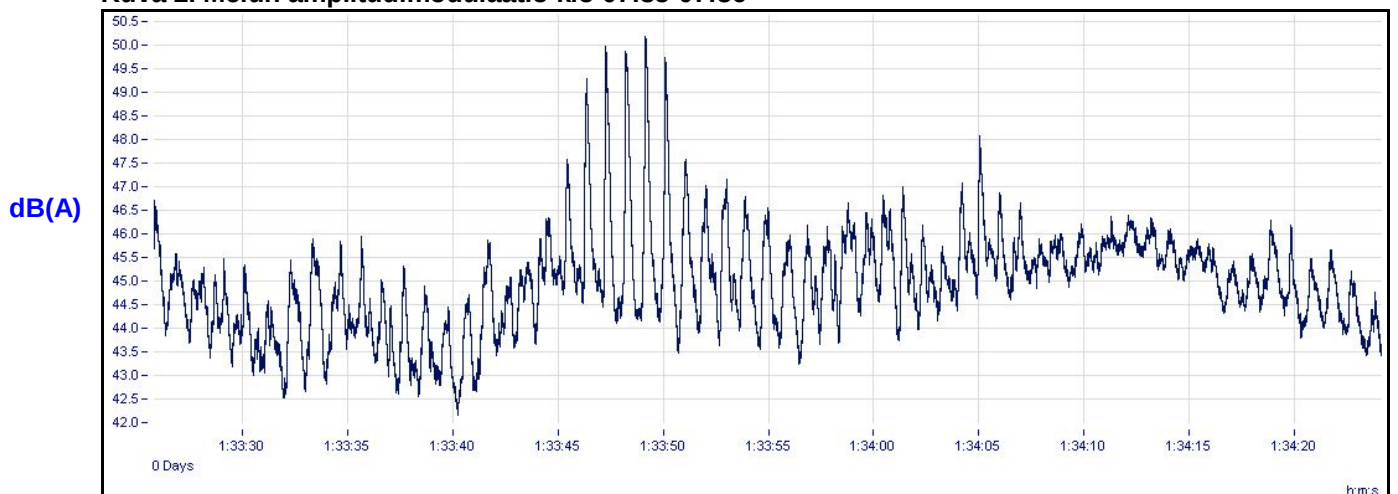
Taulukko 1. Säätila mittausten aikana, Bågarskär ja Barösund (ilmanpaine, B&K)

18.10.2011	klo 07-08	klo 08-09	klo 09-10	klo 10-11	klo 11-12	klo 12-13	klo 13-14	klo 14-15	klo 15-16	klo 16-17	klo 17-18	klo 18-19
Tuulennopeus	10 m/s	10 m/s	10.5 m/s	11 m/s	10 m/s	10 m/s	10 m/s	10 m/s	10.5 m/s	11 m/s	12 m/s	13 m/s
Tuulensuunta												
Ilmanpaine	1011 hPa	1011 hPa	1010 hPa	1010 hPa	1009 hPa	1009 hPa	1008 hPa	1008 hPa	1007 hPa	1007 hPa	1006 hPa	1006 hPa
Lämpötila	9 °C	9 °C	8.5 °C	9 °C	10 °C	10 °C	10 °C	10 °C	10 °C	10 °C	10 °C	10 °C
Kosteus	88 %	88 %	89 %	90 %	90 %	87 %	85 %	83 %	82 %	82 %	79%	77 %
Pilvisuus	7/8	7/8	8/8	7/8	7/8	7/8	5/8	7/8	7/8	7/8	5/8	1/8

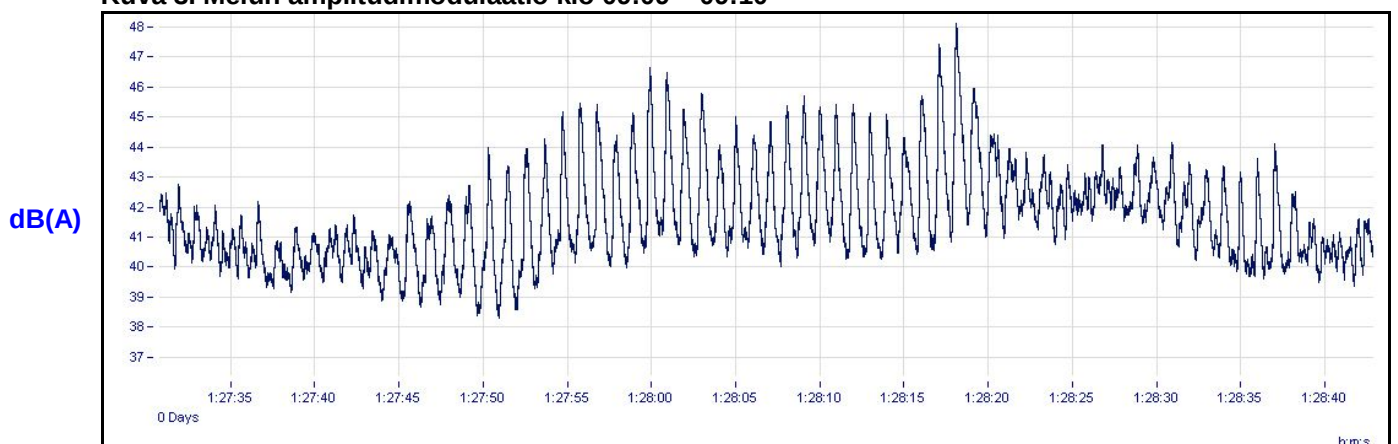
Kuva 1. Melun amplitudimodulaatio 18.10.2011 klo 06:55 – 06:58



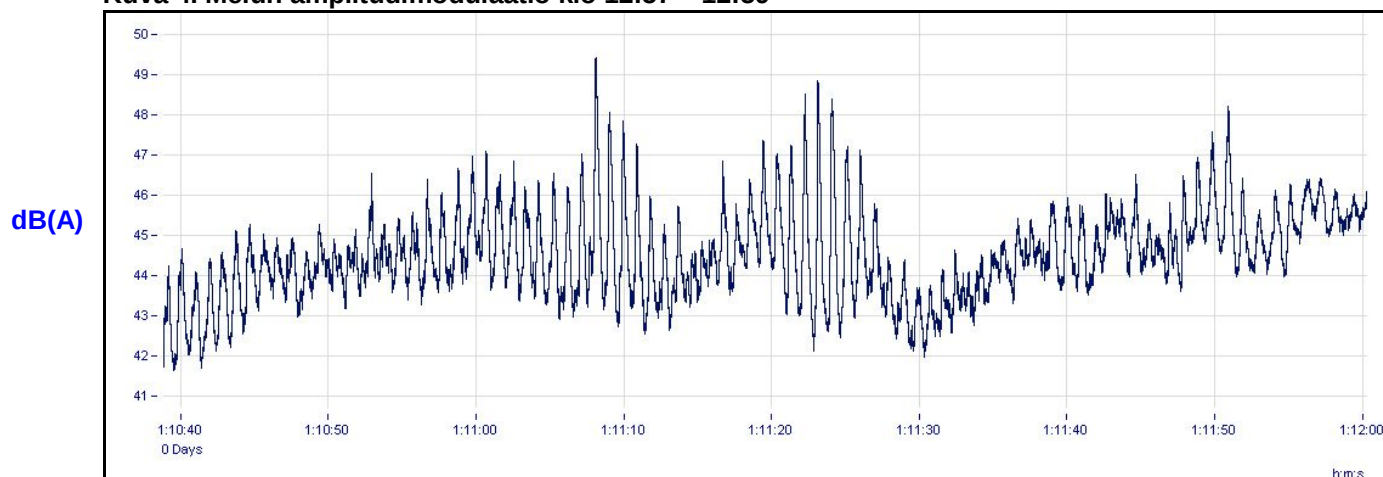
Kuva 2. Melun amplitudimodulaatio klo 07:35-07:36



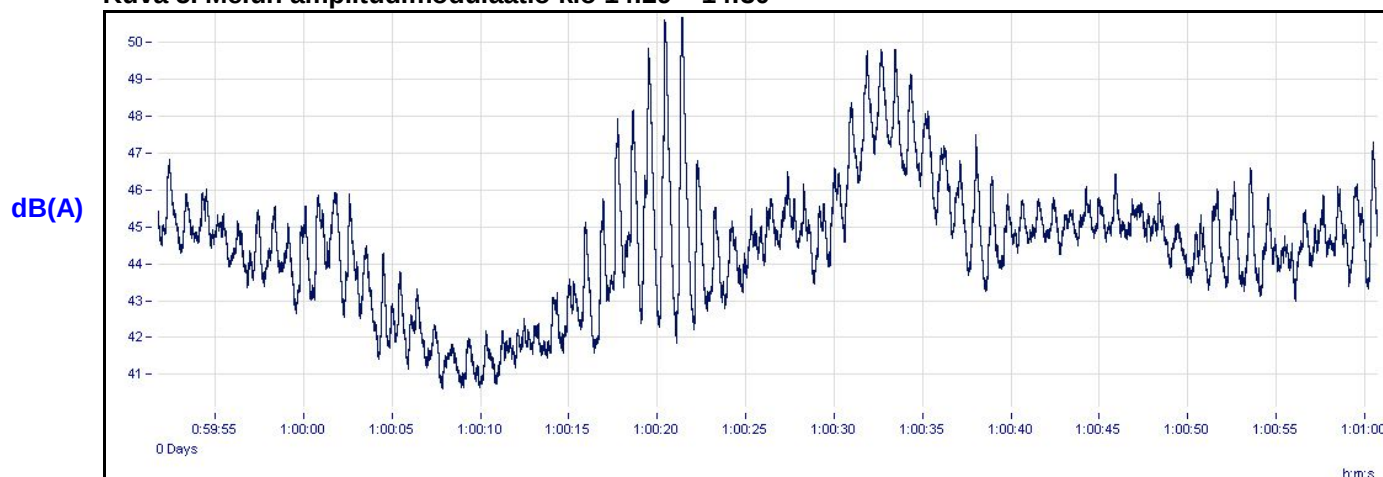
Kuva 3. Melun amplitudimodulaatio klo 09:09 – 09:10



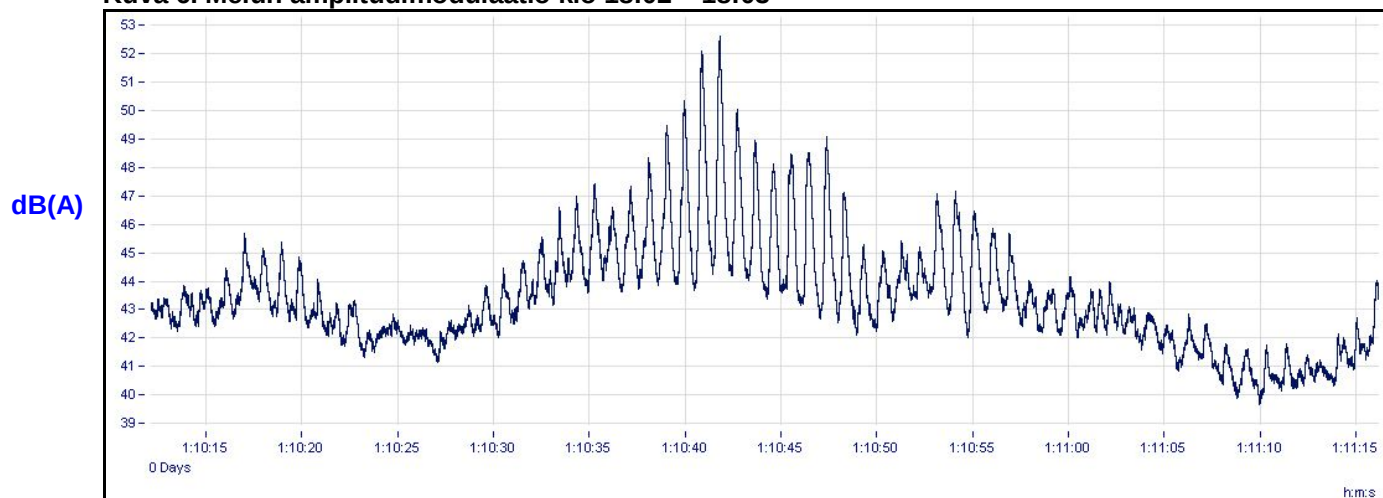
Kuva 4. Melun amplitudimodulaatio klo 12:57 – 12:59



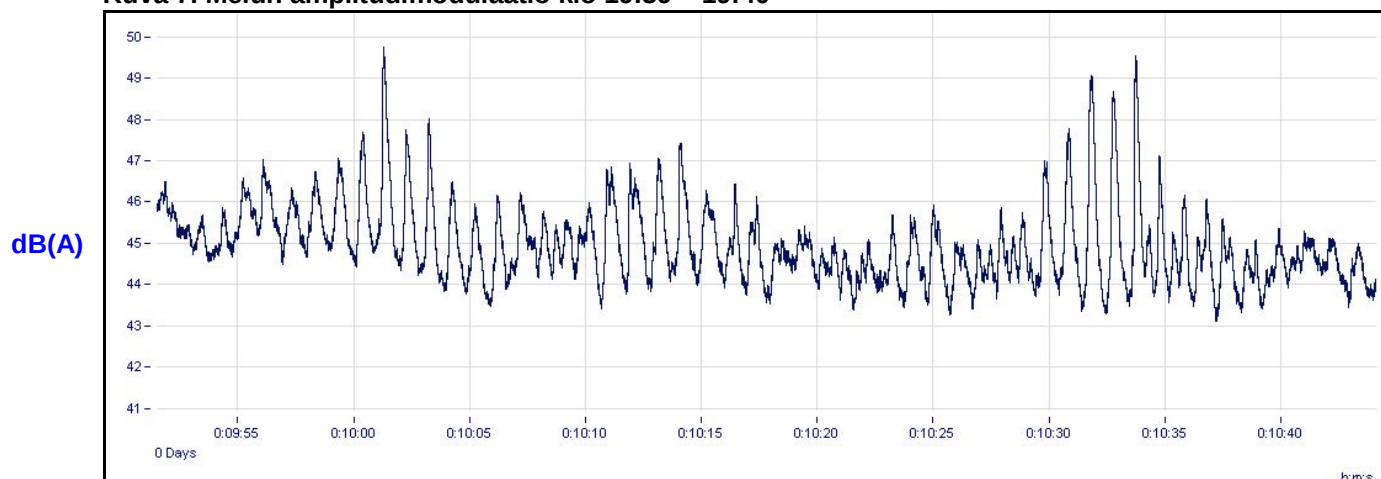
Kuva 5. Melun amplitudimodulaatio klo 14:29 – 14:30



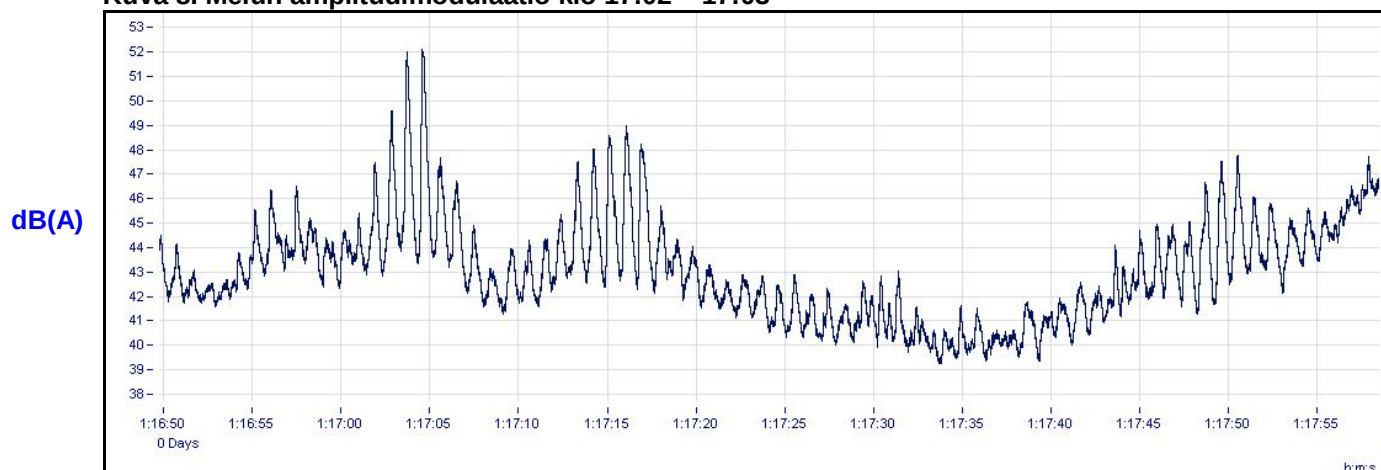
Kuva 6. Melun amplitudimodulaatio klo 18:02 – 18:03



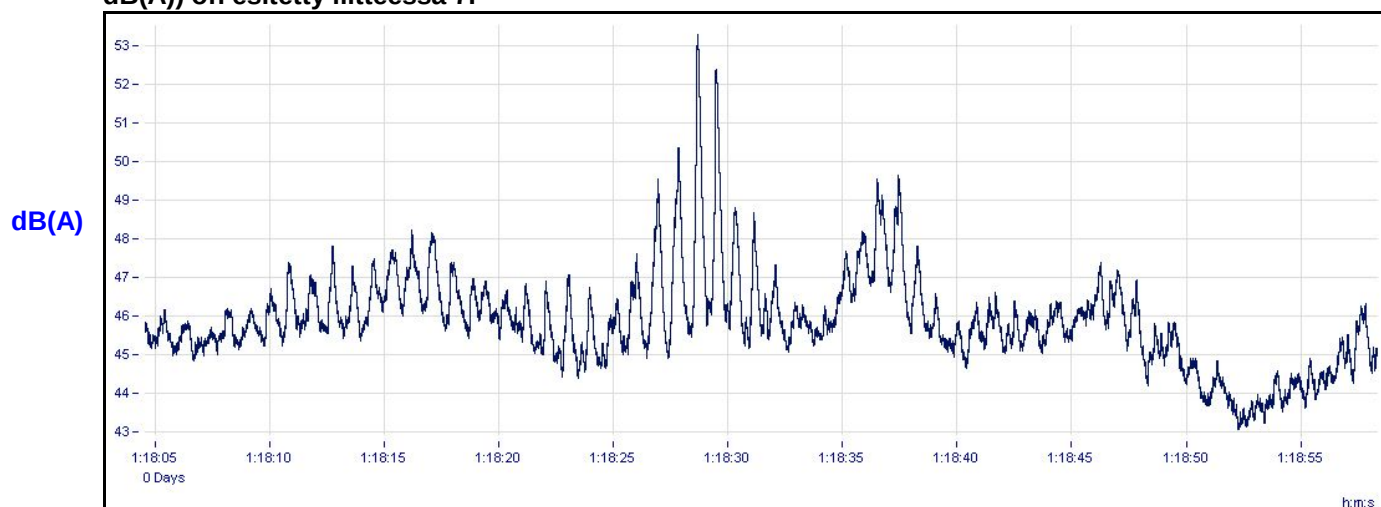
Kuva 7. Melun amplitudimodulaatio klo 19:39 – 19:40



Kuva 8. Melun amplitudimodulaatio klo 17:02 – 17:03

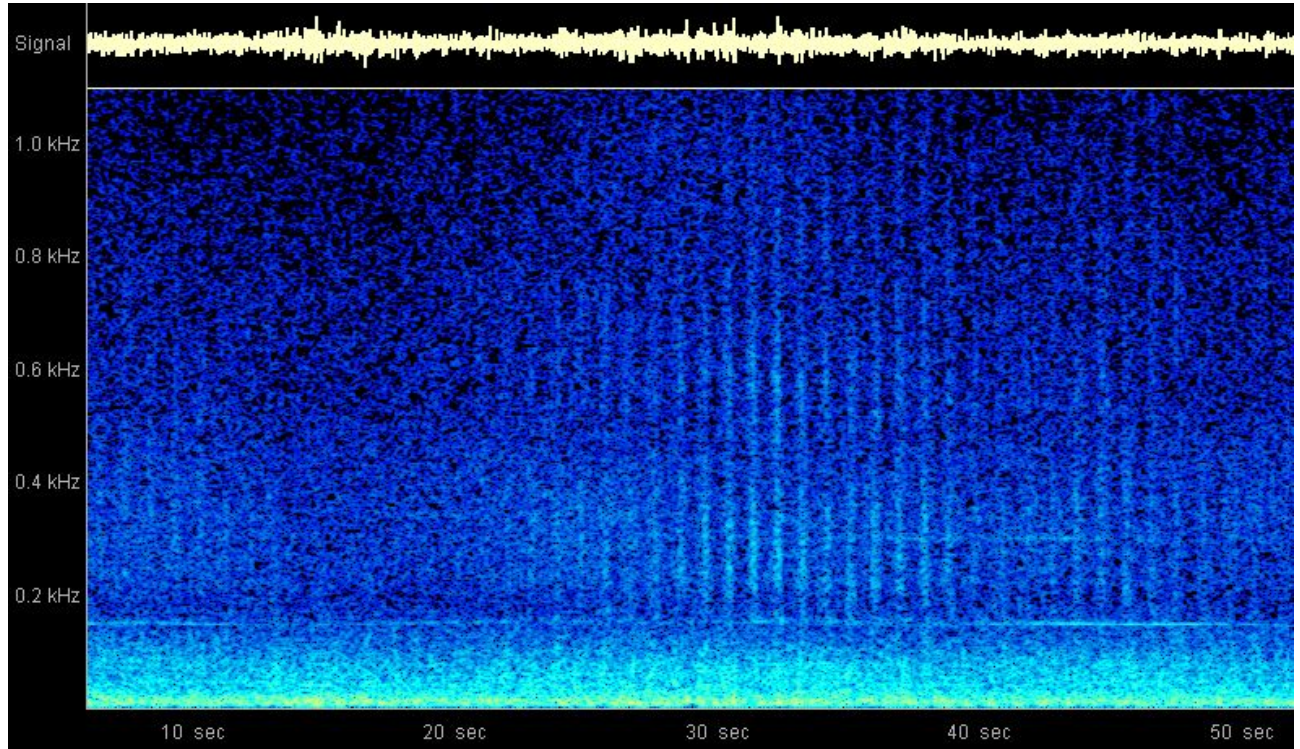


Kuva 9. Melun amplitudimodulaatio klo 19:40 – 19:41. Hetkellistason mallinnuskuvaaja (Lp = 53 dB(A)) on esitetty liitteessä 7.

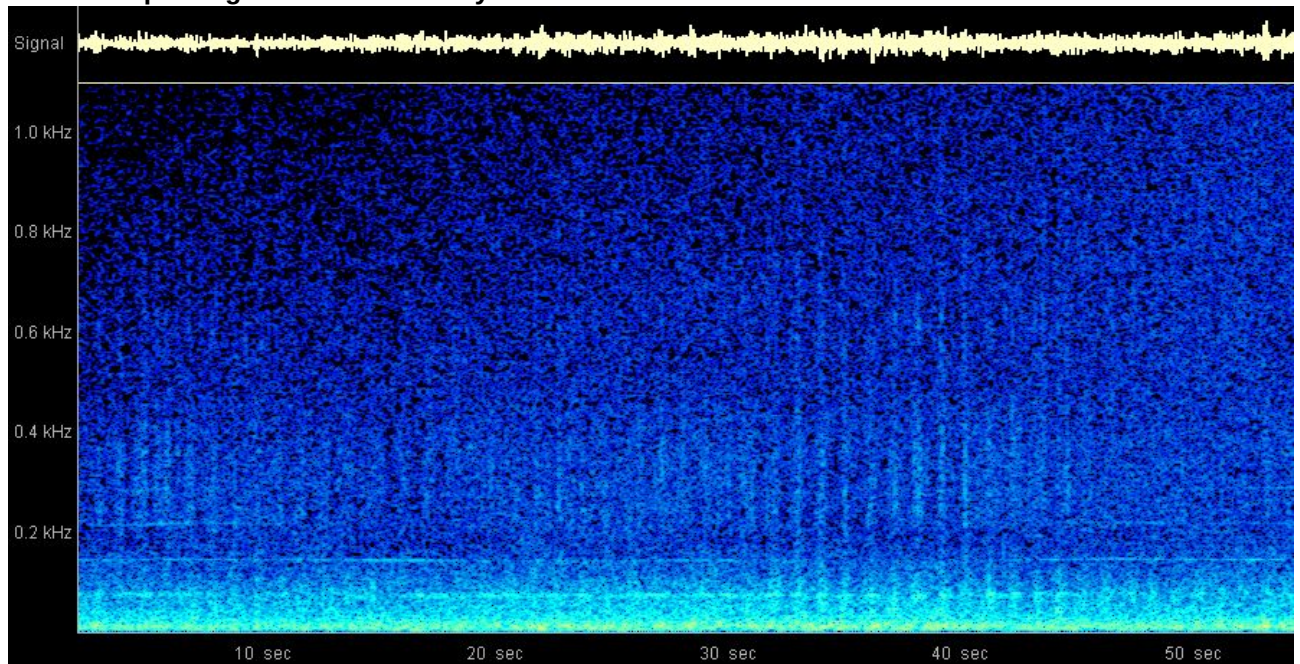


Spektrogrammikuvaajat

Kuva10. Spektrogrammikuvaaja , päivämittaus 18.10.2011 klo 18:02 vaakaviivat ovat kapeakaistaista ääntä ja pystyviivat tuulivoimamelun amplitudimodulaatiota. Keltaiset pisteet kuvan alalaidassa ovat osin pulssimaista infraääntä.



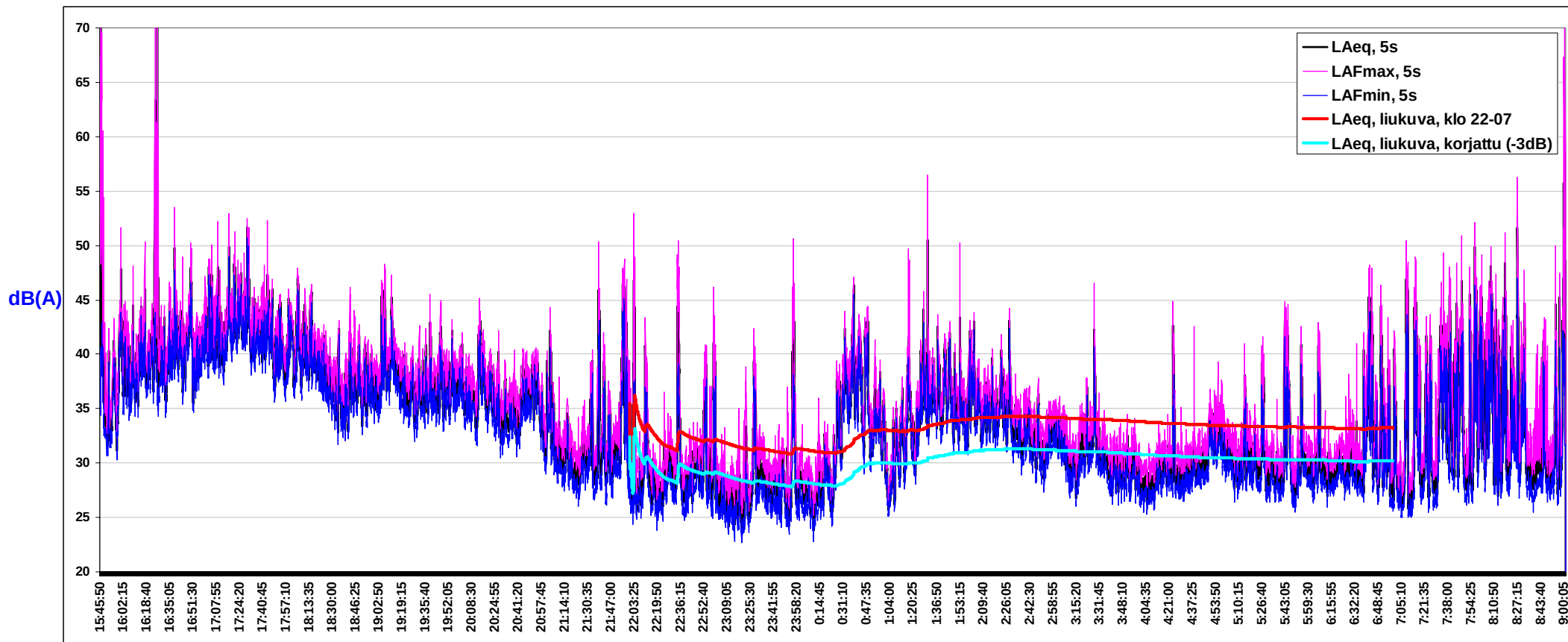
Kuva 11. Spektrogrammikuva ääninäytteestä



LIITE 6

MELUMITTAUSTULOKSET – 3. MITTAUS

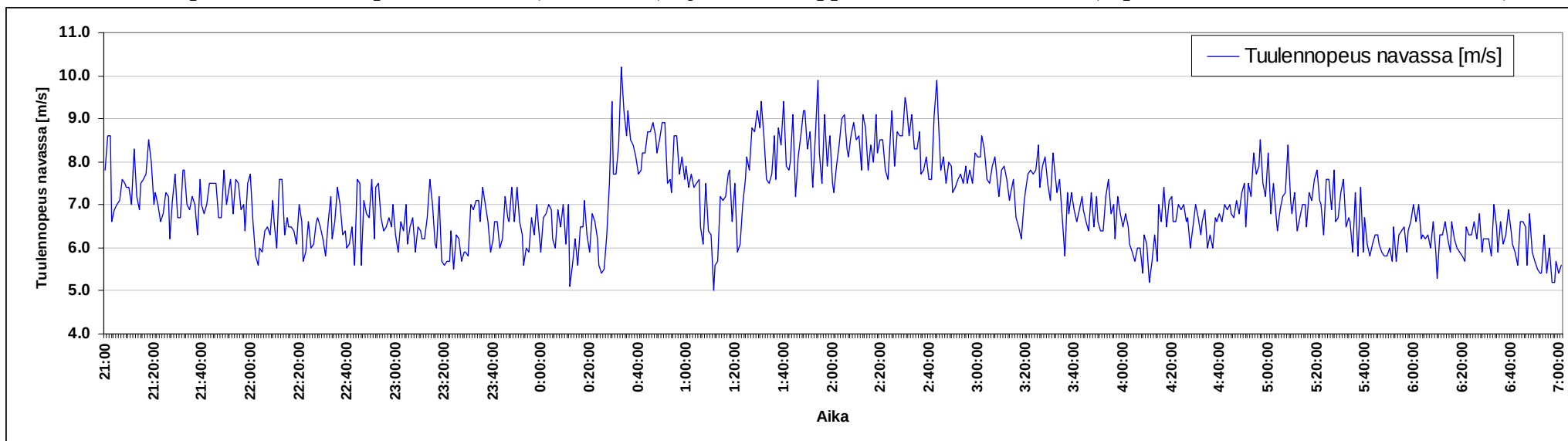
Liite 6. Mittaus Nro 3, yömittaus (14.-15.11.2011) Piste P1, äänitason tuloksia.



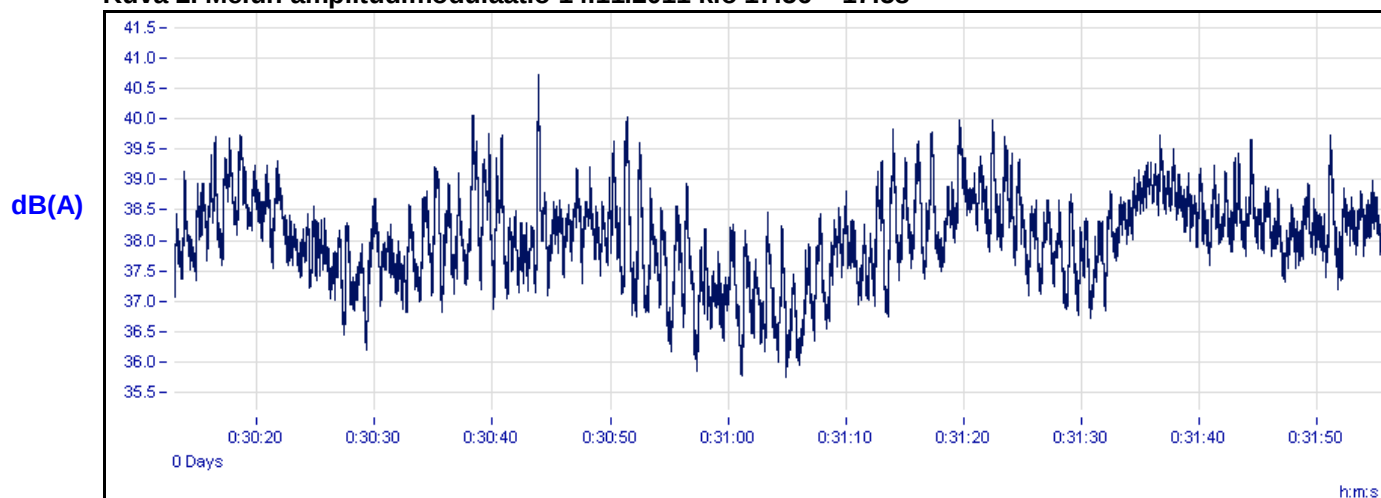
Taulukko 1. Säätila mittausten aikana, Bågarskär ja Barösund

14.-15.11.2011	klo 22-23	klo 23-00	klo 00-01	klo 01-02	klo 02-03	klo 03-04	klo 04-05	klo 05-06	klo 06-07
Tuulennopeus (Bågarskär, 10m)	6.5 m/s	5 m/s	4.5 m/s	5 m/s	7.5 m/s	7 m/s	7 m/s	7 m/s	7 m/s
Tuulensuunta	↓	↘	↘	↘	↓	↓	↘	↘	↘
Ilmanpaine	1017 hPa	1017 hPa	1017 hPa	1018 hPa	1018 hPa	1019 hPa	1020 hPa	1021 hPa	1021 hPa
Lämpötila	6 °C	4.5 °C	4.5 °C	4 °C	3.5 °C	3 °C	2.5 °C	3 °C	2.5 °C
Kosteus	70 %	78 %	83 %	75 %	70 %	79 %	76 %	70 %	75 %
Pilvisyys	4/8	3/8	0/8	8/8	1/8	0/8	4/8	4/8	8/8

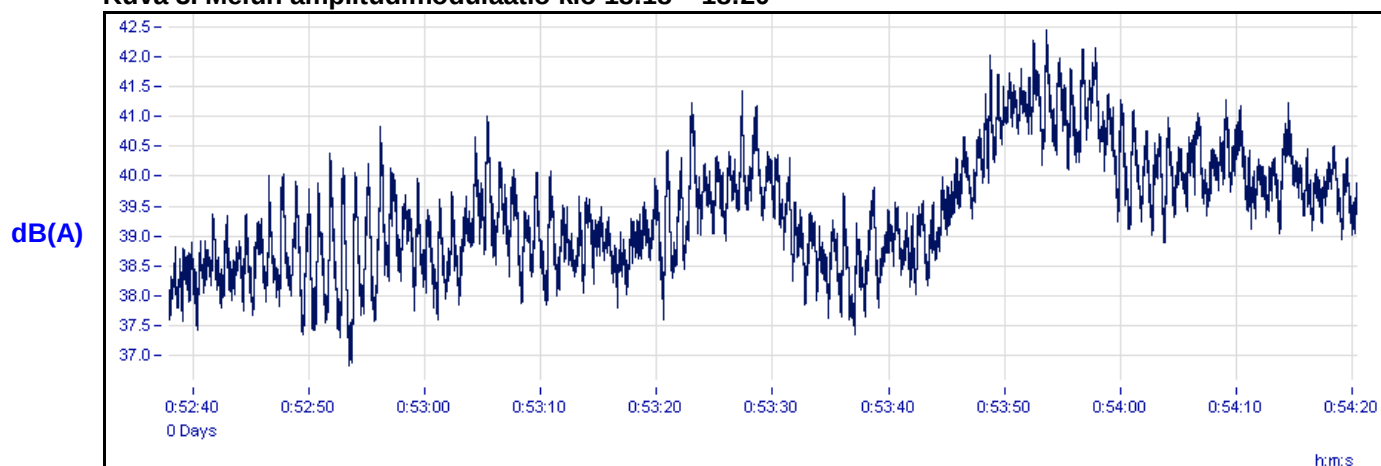
Kuva 1. Tuulennopeus voimalan napakorkeudella (65m + 30m) sijaitsevan kuppianemometrin mukaan (siipien takana tuulensuuntaan nähden)



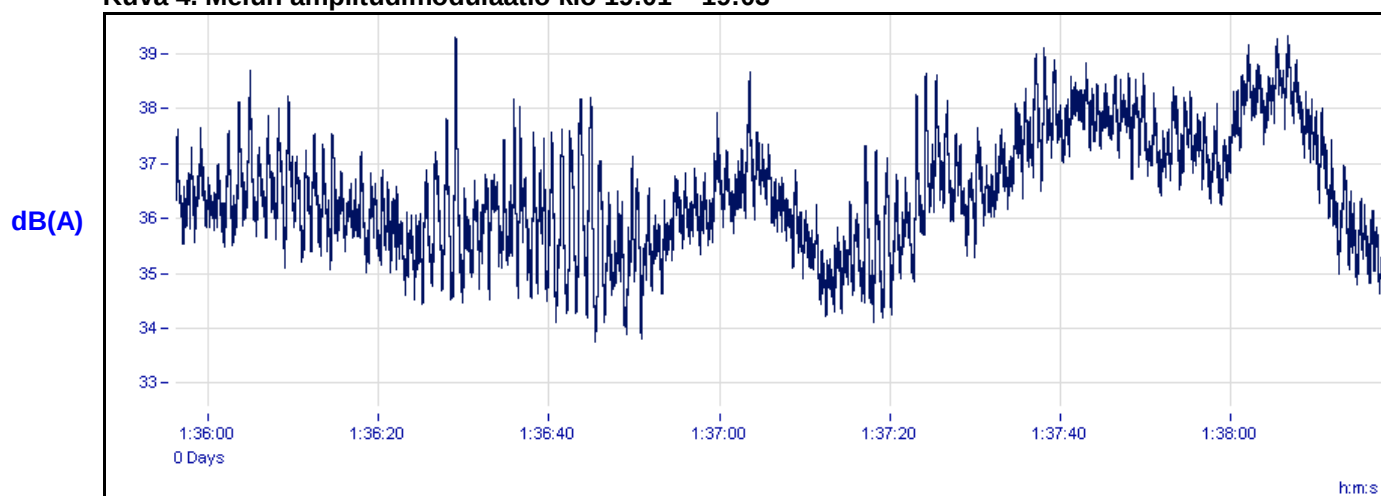
Kuva 2. Melun amplitudimodulaatio 14.11.2011 klo 17:56 – 17:58



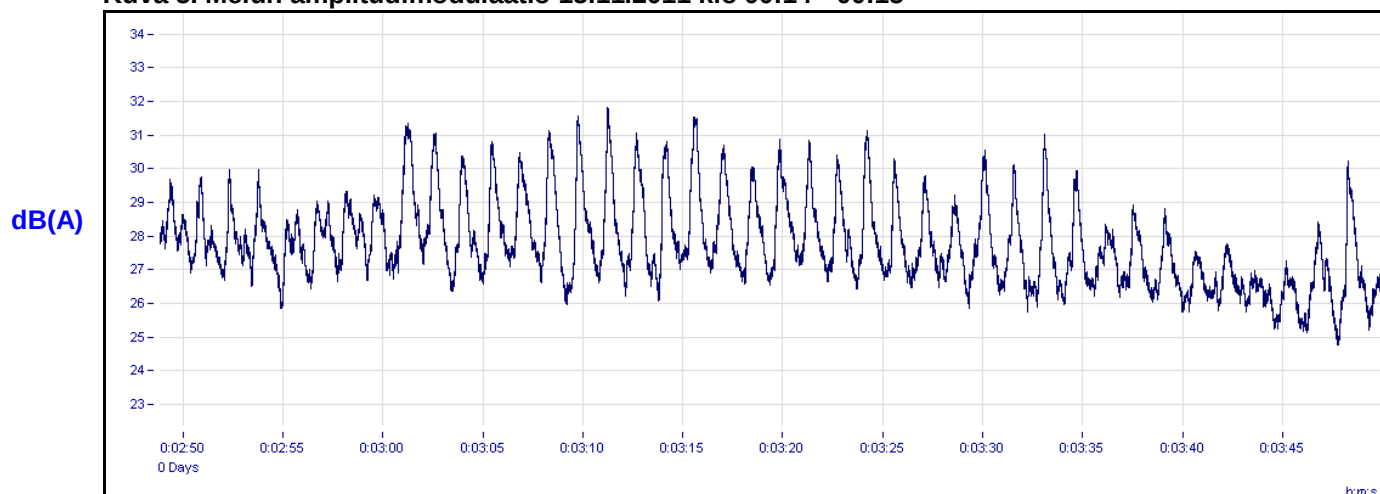
Kuva 3. Melun amplitudimodulaatio klo 18:18 – 18:20



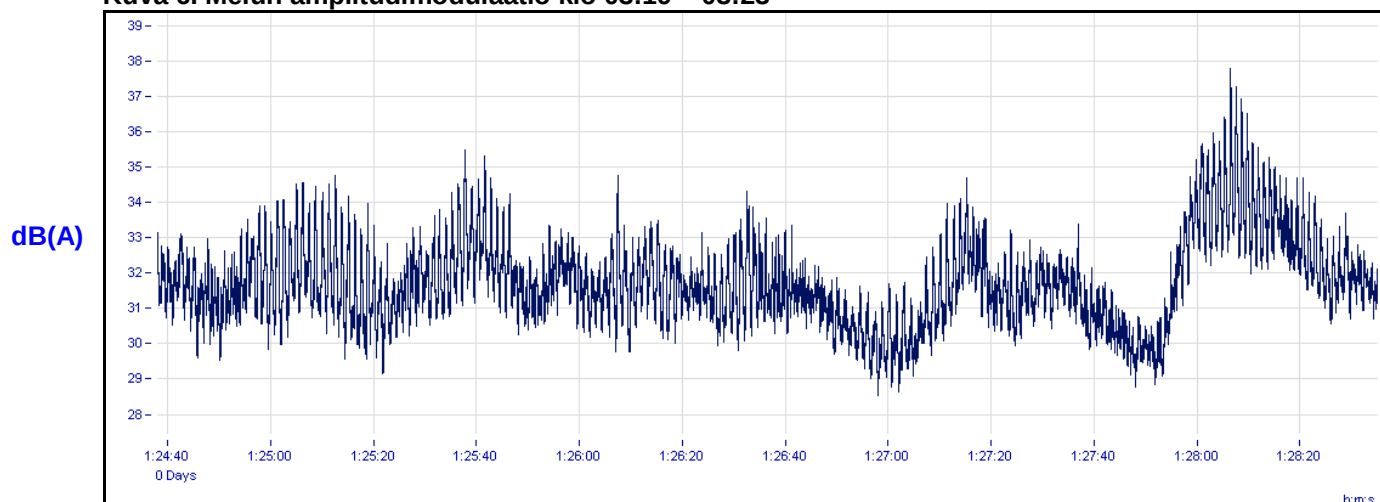
Kuva 4. Melun amplitudimodulaatio klo 19:01 – 19:03



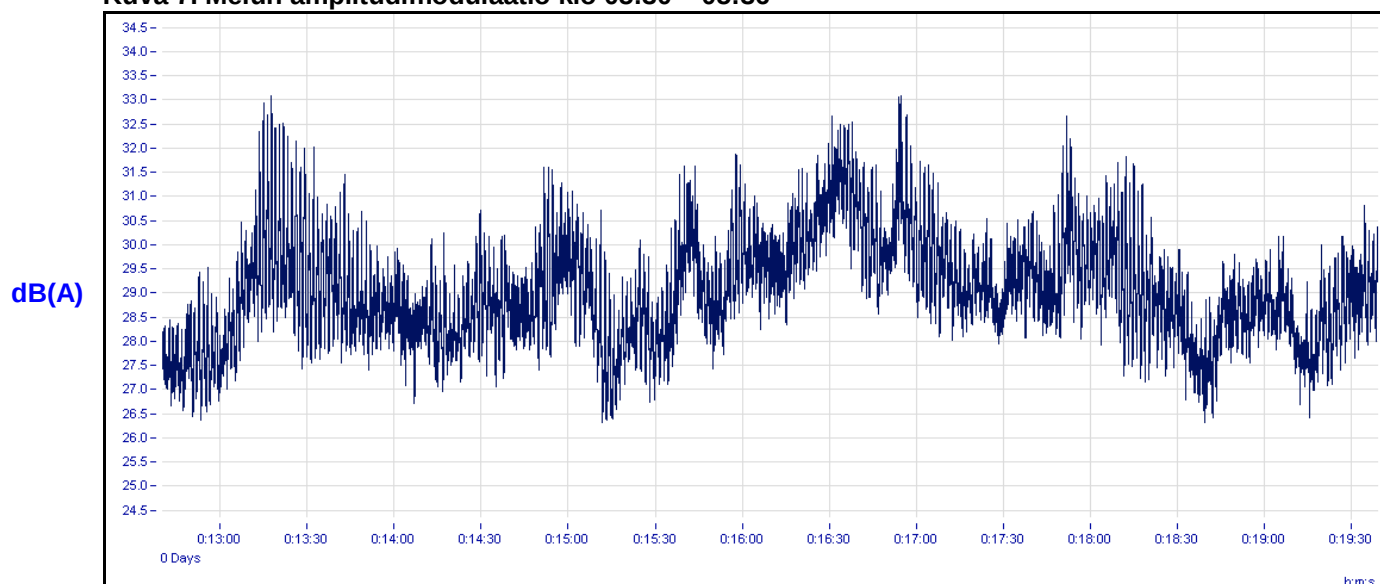
Kuva 5. Melun amplitudimodulaatio 15.11.2011 klo 00:14 - 00:15



Kuva 6. Melun amplitudimodulaatio klo 03:19 – 03:23

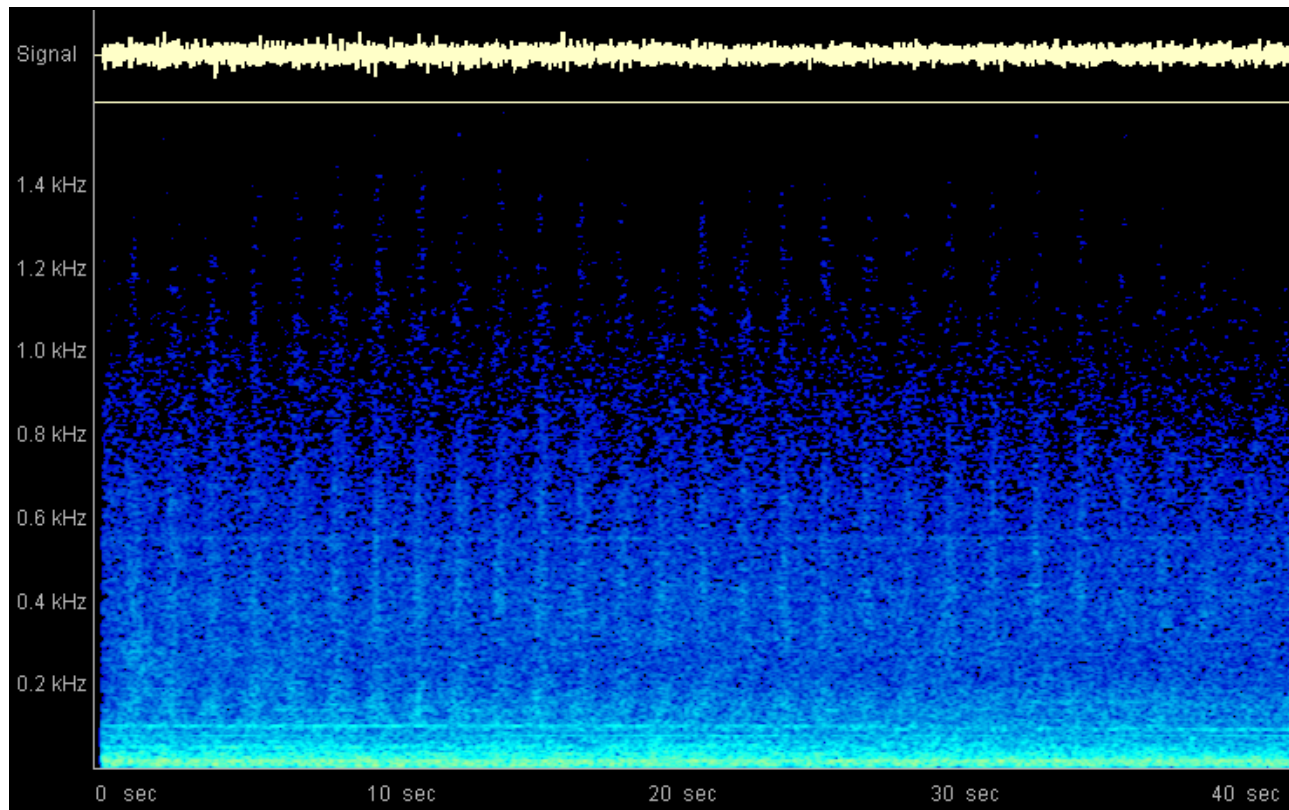


Kuva 7. Melun amplitudimodulaatio klo 05:30 – 05:36



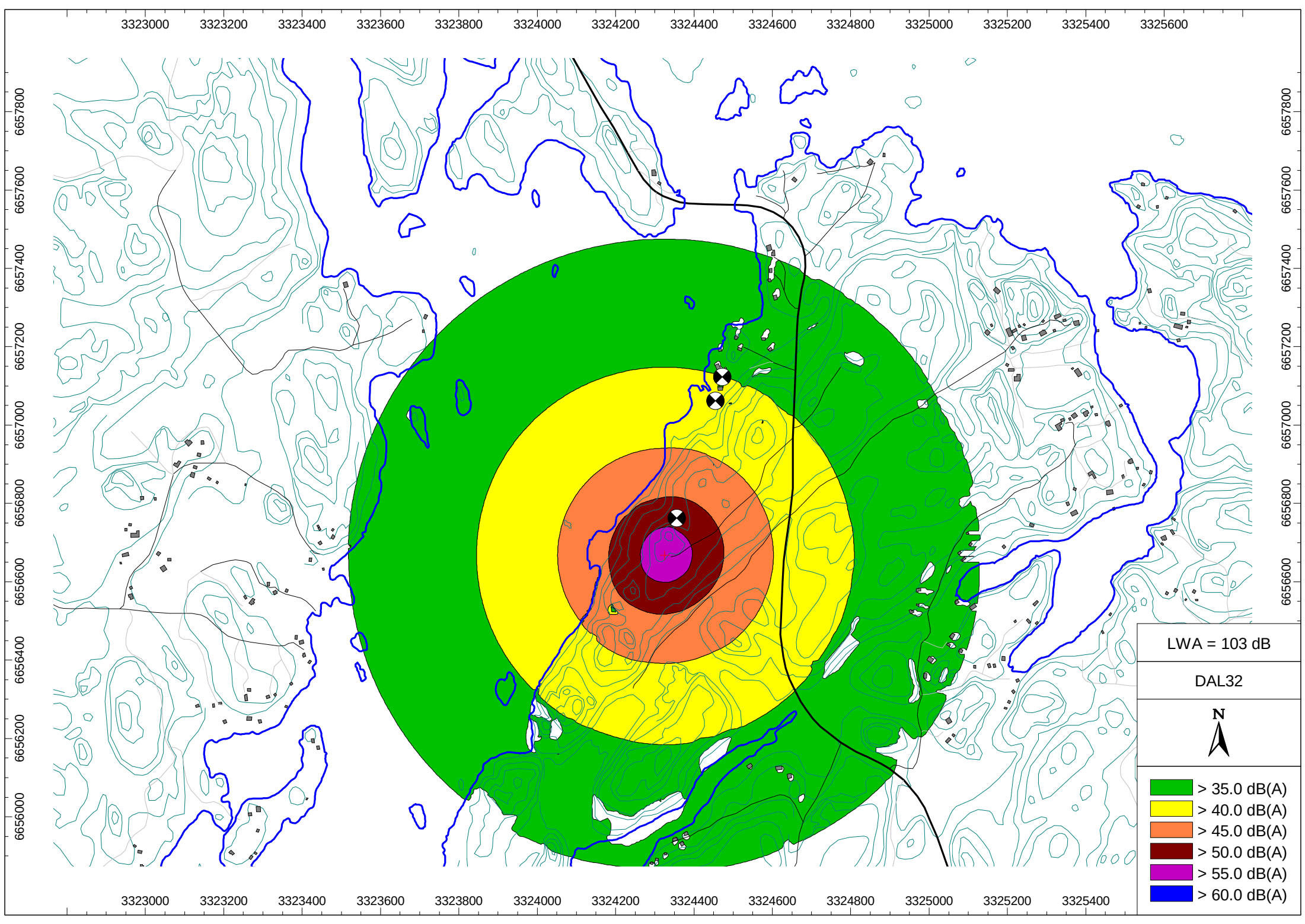
Spectrogrammikuvaaja

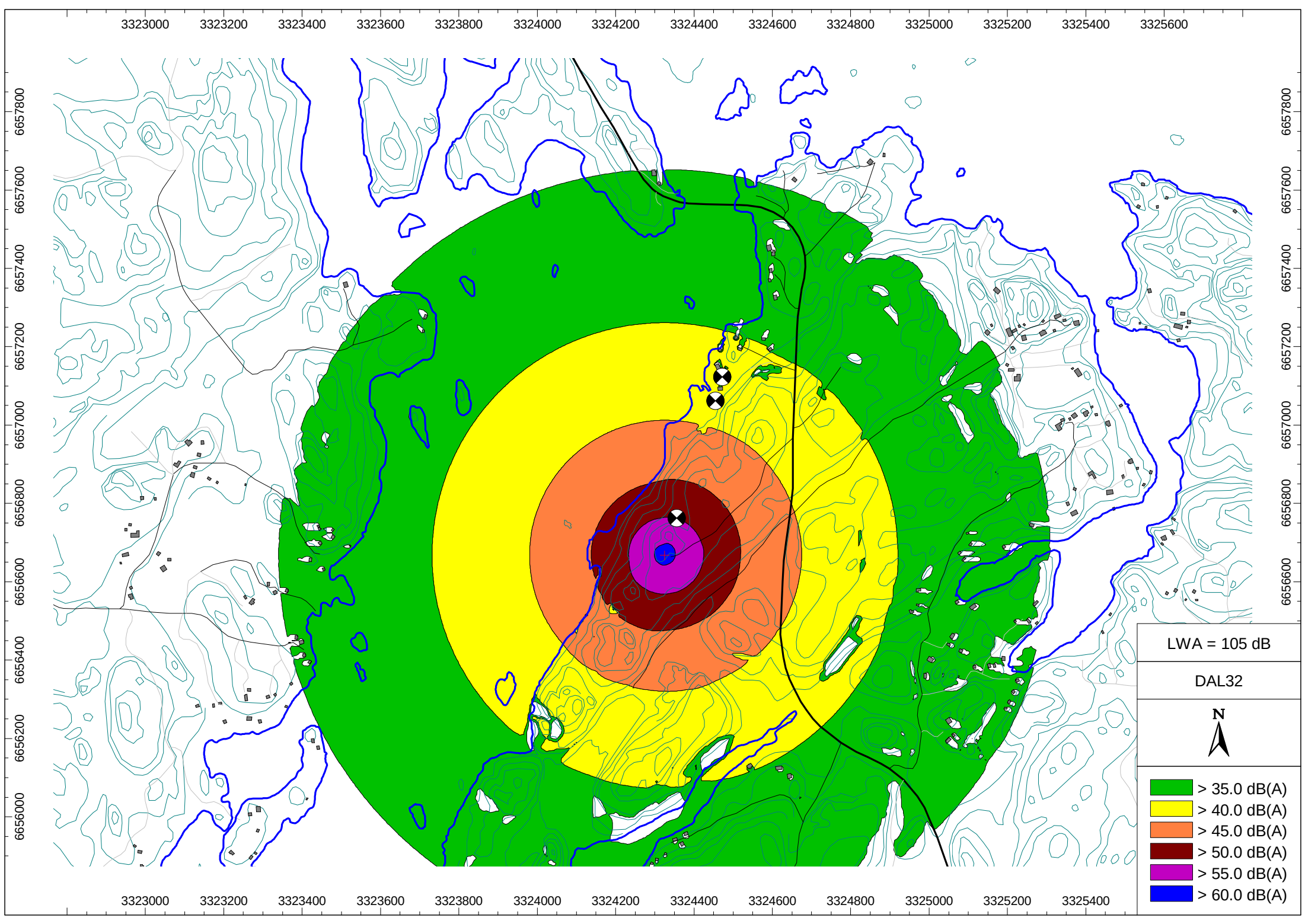
Kuva 8. Spektrogrammikuvaaja , yömittaus klo 00:14 vaakaviivat ovat kapeakaistaista ääntä ja pystyviivat tuulivoimamelun amplitudimodulaatiota.

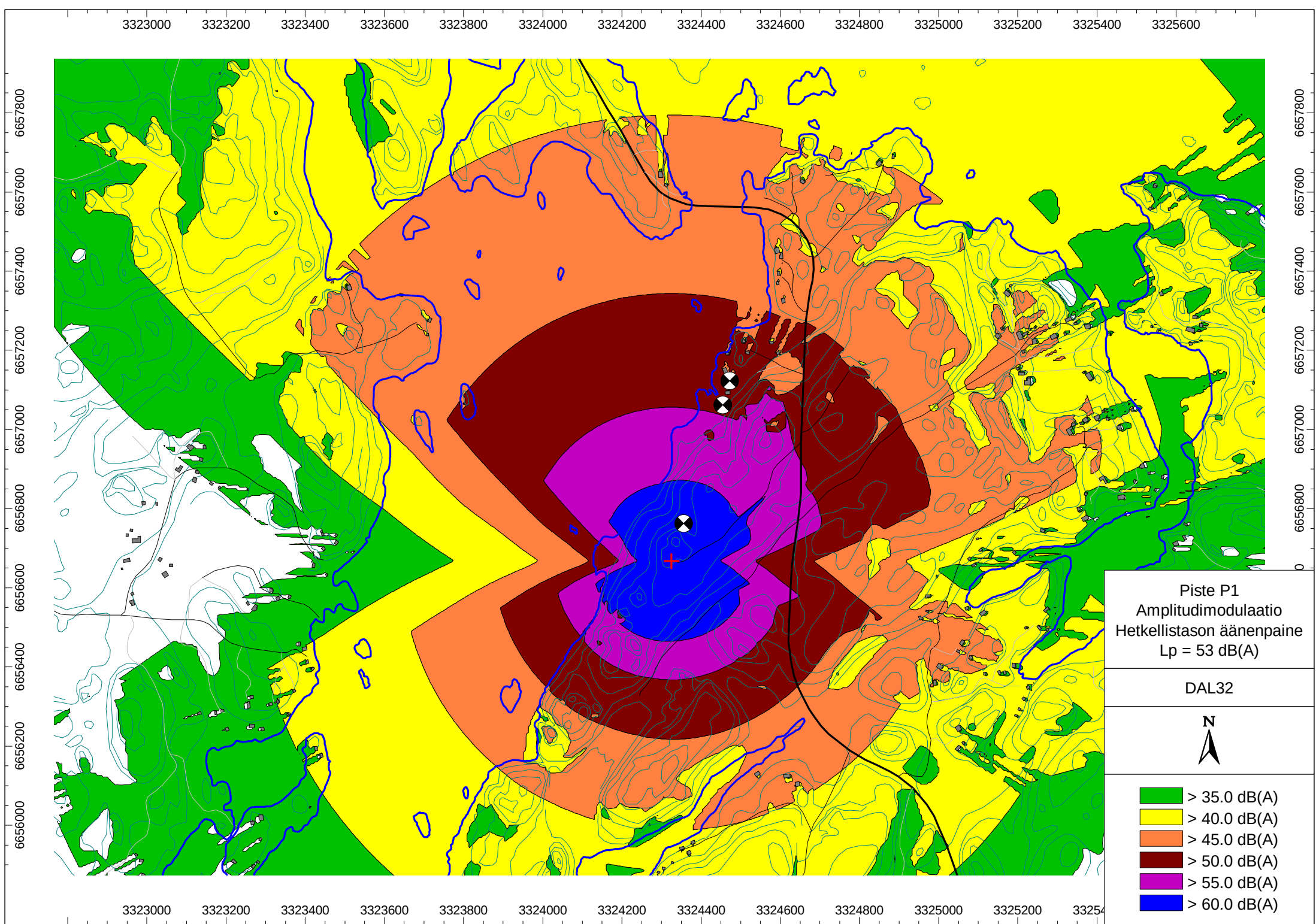


LIITE 7

MELUMALLINNUSKUVAAJAT







LIITE 8

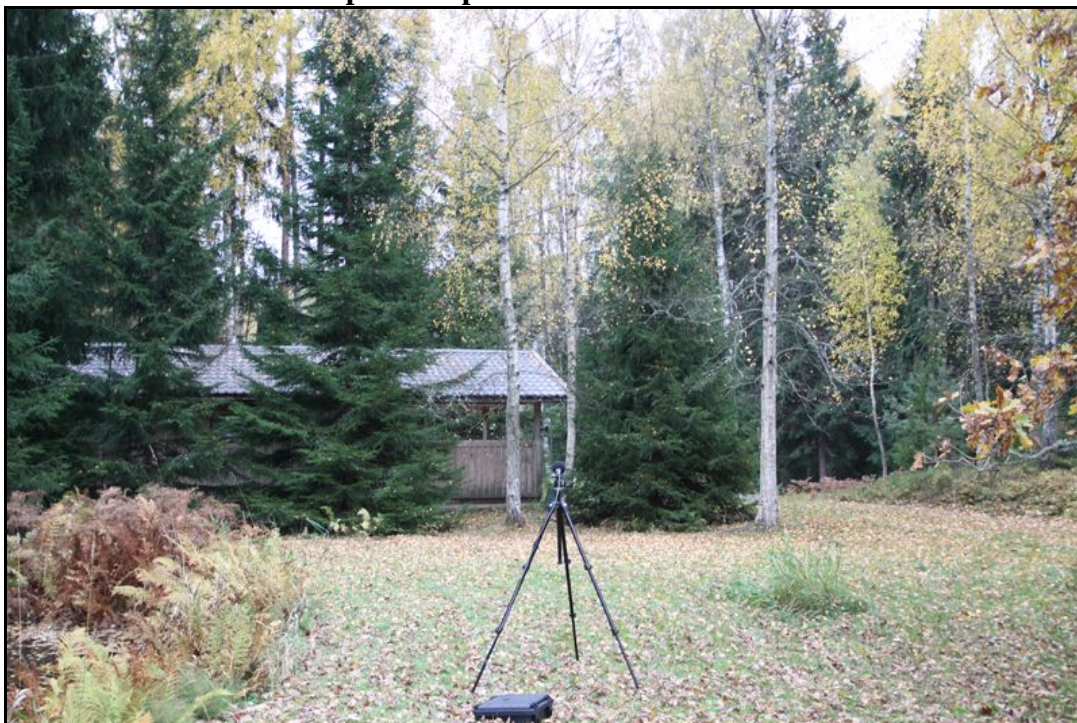
VALOKUVAT

Liite 8. Valokuvia

Kuva 1. Immissiomittauspiste P1 piha-alueella mittauksen 1. aikana



Kuva 2. Immissiomittauspiste P1 piha-alueella mittauksen 2.-3. aikana



Kuva 3. Äänitehotasomittauspisteet LW 2. ja 3.mittauksen aikana. Mittauslauta ja tuulisuojakupu kuvan alalaidassa, myötätuulimittaus.



LIITE 9

KALIBROINTITODISTUKSET

KALIBROINTITODISTUS

KALIBRERINGSBEVIS

CERTIFICATE OF CALIBRATION

Nro
nr • no.

M-12E007

Tilaaaja
Uppdragsgivare • Customer

Pöyry Finland Oy Energia
Tekniikantie 4 D
02150 Espoo

Kalibroitu laite
Kalibrerat instrument • Calibrated instrument

Pistonphone

Valmistaja
Tillverkare • Manufactured by

Brüel & Kjær

Tyyppi
Typ • Model

4228

Sarjanumero
Serienummer • Serial number

2060665

Kalibroitinpäivä
Kalibreringsdatum • Date of calibration

16.1.2012

Päiväys
Datum • Date

18.1.2012

Allekirjoitukset
Underskrifter • Signatures


Antti Manninen
Johtava metrologi


Jussi Hämäläinen
Tutkija

Sivu
Sida • Page

1/3

Liitteitä
Bilagor • Appendices

-



Mittatekniikan keskus, Tekniikantie 1, FI-02150 Espoo, FINLAND, tel +358 10 6054 000
metrologia@mikes.fi, www.mikes.fi



Kalibroidun laitteen kunto

Kondition av kalibrerat instrument • Condition of calibrated instrument

No faults were observed in the condition of the calibrated device during the calibration.

Kalibrointimenetelmä

Kalibreringsmetod • Calibration method

Calibration was performed according to measurement instruction MIK-S551 by mounting the coupler cavity of the calibrator on the measurement microphone and measuring the sound pressure with measurement instrumentation capable of using the insert voltage method. In addition to calibration results the total harmonic distortion (THD) of the device was measured with HP8903B SN: 3514A14768 audio analyzer. The measurement program was SndCal ver. 1.1.3.

Kalibroinnissa käytetyt mittanormaalit ja jäljitettävyyys

Mätnormalerna som använts i kalibrering och spårbarhet • Measurement standards used in calibration and traceability

The measurement microphone was B&K 4134 SN:1199930 pressure field working standard microphone, whose unloaded voltage - pressure sensitivity is traceable to pressure reciprocity calibration. Calibration certificate M-11E156.

For AC-voltage, voltage ratio and frequency, precision multifunction digital meters HP3458A SN: 2823A12708 and SN: 2823A12658 were used. These meters have traceability to national measurement standards of voltage and frequency. Calibration certificates M-11E081 and M-11E082.

Environmental conditions were measured with Vaisala PTU200 SN: Y5130001 barometric pressure, humidity and temperature transmitter, which has traceability to national measurement standards of pressure, humidity and temperature. Calibration certificates M-11P118 and M-11H086.

Kalibrointiolosuhteet

Kalibreringsförhållanden • Calibration conditions

Measurements were performed in sound proof chamber where the temperature was $(22.9 \pm 1) ^\circ\text{C}$ and humidity $(37 \pm 2) \%$. Barometric pressure during measurements was $(1020 \pm 1) \text{ hPa}$.

ASH JH

Kalibrointitulokset ja mittausepävarmuus

Kalibreringsresultat och mätosäkerhet • Calibration results and measurement uncertainty

Measurement result is obtained from the arithmetic average of three measurements. The sound pressure level was corrected by use of manufacturer's data to the reference static air pressure of 101.325 kPa. Calibration results for sound pressure and frequency are given below. In addition to them, the measurement value for auxiliary quantity of total harmonic distortion (THD) is given. There is no stated uncertainty for the THD, and hence it is not an actual calibration result.

Sound pressure level of the sound calibrator at reference static air pressure is $(123.91 \pm 0.10) \text{ dB re } 20 \mu\text{Pa}$. Frequency is $(251.2 \pm 0.1) \text{ Hz}$. Total harmonic distortion is $\approx 0.9 \%$.

All uncertainties have been given with $k = 2$, which represents 95 % confidence level. Uncertainties have been assessed according to EA publication EA-4/02.

Huomautukset Anmärkningar • Remarks

Calibration result is valid when the sound calibrator is used with B&K 4134 microphone. When using a sound level meter with different type of microphone, a correction is possibly needed. The result and uncertainty estimate of the calibration represent the condition of the calibrated device at the time of calibration. Calibration result does not include effects of long term changes.

AM JA

Mittateknikan keskus, MIKES, on kansallinen metrologialaitos, joka nimeää kansalliset mittanormaallilaboratoriot ja valvoo niiden toimintaa. Kansallisen mittanormaallilaboratorion tehtävänä on pitää yllä kansallisia mittanormaaleja ja niiden jäljitettävyyttä SI-järjestelmän yksiköihin. Kansallinen mittanormaalijärjestelmä perustuu lakiin nro 1156/1993 ja asetukseen nro 972/1994. Tämä todistus on kansainvälisen paino- ja mittakomitean (CIPM) laatiman vastavuoroisen tunnustamissopimuksen (MRA) liitteeseen C sisällytettyjen kalibrointi- ja mittauskykyjen (CMC) mukainen. Kaikki MRA:ssa mukana olevat laitokset tunnustavat toistensa kalibrointi- ja mittaustodistusten kelpoisuuden niille suureille, mittaalueille ja mittaasepävarmuuksille, jotka on määritelty liitteessä C (katso yksityiskohdat <http://www.bipm.org>).

Mätteknikcentralen, MIKES, är det nationella metrologiinstitutet, som utser de nationella mätnormallaboratorierna och övervakar deras verksamhet. Det nationella mätnormallaboratoriet har som uppgift att upprätthålla nationella mätnormaler och deras spårbarhet till SI-systems enheter. Det nationella mätnormalsystemet är stadgat i lag nr 1156/1993 och förordning nr 972/1994. Detta bevis är i överensstämmelse med de kalibrerings- och mättningsförmågor (CMC) som ingår i bilaga C till arrangemanget om ömsesidigt erkännande (MRA), som har utarbetats av den internationella kommittén för vikt och mått (CIPM). Inom MRA erkänner alla deltagande institut giltigheten av varandras kalibrerings- och mättningsbevis för de storheter, mätområden och med de osäkerheter som är angivna i bilaga C (för närmare detaljer se <http://www.bipm.org>).

Centre for Metrology and Accreditation, MIKES, is the National Metrology Institute of Finland which designates the National Standards Laboratories and supervises their activities. The National Standards Laboratory is responsible for the maintaining of national standards and their traceability to SI units. The Finnish national standards system is based on the Law No. 1156/1993, and the Decree No. 972/1994.

This certificate is consistent with Calibration and Measurement Capabilities (CMCs) that are included in Appendix C of the Mutual Recognition Arrangement (MRA) drawn up by the International Committee for Weights and Measures (CIPM). Under the MRA, all participating institutes recognise the validity of each other's calibration and measurement certificates for the quantities, ranges and measurement uncertainties specified in Appendix C (for details see <http://www.bipm.org>).

KALIBROINTITODISTUS

KALIBRERINGSBEVIS

CERTIFICATE OF CALIBRATION

Nro
nr • no.

M-12E008

Tilaaaja
Uppdragsgivare • Customer

Pöyry Finland Oy Energia
Tekniikantie 4 D
02150 Espoo

Kalibroitu laite
Kalibrerat instrument • Calibrated instrument

Sound calibrator

Valmistaja
Tillverkare • Manufactured by

Rion

Tyyppi
Typ • Model

NC-74

Sarjanumero
Serienummer • Serial number

50441075

Kalibrointipäivä
Kalibreringsdatum • Date of calibration

16.1.2012

Päiväys
Datum • Date

18.1.2012

Allekirjoitukset
Underskrifter • Signatures



Antti Manninen
Johtava metrologi



Jussi Hämäläinen
Tutkija

Sivu
Sida • Page

1/3

Liitteitä
Bilagor • Appendices

-

Kalibroidun laitteen kunto

Kondition av kalibrerat instrument • Condition of calibrated instrument

No faults were observed in the condition of the calibrated device during the calibration.

Kalibrointimenetelmä

Kalibreringsmetod • Calibration method

Calibration was performed according to measurement instruction MIK-S551 by mounting the coupler cavity of the calibrator on the measurement microphone and measuring the sound pressure with measurement instrumentation capable of using the insert voltage method. In addition to calibration results the total harmonic distortion (THD) of the device was measured with HP8903B SN: 3514A14768 audio analyzer. The measurement program was SndCal ver. 1.1.3.

Kalibroinnissa käytetyt mittanormaalit ja jäljitettävyyys

Mätnormalerna som använts i kalibrering och spårbarhet • Measurement standards used in calibration and traceability

The measurement microphone was B&K 4134 SN:1199930 pressure field working standard microphone, whose unloaded voltage - pressure sensitivity is traceable to pressure reciprocity calibration. Calibration certificate M-11E156.

For AC-voltage, voltage ratio and frequency, precision multifunction digital meters HP3458A SN: 2823A12708 and SN: 2823A12658 were used. These meters have traceability to national measurement standards of voltage and frequency. Calibration certificates M-11E081 and M-11E082.

Environmental conditions were measured with Vaisala PTU200 SN: Y5130001 barometric pressure, humidity and temperature transmitter, which has traceability to national measurement standards of pressure, humidity and temperature. Calibration certificates M-11P118 and M-11H086.

Kalibrointiolosuhteet

Kalibreringsförhållanden • Calibration conditions

Measurements were performed in sound proof chamber where the temperature was $(22.9 \pm 1) ^\circ\text{C}$ and humidity $(37 \pm 2) \%$. Barometric pressure during measurements was $(1020 \pm 1) \text{ hPa}$.

Aku
JH

Kalibrointitulokset ja mittaasepävarmuus

Kalibreringsresultat och mätosäkerhet • Calibration results and measurement uncertainty

Measurement result is obtained from the arithmetic average of three measurements. Calibration results for sound pressure and frequency are given below. In addition to them, the measurement value for auxiliary quantity of total harmonic distortion (THD) is given. There is no stated uncertainty for the THD, and hence it is not an actual calibration result.

Sound pressure level of the sound calibrator is $(94.06 \pm 0.10) \text{ dB re } 20 \mu\text{Pa}$.

Frequency is $(1000.8 \pm 0.1) \text{ Hz}$.

Total harmonic distortion is $\approx 1.4 \%$.

All uncertainties have been given with $k = 2$, which represents 95 % confidence level. Uncertainties have been assessed according to EA publication EA-4/02.

Huomautukset Anmärkningar • Remarks

Calibration result is valid when the sound calibrator is used with B&K 4134 microphone. When using a sound level meter with different type of microphone, a correction is possibly needed. The result and uncertainty estimate of the calibration represent the condition of the calibrated device at the time of calibration. Calibration result does not include effects of long term changes.

Mittatekniikan keskus, MIKES, on kansallinen metrologialaitos, joka nimeää kansalliset mittanormaallilaboratoriot ja valvoo niiden toimintaa. Kansallisen mittanormaallilaboratorion tehtävänä on pitää yllä kansallisia mittanormaaleja ja niiden jäljitettävyyttä SI-järjestelmän yksiköihin. Kansallinen mittanormaali-järjestelmä perustuu lakiin nro 1156/1993 ja asetukseen nro 972/1994. Tämä todistus on kansainvälisen paino- ja mittakomitean (CIPM) laatiman vastavuoroisen tunnustamissopimuksen (MRA) liitteeseen C sisällytettyjen kalibrointi- ja mittauskykyjen (CMC) mukainen. Kaikki MRA:ssa mukana olevat laitokset tunnustavat toistensa kalibrointi- ja mittaustodistusten kelpoisuuden niille suureille, mitta-alueille ja mitta-epävarmuuksille, jotka on määritelty liitteessä C (katso yksityiskohdat <http://www.bipm.org>).

Mätteknikcentralen, MIKES, är det nationella metrologiinstitutet, som utser de nationella mätnormallaboratorierna och övervakar deras verksamhet. Det nationella mätnormallaboratoriet har som uppgift att upprätthålla nationella mätnormaler och deras spårbarhet till SI-systems enheter. Det nationella mätnormalsystemet är stadgat i lag nr 1156/1993 och förordning nr 972/1994. Detta bevis är i överensstämmelse med de kalibrerings- och mättningsförmågor (CMC) som ingår i bilaga C till arrangemanget om ömsesidigt erkännande (MRA), som har utarbetats av den internationella kommittén för vikt och mått (CIPM). Inom MRA erkänner alla deltagande institut giltigheten av varandras kalibrerings- och mättningsbevis för de storheter, mätområden och med de osäkerheter som är angivna i bilaga C (för närmare detaljer se <http://www.bipm.org>).

Centre for Metrology and Accreditation, MIKES, is the National Metrology Institute of Finland which designates the National Standards Laboratories and supervises their activities. The National Standards Laboratory is responsible for the maintaining of national standards and their traceability to SI units. The Finnish national standards system is based on the Law No. 1156/1993, and the Decree No. 972/1994.

This certificate is consistent with Calibration and Measurement Capabilities (CMCs) that are included in Appendix C of the Mutual Recognition Arrangement (MRA) drawn up by the International Committee for Weights and Measures (CIPM). Under the MRA, all participating institutes recognise the validity of each other's calibration and measurement certificates for the quantities, ranges and measurement uncertainties specified in Appendix C (for details see <http://www.bipm.org>).